

Учебно-методическое объединение по классическому университетскому образованию

СОГЛАСОВАНО

Академик – секретарь отделения химии и наук о материалах РАН



Тартаковский В.А.  
от « 20 » Декабрь 2009 г.

УТВЕРЖДАЮ

Председатель Совета УМО, академик



Садовничий В.А.

от « 25 » Декабрь 2009 г.

**Примерная основная образовательная программа высшего профессионального образования**

**Направление подготовки 020100 «Химия»**

утверждено приказом Минобрнауки РФ

№ 337 от 17.09.2009 г.

ФГОС ВПО утвержден приказом Минобрнауки

№ 547 от 20.05.2010 г.

Квалификация (степень) выпускника - **магистр**

Нормативный срок освоения 2 года

Форма обучения – очная

Москва 2010

## Содержание

	стр.
1. Общее положение.....	2
2. Рекомендуемый список научной тематики магистерской подготовки по направлению 020100-химия.....	2
3. Требования к результатам освоения основной образовательной программы подготовки магистров.....	3
4. Примерный учебный план подготовки магистров.....	3
5. Примерные программы дисциплин .....	9
6. Список разработчиков и экспертов ПООП.....	55

### 1. Общее положение

Примерная основная образовательная программа высшего профессионального образования (ПООП ВПО) подготовки магистров по направлению 020100-химия является системой учебно-методических документов, сформированной на основе положений Федерального закона № 309 – ФЗ «О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации в части изменения понятия и структуры государственного образовательного стандарта» (статья 5, п. 6), Федерального государственного образовательного стандарта высшего профессионального образования подготовки магистров по направлению 020100-химия (пункт 7.1 раздела VII «Требования к условиям реализации основных образовательных программ подготовки магистров) и рекомендаций Департамента государственной политики в образовании Минобрнауки.

Примерная основная образовательная программа (ПООП) подготовки магистров по направлению 020100-химия является программой второго уровня высшего профессионального образования.

Нормативные сроки освоения: 2 года.

Квалификация выпускника в соответствии с федеральным государственным образовательным стандартом - магистр.

### 2. Рекомендуемый список научной тематики магистерской подготовки по направлению 020100-химия

1. Неорганическая химия
2. Аналитическая химия.
3. Органическая химия.
4. Физическая химия.
5. Электрохимия
6. Высокомолекулярные соединения.

7. Химия элементоорганических соединений.
8. Химия функциональных наноматериалов.
9. Биоорганическая химия
10. Коллоидная химия
11. Бионеорганическая химия
12. Нефтехимия
13. Фармацевтическая химия
14. Кинетика и катализ
15. Медицинская химия
16. Математическая и квантовая химия
17. Химия твердого тела
18. Химия окружающей среды, химическая экспертиза и экологическая безопасность

Список в основном согласуется с перечнем научных специальностей ВАК по химии. Утвержден на заседании Пленума учебно-методического совета по химии 15 октября 2010 года, протокол № 25.

### **3. Требования к результатам освоения образовательной программы подготовки магистров**

Общие для всех выпускников магистратуры по направлению подготовки 020100 – химия компетенции, дополнительные к компетенциям выпускников бакалавриата (общекультурные ОК-1–ОК-6) и профессиональные ПК-1 – ПК-12), приведены в разделе V. ФГОС.

Список компетенций дополняется учебными заведениями в ходе подготовки магистров химии с учетом содержания вариативных дисциплин УЦ ООП М.1 и М.2.

### **4. Примерный учебный план по направлению подготовки 020100 «Химия» Квалификация (степень) – магистр Нормативный срок обучения – 2 года**

№№ п/п	Наименование циклов дисциплин и разделов	Трудоемкость		Распределение по семестрам				Экзамен Оценка Зачет	Коды компе- тенций
		Общая		1	2	3	4		
		в зачет- ных еди- ницах.	в часах	Число учебных недель					
		18		18	18	18	19		

М.1	Общенаучный цикл	29	1044	+	+			1 экз. Зачеты	ОК-1 ОК-3 ОК-4 ОК-5
	Базовая часть	19	684	+	+			1 экз. Зачеты	
	1.Иностранный язык	5	180	+	+			Экз.	
	2.Философские проблемы химии	4	144	+	+			Зачет	
	3.Квантовая механика и квантовая химия	5	180	+	+			Зачет	
	4.Компьютерные технологии в образовании и науке	5	180	+	+			оценка	
	Вариативная часть в т.ч. курсы по выбору студентов	10	360	+	+			Зачеты	
	Курсы вуза	6	216						
	Курсы по выбору студентов	4	136						
М.2	Цикл профессиональных (специальных) дисциплин	39	1404	+	+	+		3 экз. Зачеты	ОК-3 ОК-5 ОК-6 ПК-1 ПК-2 ПК-3 ПК-4 ПК-7 ПК-11 ПК-12
	Базовая часть	6	216	+				1 экз. Зачет	
	Сборник программ «Актуальные задачи современной химии»	6	216	+				1 экз. Зачеты	
	Вариативная часть Специализированная магистерская программа*	33	1188	+	+	+		2 экз. Зачеты	
	Курсы вуза	20	720						
	Курсы по выбору студента	13	468						
М.3	Научно-исследовательская работа и практики	50	1800	+	+	+	+	Зачет	ОК-1 ОК-2 ОК-3 ОК-5 ОК-6 ПК-3 ПК-4 ПК-5
	Научно-исследовательская работа в семестре	6	216	+	+			зачет	
	Предквалификационная практика	13	468				+	Оценка	

	<b>Педагогическая практика</b>	<b>3</b>	<b>108</b>					<b>Зачет</b>	<b>ПК-6 ПК-7 ПК-8 ПК-9 ПК-10 ПК-11 ПК-12</b>
	<b>Выполнение и подготовка выпускной работы (магистерской диссертации)</b>	<b>28</b>	<b>1008</b>					<b>+</b>	
<b>М.4</b>	<b>Итоговая государственная аттестация (защита магистерской диссертации)</b>	<b>2</b>	<b>72</b>					<b>+</b>	<b>оценка</b>
	<b>Общая трудоемкость основной образовательной программы</b>	<b>120</b>	<b>4320</b>						
	<b>Факультативные дисциплины</b>	<b>По решению вуза</b>							

\* Реализуется через авторские магистерские программы

Примечание:

1. Трудоемкость УЦ ООП М.1 и М.2 подготовки магистра задается с интервалом до 6 зачетных единиц (в макете МОН 10 з.е.), трудоемкость отдельных дисциплин – до 2 зачетных единиц

2. Суммарная трудоемкость базовых составляющих УЦ ООП М.1 и М.2 не должна превышать 35 % от общей трудоемкости этих циклов

3. Суммарная трудоемкость циклов М.1 и М.2 должна составлять не более 55% основной образовательной программы.

4. Общая аудиторная нагрузка, представленная в учебных циклах М.1 и М.2, рассчитывается исходя из 22 часов занятий в неделю в 1-3 семестрах обучения в магистратуре и не может быть изменена в сторону уменьшения.

5. Экзамены рассматриваются как вид учебной работы по дисциплине. Зачетные единицы/часы, отводимые на подготовку к экзаменам, включены в общую трудоемкость соответствующих дисциплин.

6. Вариативная часть «Профессионального цикла» учебного плана подготовки выпускников реализуется через авторские магистерские программы (см. приведенный ниже пример).

### **Примерный учебный план вариативной части магистерской программы «Химия в интересах устойчивого развития»**

№ п/п	Наименование циклов дисциплин и разделов	Трудоемкость		Распределение по семестрам				Экзамен зачет	Коды компетенций
		Общая		1	2	3	4		
		в зачетных единицах	в часах	Число учебных недель					
				18	18	18	19		
М.2	Вариативная часть магистерская программа «Химия в интересах устойчивого развития»	34	1224					2 экз зачеты	
	Курсы вуза	22	792					2 экз зачеты	
	Химия и токсикология окружающей среды	3	108					зачет	ОК-1 ОК-2 ПК-5 ОК-6 ПК-1 ПК-2 ПК-3 ПК-4 ПК-5 ПК-6 ПК-7
	Техногенные системы и экологический риск	4	144	+				оценка зачет	
	Теоретические основы гетерогенного катализа	9	324		+			экз. зачет	
	Методы реализации зеленых процессов	6	216	+		+		экз. зачет	
	Курсы по выбору студентов	12	432					оценка зачеты	
	Традиционные и нетрадиционные источники энергии	6	216		+			зачет оценка	ОК-4 ПК-1 ПК-5
	Гуминовые соединения	6	216					зачет оценка	ОК-4
	Физико- химические методы анализа	6						зачет оценка	ОК-4 ПК-3 ПК-7





## 5. Примерные программы дисциплин

### Дисциплина « Химия поверхности и наночастиц»

**Рекомендуется для направления подготовки 020100 «Химия » как одна из базовых дисциплин (сборник программ «Актуальные задачи современной химии») профессионального цикла Квалификация (степень) - магистр.**

#### 1. Цели и задачи дисциплины

Дисциплина "Химия поверхности и наночастиц" является составной частью общего цикла дисциплин "Актуальные вопросы современной химии", относящегося к базовой части учебного цикла "Профессиональные (специальные) дисциплины".

Она базируется на основных разделах курсов физической и неорганической химии. Основной задачей данной дисциплины является рассмотрение особенностей высокодисперсных систем. Программа строится по принципу «от простого к сложному», на базе фундаментальных знаний, полученных студентами при освоении физической химии. Рассматриваются структура, состав и функциональные свойства поверхности и наночастиц. Курс строится на современных представлениях о термодинамике поверхности и дисперсных систем. Дается определение дисперсного состояния вещества и классификация дисперсных систем по размерности, агрегатному состоянию и структуре. Обсуждаются особенности термодинамики и кинетики реакций на поверхности. Приводятся методы получения наночастиц как «снизу-вверх» путем агрегации, так и методом диспергирования «сверху-вниз». Излагаются основные научные принципы и методы синтеза наноматериалов различных классов твердых тел из раствора и газовой фазы. Рассмотрены методы получения коллоидных кристаллов. Анализируются возможности классических методов исследования размера, состава и структуры поверхности и наночастиц.

В результате освоения дисциплины студент должен;

знать основы современных представлений о химии поверхности и высокодисперсных систем, способы синтеза нанокристаллических материалов, особенности функциональных свойств, термической стабильности, реакционной способности и возможности их применения.

уметь самостоятельно ставить задачу исследования поверхности и высокодисперсных систем с целью определения состава, структуры и реакционной способности.

В ходе изучения дисциплины «Химия поверхности и наночастиц» студент приобретает (или закрепляет) следующие компетенции:

использует основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применяет методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования (ОК-6);

владеет основами теории фундаментальных разделов химии (прежде всего неорганической, аналитической, органической, физической, химии высокомолекулярных соединений, химии биологических объектов, химической технологии) (ПК-2);

способен применять основные законы химии при обсуждении полученных результатов, в том числе с привлечением информационных баз данных (ПК-3);

представляет основные химические, физические и технические аспекты химического промышленного производства с учетом сырьевых и энергетических затрат (ПК-5);

## **2. Программа дисциплины «Химия поверхности и наночастиц»**

Предмет курса, основные объекты и разделы, фундаментальные аспекты и практические приложения. Дисперсное состояние вещества. Классификация дисперсных систем по размерности, агрегатному состоянию и микроструктуре. Наноразмерные системы. Основные характеристики наночастиц и дисперсных систем. Размерный эффект.

Разделы дисциплины

1. Основы термодинамики поверхностных явлений.

Избыточные термодинамические функции. Поверхностное натяжение и свободная энергия поверхностей раздела фаз. Температурная зависимость поверхностного натяжения жидкости и критическая температура (по Менделееву). Связь поверхностного натяжения с объемными свойствами веществ. Термодинамическое уравнение Гиббса для поверхности раздела фаз в однокомпонентных системах. Состав поверхности, сегрегация в приповерхностных слоях. Поверхностная энергия твердых тел.

2. Капиллярные явления. Капиллярное давление, закон Лапласа. Зависимость давления пара и растворимости от кривизны поверхности; законы Кельвина и Гиббса–Оствальда. Изотермическая перегонка в дисперсных системах. Смачивание. Закон Юнга. Гидрофильность и гидрофобность твердых тел.

3. Поверхностно-активные вещества (ПАВ) - регуляторы свойств дисперсных систем

Адсорбция ПАВ на поверхности жидкости. Термодинамическое уравнение адсорбции ПАВ (Гиббс). Связь адсорбции со строением молекул ПАВ. Гидрофильно-липофильный баланс. Классификация ПАВ по молекулярному строению и по механизму их действия. Нерастворимые ПАВ. Двумерное состояние вещества; уравнение состояния. Адсорбция ПАВ на поверхности раздела несмешивающихся жидкостей.

Правило уравнивания полярностей (Ребиндер). Адсорбция ПАВ из растворов на поверхности твердых тел. Модифицирующее действие ПАВ - гидрофилизация и гидрофобизация твердых поверхностей.

#### 4. Получение наночастиц.

Физические методы синтеза. Получение с помощью молекулярных пучков. Плазменно-химический метод. Метод испарения-конденсации. Метод импульсного радиолиза.

Химические методы: восстановление из растворов, золь-гель переход, криотехнология. Темплатный синтез. Синтез в пористых средах, микроэмульсиях и мицеллах.

Образование кластеров молекул. Фрактальные и плотноупакованные кластеры. Типы химических реакций с участием кластеров. Подходы к квантово-химическому описанию кластеров. Зарождение и рост наночастиц в гомогенной среде и на поверхности твердого тела. Кооперативные явления в коллективе наночастиц; остальдово созревание, агрегирование и агломерация. Коллоидные кристаллы.

#### 5. Электроповерхностные явления.

Двойной электрический слой - (ДЭС) - образование, строение. Электроповерхностные явления, электрокапиллярность. Электрокинетические явления (электрофорез, электроосмос). Электрокинетический потенциал. Изоэлектрическое состояние. Зонная диаграмма твердых тел вблизи поверхности. Обедненный слой. Транспорт носителей заряда через поверхности раздела. Гетероструктуры.

#### 6. Модифицирование поверхности твердых тел.

Особенности поверхностных свойств твердых тел различной химической природы. Влияние химического состояния поверхности на физические и химические свойства твердых тел. Методы модифицирования поверхности: физическое (легирование, ионная имплантация, нанесение тонких пленок и покрытий) и химическое (изменение функционального покрова) модифицирование.

Химическое модифицирование поверхности. Требования к модификаторам. Якорная группа и стабильность поверхностно-модифицированных материалов. Привитый слой – важнейший элемент химически модифицированного материала. Строение привитых слоев. Распределение привитых молекул в слое. Двумерность, макромолекулярность и полифункциональность привитого слоя. Взаимное влияние привитых молекул.

Химическое модифицирование гидроксильированных носителей металлорганическими соединениями – путь синтеза гетерогенных металлокомплексных катализаторов.

Применение поверхностно-модифицированных материалов: селективные сорбенты, катализаторы, ионообменники, сенсоры, наполнители пластмасс, стабилизаторы и т. д.

### 7. Устойчивость дисперсных систем.

Седиментационная устойчивость. Диффузия дисперсных частиц. Зависимость коэффициента диффузии от размера частиц. Седиментационно-диффузионное равновесие в поле силы тяжести и в центробежном поле. Агрегативная устойчивость дисперсных систем (золей, эмульсий, пен). Основные методы регулирования устойчивости. Образование структурно-механического барьера по Ребиндеру как самый сильный фактор стабилизации дисперсных систем. Особенности устойчивости нанодисперсных систем.

### 8. Строение и химические свойства дисперсных систем.

Химические реакции наночастиц. Кинетика топохимических реакций в коллективе наночастиц. Явления в области контакта наночастиц твердых реагентов. Механизм термолиза наночастиц. Взаимодействие наночастиц с макромолекулами и полимерными средами. Взаимодействие углеродных нанотрубок с газами. Механохимические реакции в коллективе наночастиц.

### 9. Методы анализа поверхности и наночастиц.

Особенности анализа высокодисперсных систем, локальность. Физико-химическая диагностика наночастиц. Принципы морфологической характеристики наночастиц методами электронной, автоионной, туннельной и атомно-силовой микроскопии. Строение наночастиц различной природы (фазовые, мицеллярные, везикулы). Определение состава и структуры отдельной наночастицы; электронная микроскопия высокого разрешения, электронно-зондовые методы анализа. Методы колебательной спектроскопии. Методы с использованием синхротронного излучения. Эллипсометрия.

10. Наночастицы как ингредиенты функциональных материалов; нанокompозиты и наноблочные конструкционные материалы. Магнитные материалы, ячейки памяти. Термоэлектрические преобразователи. Оптоэлектрические преобразователи.

Принципы использования наночастиц в медицине. Наночастицы как поллютанты и мигранты в окружающей среде. Химия атмосферных наночастиц. Катализаторы и сорбенты на основе ультрадисперсных веществ: специфика их получения и функционирования.

Авторы программы:

Главный н.сотр., д.х.н. А.М.Гаськов (химфак МГУ им. М.В.Ломоносова)

Член-корр. РАН, профессор И.В.Мелихов (химфак МГУ им. М.В.Ломоносова)

Доцент Н.И.Иванова (химфак МГУ им. М.В.Ломоносова)

3. Объем дисциплины и распределение трудоемкости по видам учебной работы

Общая трудоемкость дисциплины составляет 2 зачетные единицы (72

академических часа).

Виды учебной работы	Всего часов	Семестры	
		1	2
Общая трудоемкость дисциплины	72	72	-
Аудиторные занятия	40	40	-
Лекции	40	40	-
Самостоятельная работа	32	32	-
Контроль знаний студентов (в часах)			
Виды промежуточного контроля: Контрольные работы (лекционные)	2	2	-
Виды итогового контроля: Экзамен (или зачет)	1	1	

#### 4. Разделы дисциплины и виды занятий

№ п/п	Разделы дисциплины	Лекции
1	Основы термодинамики поверхностных явлений	+
2	Капиллярные явления	+
3	Поверхностно-активные вещества (ПАВ) - регуляторы свойств дисперсных систем	+
4	Синтез дисперсных систем	+
5	Электроповерхностные явления	+
6	Химическое модифицирование поверхности твердых тел	+
7	Устойчивость дисперсных систем	+
8	Строение и химические свойства наночастиц	+
9	Методы анализа поверхности и наночастиц	+
10	Прикладная химия наночастиц	+

#### 5. Учебно-методическое и информационное обеспечение

Учебники и учебные пособия:

Щукин Е.Д., Перцов А.В., Амелина Е.А. Коллоидная химия. М. Высшая школа, 2007.

Ролдугин В.И. Физикохимия поверхности. М. «Интеллект». 2008.

Лисичкин Г.В., Фадеев А.Ю., Сердан А.А.. Химия привитых поверхностных соединений. М. Физматлит. 2003.

Помогайло А.Д., Розенберг А.С., Уфлянд И.Е. Наночастицы металлов в полимерах. М.Химия. 2000.

Ребиндер П. А. Поверхностные явления в дисперсных системах. М.: Наука. 1979.

Адамсон А. Физическая химия поверхностей. М.: Мир. 1979

Петров Ю. И. Физика малых частиц. М.: Наука. 1982.

Гусев А. И., Ремпель А.А. Нанокристаллические материалы. М.Физматлит. 2000.

Модифицированные кремнеземы в сорбции, катализе и хроматографии. /Под ред. Г.В.Лисичкина/. М.: Химия. 1986.

Алесковский В. Б. Химия твердых веществ. М.: Высшая школа. 1978.

Зенгуил Э. Физика поверхности. М.: Мир. 1990.

Робертс М., Макки Ч. Химия поверхности металл–газ. М.: Мир. 1981.

Бехштедт Ф., Эндерлайн Р. Поверхности и границы раздела полупроводников. М.: Мир. 1990.

Вудраф Д., Делчар Т. Современные методы исследования поверхности. М.: Мир. 1989.

## **Магистерская программа**

### **«Интегрированные системы: химия металлических систем»**

#### **Авторская программа вариативной части профессионального цикла**

### Цели и задачи

Необходимость осуществления настоящей программы обусловлена тем, что в современных технологиях используются сложные системы, свойства которых определяются взаимодействиями между образующими их элементами (интегрированные системы). Более того, во многих случаях микро- и макроскопическая неоднородность химического состава и структуры материала необходима для того, чтобы этот материал обладал заданными эксплуатационными свойствами. Поэтому современный химик-материаловед должен быть подготовлен к работе с такими системами как в теоретико-фундаментальном, так и в экспериментальном аспектах.

Настоящая программа реализуется на кафедре общей химии Химического факультета МГУ, руководитель программы – заведующий кафедрой, доктор химических наук, профессор С.Ф. Дунаев.

В рамках программы «интегрированные системы: химия металлических систем» будущий химик-материаловед получит фундаментальные знания о химических взаимодействиях, химических и фазовых равновесиях в многокомпонентных системах, о методах их изучения, о способах их прогнозирования и моделирования, а также научится

управлять этими взаимодействиями с целью получения структурно-сложных материалов с заданными свойствами. Все перечисленные научные направления традиционно развиваются на кафедре общей химии химического факультета МГУ. Работы сотрудников кафедры привели к созданию новых жаропрочных сплавов, слоистых композиционных материалов, тяжелофермионных сверхпроводящих интерметаллических соединений. В настоящее время ведутся исследовательские работы по использованию ионных жидкостей как среды для получения новых материалов и по формированию нанокристаллических оксидных пленок. Высокая профессиональная компетентность научно-преподавательского коллектива кафедры и наличие современной синтетической и приборной базы позволяют осуществлять подготовку квалифицированных химиков-материаловедов, подготовленных как к проведению фундаментальных исследований, так и к выполнению работы технико-проектного характера.

Дополнительно к общекультурным и профессиональным компетенциям, приобретаемым всеми студентами, обучающимися по направлению подготовки 020100-химия, выпускники по магистерской программе специализированной подготовки «Интегрированные системы: химия металлических систем», получают следующие компетенции:

– совершенное владение методами интерпретации диаграмм состояния многокомпонентных систем, использование их в планировании синтетических экспериментов, умение составлять диаграммы состояния новых систем по экспериментальным данным, а также владение методами теоретического расчета и прогнозирования диаграмм состояния (ПК-13);

– владение методами синтеза неорганических и композиционных материалов путем направленной кристаллизации фаз в многокомпонентных металлических системах, способность применять знания о механизмах и закономерностях протекания химических реакций и фазовых превращений для разработки новых методов получения материалов с заданными составом, структурой и свойствами (ПК-14);

– широкая эрудиция в области неорганических и композиционных материалов различных классов, включая химические, экологические и экономические аспекты получения этих материалов, их промышленной обработки, маркетинга, эксплуатации и утилизации отходов; знание наиболее актуальных проблем и перспективных направлений современного материаловедения (ПК-15);

– знакомство с широким кругом физико-химических методов анализа материалов, профессиональное владение некоторыми из них, знание их теоретических основ, умение выбирать методы анализа, наиболее подходящие для решения конкретных задач, готовность к интерпретации получаемой с их помощью информации (ПК-16);

– владение основными законами и понятиями современной теории строения твердых тел, включая понятия о их реально структуре и умение

использовать эти законы для предсказания физических и химических свойств материалов, исходя из их состава и строения (ПК-17).

### 1. Учебный план магистерской программы «Интегрированные системы: химия металлических систем»

<b>М.2</b>	Вариативная часть: магистерская программа <b>«Интегрированные системы: химия металлических систем»</b>	33	1188					4 экз., зачеты	Коды компетенций
	<b>Курсы вуза</b>	<b>18</b>	<b>648</b>	+	+	+		<b>2 экз., зачеты</b>	
	1. Химические и фазовые равновесия в многокомпонентных системах	4	144	+				экз.	ОК-1 ОК-3 ОК-5, ОК-6, ПК-1
	2. Классические и современные методы синтеза сплавов и композиционных материалов	2	72		+			зачет	ПК-2 ПК-3, ПК-4 ПК-13 ПК-14 ПК-15
	3. Физико-химические методы анализа неорганических материалов	9	324	+	+	+		2 зачета, экз.	ПК-16 ПК-17
	4. Химия и физика твердого тела	3	108	+				зачет	
	<b>Курсы по выбору студентов</b>	<b>15</b>	<b>540</b>	+	+	+		<b>1 экз., зачеты</b>	
	1. Кинетические методы построения диаграмм состояния металлических систем	5	180		+			зачет	

	2. Коррозионные свойства сплавов	3	108			+		зачет
	3. Химия неорганических композиционных материалов	3	108			+		зачет
	4. Химия и кристаллохимия интерметаллических соединений	4	144			+		экзамен.
	5. Теория дифракции рентгеновских лучей и нейтронов кристаллами	5	180	+	+			зачет, экзамен.
	6. Инструментальные методы рентгеноструктурного анализа и методы расшифровки структур	5	180			+	+	Зачет оценка

## **2. Программа дисциплины «Химия и кристаллохимия интерметаллических соединений»**

Рекомендуется для направления 020100-химия как вариативная дисциплина (курс по выбору студентов) цикла профессиональные дисциплины  
Квалификация (степень) – магистр химии

### Цели и задачи дисциплины

Дисциплина «Химия и кристаллохимия интерметаллических соединений» относится к вариативной части учебного цикла М.2 «Профессиональные (специальные) дисциплины». Эта дисциплина опирается на предшествующие базовые курсы «Физическая химия», «Кристаллохимия» и «Строение вещества», а также на дисциплины специализированной подготовки магистра по программе «Интегрированные системы: химия металлических систем»: «Химия и физика твердого тела» и «Химические и фазовые равновесия в многокомпонентных системах». В свою очередь, она

является основой для дальнейшего изучения дисциплин «Коррозионные свойства сплавов» и «Химия неорганических композиционных материалов».

Преподавание этой дисциплины ставит своей целью научить студента использовать теоретические представления о строении и физических свойствах веществ в направленном синтезе металлических материалов с заданными свойствами.

В результате освоения материала курса магистрант должен:

- знать основные факторы, определяющие состав и структурные типы интерметаллических соединений (ИМС), и уметь их применять для предсказания новых ИМС в металлических системах;

- уметь находить взаимосвязь строения и физических свойств ИМС, знать современные теории, позволяющие предсказывать и рассчитывать физико-химические свойства ИМС исходя из их структуры;

- владеть методами подбора оптимальных условий синтеза и эксплуатации ИМС;

- демонстрировать способность и готовность пользоваться компьютерными базами данных и справочной литературой по ИМС.

В ходе изучения дисциплины «Химия и кристаллохимия интерметаллических соединений» магистрант приобретает (или закрепляет) следующие компетенции:

- овладевает современными компьютерными технологиями, применяемыми при обработке результатов научных экспериментов и сборе, обработке и хранении научной информации (ОК-5);

- изучает принцип работы и обучается работе на современной научной аппаратуре при проведении научных исследований (ОК-6);

- изучает теорию и приобретает навыки практической работы в избранной области химии (в соответствии с темой магистерской диссертации) (ПК-3);

- закрепляет способность анализировать научную литературу с целью выбора направления исследования и самостоятельно составлять план работы (ПК-4);

- закрепляет умение анализировать и прогнозировать диаграммы состояния многокомпонентных систем (ПК-13);

- овладевает методами синтеза и направленной кристаллизации интерметаллических соединений в многокомпонентных металлических системах и композиционных материалах на их основе (ПК-14).

## **Содержание курса «Химия и кристаллохимия интерметаллических соединений»**

### **Модуль 1. Основные понятия химии интерметаллических соединений (ИМС).**

Диаграммы состояния металлических систем и определение понятия «интерметаллические соединения» (ИМС). Фазы постоянного и переменного

состава, область гомогенности. Дальтониды и бертоллиды. Общие принципы образования металлических структур: принцип пространственного заполнения, принцип симметрии, принцип ассоциаций.

Модуль 2. Кристаллохимия интерметаллических соединений и факторы, определяющие их состав и структуру.

Плотнейшие упаковки шаров, октаэдрические и тетраэдрические пустоты, координационные многогранники. Основные структурные типы металлов: ГЦК, ОЦК, ГПУ. Иные структурные типы металлов ( $\beta$ -Sn,  $\alpha$ -,  $\beta$ -,  $\gamma$ -Mn,  $\beta$ -U). Фазовые переходы между структурными типами металлов.

Электрохимический фактор (разность электроотрицательностей). Фазы Цинтля (группы соединений, образуемых элементами, находящимися вблизи границы между металлами и неметаллами в периодической системе). Валентные соединения: нормальные валентные соединения, общие валентные соединения (поликатионные и полианионные соединения); нормальные тетраэдрические и дефектные тетраэдрические структуры; частично ионные структуры.

Размерный фактор. Отношение атомных радиусов, межатомные расстояния, средний концентрационно-взвешенный радиус, коэффициент заполнения пространства. Соединения определяющиеся размерным фактором: Фазы Лавеса и их гомологический ряд.

Электронная концентрация (отношение числа валентных электронов к числу атомов). Зонные модели. Квантовая теория электронных соединений. Электронные соединения: фазы Юм-Розери; соединения типа раствора внедрения; электронное строение фаз внедрения. Электронные соединения между переходными металлами и их зонное строение.

Основные структурные типы интерметаллических соединений: фазы со структурным типом CsCl; фазы Лавеса ( $MgCu_2$ ,  $MgZn_2$  и  $MgNi_2$ ); фазы типа  $Cr_3Si$ , фазы состава  $A_2B$  со структурными типами  $Ti_2Ni$ ,  $MoSi_2$   $CuAl_2$ ; упорядоченные структуры с плотной упаковкой состава  $AB_3$  ( $AuCu_3$ ,  $TiNi_3$ ,  $MgCd_3$ ,  $PuAl_3$ ,  $TiCu_3$ ,  $TiAl_3$ ); фазы состава  $AB_5$  (структурные типы  $UNi_5$  и  $CaCu_5$ ); Франк-Касперовские фазы ( $\sigma$ -,  $P$ -,  $R$ - и  $\mu$ -фазы), полиэдры Каспера. Условия устойчивости различных структурных типов.

Классификация интерметаллических соединений по факторам, определяющим их состав и структуру: электронные соединения (фазы Юм-Розери, растворы внедрения, соединения между переходными металлами); размерные соединения: фазы Лавеса;  $\sigma$ -,  $P$ -,  $R$ - и  $\mu$ -фазы.

Предсказание новых интерметаллических соединений: метод Савицкого-Грибули, метод Вильярса-Джирджиса-Халингера.

Модуль 3. Методы получения интерметаллических соединений и их взаимодействие друг с другом.

Получение ИМС плавлением в электродуговой печи; направленная кристаллизация, механохимия, плавление в индукционной печи.

Образование ИМС кристаллизацией из расплава (конгруентное образование), образование ИМС по перитектической реакции, образование ИМС в результате упорядочения твердого раствора (соединения Курнакова), образование ИМС по перитектоидной реакции.

Образование интерметаллидами непрерывного ряда твердых растворов, эвтектическое взаимодействие ИМС, перитектическое взаимодействие. Факторы, определяющие характер взаимодействия ИМС. Критерий Воздвиженского. Правило сингулярной триангуляции в системах с образованием интерметаллических соединений.

Модуль 4. Физические свойства интерметаллических соединений.

Магнитные свойства ИМС. Типы магнетизма: диамагнетики, парамагнетики, ферромагнетики, антиферромагнетики, ферримагнетики. Структурные типы, обладающие магнитными свойствами: фазы Гейслера, фазы со структурным типом  $\text{CaCu}_5$ ,  $\text{AlB}_2$  и  $\text{NiAs}$ .

Сверхпроводимость. Параметры сверхпроводимости: температура сверхпроводящего перехода, критическое магнитное поле, критическая плотность тока. Мягкие и жесткие сверхпроводники. Сверхпроводящие структуры: соединения со структурой  $\text{Cr}_3\text{Si}$  (A15), со структурой типа  $\text{NaCl}$  (B1), фазы Шевреля (халькогениды). Кондо-эффект.

Другие свойства: жаростойкость и жаропрочность, коррозионностойкость. Использование ИМС для создания дисперсионно-упрочненных материалов.

Авторы:

Доцент Ю.Д. Серопегин, ст. преподаватель, к.х.н. Е.Г. Кабанова (кафедра общей химии химфака МГУ им. М.В. Ломоносова)

### 3. Объем дисциплины и распределение трудоемкости по видам учебной работы

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зачетные единицы (144 академических часа). Ее изучение происходит в 3 семестре.

<b>Вид учебной работы</b>	<b>Всего часов</b>	<b>3 семестр</b>
<b>Общая трудоемкость дисциплины</b>	<b>144</b>	<b>144</b>
<b>Аудиторные занятия</b>	<b>54</b>	<b>54</b>
Лекции	18	18
Семинары	18	18
Лабораторные работы	18	18
<b>Самостоятельная работа</b>	<b>90</b>	<b>90</b>
Подготовка к семинарским занятиям и лабораторным работам	36	36

Подготовка к контрольным работам, коллоквиуму и экзамену	54	54
<b>Контроль знаний студентов (в числах)</b>		
Виды промежуточного контроля: коллоквиумы контрольные работы		1 2
Виды итогового контроля: Зачеты Экзамены		– 1 экз.

#### 4. Разделы дисциплины и виды занятий

№ п/п	Модули или разделы дисциплины	Лекции	Семинары	Лабораторные работы
	<b>Модуль 1</b>			
1	Интерметаллические соединения на диаграммах состояния металлических систем	+	+	+
2	Общие принципы образования металлических структур	+	+	-
	<b>Модуль 2</b>			
3	Структурные типы металлов	+	+	-
4	Факторы, определяющие состав и структуру интерметаллических соединений	+	+	-
5	Основные структурные типы интерметаллических соединений	+	+	-
6	Классификация интерметаллических соединений	+	+	-
	<b>Модуль 3</b>			
7	Методы получения интерметаллических соединений	+	+	+

	<b>Модуль 4</b>			
8	Электрические и магнитные свойства интерметаллических соединений	+	+	+
9	Жаростойкость и жаропрочность интерметаллических соединений. Коррозионная стойкость. Интерметаллические соединения в составе дисперсионно-упрочненных материалов	+	+	-

## 5. Перечень лабораторных работ и тем семинарских занятий

### Лабораторный практикум

№ п/п	№ раздела дисциплины	Наименование лабораторной работы
1	3	Синтез интерметаллических соединений плавлением в электродуговой печи
2	3	Синтез интерметаллических соединений плавлением в индукционной печи
3	3,4	Изучение физических свойств интерметаллических соединений (электропроводность, твердость и микротвердость)
4	1,4	Определение температур плавления и превращения интерметаллических соединений

### Темы семинарских занятий

№ п/п	№ раздела дисциплины	Наименования семинарских занятий
1	1	Диаграммы состояния металлических систем с интерметаллическими соединениями и области их устойчивости
2	2	Кристаллохимический анализ основных структурных типов металлов и интерметаллических соединений
3	2	Классификация интерметаллических соединений и факторы, определяющие их состав и структуру

4	2	Предсказание возможности образования новых интерметаллических соединений в металлических системах
5	1-2	Контрольная № 1
6	3	Методы получения интерметаллических соединений и выбор оптимального метода
7	2, 4	Анализ зонной структуры представителей различных семейств интерметаллических соединений
8	1, 4	Электрические и магнитные свойства интерметаллических соединений, их применение в конструкционных материалах
8	1-4	Контрольная № 2

#### 6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

##### Основная литература

1. Соколовская Е.М., Гузей Л.С. Металлохимия. М.: МГУ, 1986 г.
2. Пирсон У. Кристаллохимия и физика металлов и сплавов. М. Мир, 1977 г.
3. Интерметаллические соединения. Под ред. И. И. Корнилова. М. Металлургия, 1970 г.

##### Дополнительная литература

1. Уманский Я.С., Скаков Ю.А. Физика металлов. М.: Атомиздат, 1978 г.
2. Канн Р., Хаазен П. Физическое металловедение. В 3-х томах. М.: Металлургия, 1987 г.
3. Корнилов И.И. Металлиды и взаимодействия между ними. М. Наука, 1964 г.
4. Сирота Н.Н. Физико-химическая природа фаз переменного состава. Минск.: Наука и техника, 1976 г.
5. Электронная структура переходных металлов и химия их сплавов. Под ред. Я.С. Уманского. М.: Металлургия, 1966 г.

Лабораторные работы обеспечены методическими разработками по проведению экспериментов.

#### 7. Примерное содержание оценочных средств

##### Контрольная работа №1

1. Охарактеризуйте фазовую диаграмму двухкомпонентной системы и указать на ней области существования твердых растворов на основе металлов и на основе интерметаллидов.
2. Укажите на фазовой диаграмме тройной системы области существования интерметаллидов.
3. Отнесите следующие интерметаллиды к одному из классов:  $MgCu_2$ ,  $Cr_3Si$ ,  $Ti_2Ni$ ,  $MoSi_2$ ,  $CuAl_2$ ,  $AuCu_3$ ,  $TiNi_3$ ,  $MgCd_3$ ,  $PuAl_3$ ,  $TiCu_3$ ,  $TiAl_3$ ,  $UNi_5$ ,  $CaCu_5$ ,

MgZn<sub>2</sub>, MgNi<sub>2</sub>,

4. Опишите кристаллические структуры двух из них (по указанию преподавателя).

5. В чем состоит размерный фактор и как он влияет на состав и структуру интерметаллидов?

6. Что такое электронная концентрация и как она определяет состав интерметаллидов?

## Контрольная работа № 2

1. На основании представленной Вам фазовой диаграммы тройной системы предложите способы получения имеющихся в ней интерметаллидов и сравните их достоинства и недостатки.

2. Что такое эвтектическое и перитектическое взаимодействие интерметаллических соединений?

3. Приведите примеры зонной структуры электронных соединений между переходными металлами.

4. Перечислите типы магнетизма и объясните механизм их возникновения. Приведите примеры интерметаллидов, соответствующих приведенным типам.

5. Перечислите параметры сверхпроводимости, приведите примеры сверхпроводящих интерметаллидов и охарактеризуйте условия их перехода в сверхпроводящее состояние.

## Вопросы к коллоквиуму и экзамену:

1. Диаграммы состояния металлических систем и определение понятия «интерметаллические соединения» (ИМС). Фазы постоянного и переменного состава, область гомогенности. Дальтониды и бертоллиды.

2. Общие принципы образования металлических структур: принцип пространственного заполнения, принцип симметрии, принцип ассоциаций. Основные структурные типы металлов: ГЦК, ОЦК, ГПУ. Иные структурные типы металлов ( $\beta$ -Sn,  $\alpha$ -,  $\beta$ -,  $\gamma$ -Mn,  $\beta$ -U).

3. Фазы Цинтля. Валентные соединения: нормальные валентные соединения, общие валентные соединения. Частично ионные структуры.

4. Фазы Лавеса и их гомологический ряд. Размерный фактор. Отношение атомных радиусов, межатомные расстояния, средний концентрационно-взвешенный радиус, коэффициент заполнения пространства.

5. Электронная концентрация. Электронные соединения: фазы Юм-Розери; соединения типа раствора внедрения; электронное строение фаз внедрения. Квантовая теория электронных соединений и их зонное строение.

6. Основные структурные типы интерметаллических соединений: фазы со структурным типом CsCl; фазы Лавеса, фазы типа Cr<sub>3</sub>Si, фазы состава A<sub>2</sub>B,

упорядоченные структуры с плотной упаковкой состава  $AB_3$ , фазы состава  $AB_5$ .

7. Основные структурные типы интерметаллических соединений: Франк-Касперовские фазы, полиэдры Каспера. Условия устойчивости различных структурных типов.

8. Фазовые переходы между различными структурными типами и их условия.

9. Методы предсказания новых интерметаллических соединений, их возможности, достоинства и ограничения. Применение на конкретном примере металлической системы.

10. Методы синтеза интерметаллических соединений. Получение интерметаллических соединений плавлением в электродуговой печи; направленная кристаллизация; плавление в индукционной печи.

11. Методы синтеза интерметаллических соединений. Механохимические способы.

12. Методы синтеза интерметаллических соединений. Образование интерметаллических соединений кристаллизацией из расплава, образование интерметаллических соединений по перитектической реакции; по перитектоидной реакции.

13. Методы синтеза интерметаллических соединений. Образование интерметаллических соединений в результате упорядочения твердого раствора (соединения Курнакова)

14. Образование интерметаллидами непрерывного ряда твердых растворов, эвтектическое взаимодействие интерметаллических соединений. Перитектическое взаимодействие. Факторы, определяющие характер взаимодействия интерметаллических соединений.

15. Правило сингулярной триангуляции в системах с образованием интерметаллических соединений.

16. Магнитные свойства интерметаллических соединений. Типы магнетизма и факторы, определяющие тип магнетизма. Структурные типы, обладающие магнитными свойствами.

17. Сверхпроводимость. Параметры сверхпроводимости: температура сверхпроводящего перехода, критическое магнитное поле, критическая плотность тока. Мягкие и жесткие сверхпроводники.

18. Сверхпроводящие структуры: соединения со структурами  $A15$  и  $B1$ , фазы Шевреля. Кондо-эффект.

19. Жаростойкость, жаропрочность и коррозионостойкость интерметаллических соединений.

20. Использование интерметаллических соединений для создания дисперсионно-упрочненных материалов.

Принцип составления экзаменационных билетов:

в билет включается 2 вопроса,

первый – посвященный общим вопросам и строению интерметаллических соединений (с №1 по 9),

второй – посвященный методам их получения и эксплуатационным свойствам (с №10 по 20).

## **8. Материально-техническое обеспечение дисциплины**

Проведение учебного процесса обеспечено:

–лекции – мультимедийным проектором

–семинарские занятия – компьютерами, подключенными к сети Internet, для использования информационных систем и баз данных и проведения расчетов и принтерами для распечатки результатов расчетов.

–лабораторные работы:

Оборудование для синтеза ИМС: электродуговая печь, муфельные печи, индукционная печь, вакуумный пост.

Приборы для исследования физических свойств ИМС: Оптические микроскопы Neophot-2, Neophot-32 (с системой цифровой фотомикроскопии), Versamet-2, РВ-23, Микротвердомеры ПМТ-3 и ПМТ-3М (с фотоэлектрическим окулярным микрометром).

Материал подготовлен ст.н.сотр. Яценко А.В. (кафедра общей химии химического факультета МГУ им. М.В.Ломоносова).

## **Магистерская программа**

### **«Химия в интересах устойчивого развития»**

#### **Авторская программа вариативной части профессионального цикла**

#### **Цели и задачи программы**

Инновационная образовательная магистерская программа «Химия в интересах устойчивого развития» обеспечивает формирование профессиональных компетенций и навыков будущего магистра в одном из важнейших направлений химической науки, представляющем совершенно новый подход к химии и химической технологии – химии в интересах устойчивого развития, или зеленой химии.. Программа направлена на подготовку и обучение химиков разного профиля и специалистов в области биологии, медицины, химической технологии новому подходу к химии как к науке, способной обеспечить производство и потребление химических продуктов таким образом, чтобы максимально снизить ущерб, наносимый природе на всех стадиях химического процесса, начиная от потребления энергии и заканчивая утилизацией отходов. Такой подход позволит обеспечить земной цивилизации устойчивое развитие в части, связанной с производством и использованием искусственных химических продуктов, а это одна из крупнейших групп потребляемых веществ.

В результате освоения программы магистрант должен:

- Знать основы современных представлений химии в интересах устойчивого развития как о новом подходе к планированию и осуществлению химических реакций и химических процессов.

- Знать основные мировые достижения в применении на практике основных принципов химии в интересах устойчивого развития.

- Уметь самостоятельно ставить задачу исследования, выбирать оптимальные пути и методы планирования эксперимента,

- уметь проводить оценку не только целевых химических свойств будущего продукта, и возможных экологических рисков,

- Демонстрировать способность и готовность проводить расчеты количественных оценок химических процессов с точки зрения устойчивого развития, таких, как атомная эффективность и E-фактор, а также экономические показатели.

В ходе обучения студент приобретает (или закрепляет) следующие компетенции:

- Использует основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применяет методы математического моделирования, теоретического и экспериментального исследования (ОК-5);

- Понимает принципы работы и умеет работать на современной научной аппаратуре при проведении научных исследований (ОК-6);

- Имеет представления о наиболее актуальных направлениях исследований в современной теоретической и экспериментальной химии в области гетерогенного катализа (ПК-1);

- Способен применять основные законы химии при обсуждении полученных результатов, в том числе с привлечением информационных баз данных (ПК-2);

- Владеет теорией и навыками практической работы (ПК-3);

- Владеет навыками химического эксперимента, основными синтетическими и аналитическими методами получения и исследования химических веществ и реакций (ПК-4);

- Представляет основные химические, физические и технические аспекты химического промышленного производства с учетом сырьевых и энергетических затрат (ПК-5);

- Имеет представления об основных принципах химии в интересах устойчивого развития, направлениях конструирования «зеленых» процессов, включающих сокращение числа стадий самого химического процесса (ПК-16);

- Владеет теорией и навыками проведения каталитических реакций в широком интервале условий (гетерогенные реакции, реакции с растворителями в сверхкритических условиях, проведение химических реакций при высокоэнергетических воздействиях, в условиях механохимической и СВЧ-активации) (ПК-17);

- Имеет представления о современных методах анализа химических веществ, физико-химических методах исследования гетерогенных катализаторов и умеет грамотно анализировать результаты этих исследований (ПК-18);

- Владеет знаниями о социальном и политическом значении концепции устойчивого развития и роли химии в осуществлении устойчивого развития на мировом уровне и в условиях России (ПК-19).

## 1. Учебный план магистерской программы «Химия в интересах устойчивого развития»

№ п/п	Наименование циклов дисциплин и разделов	Трудоемкость		Распределение по семестрам				Экзамен зачет	Коды компетенций
		Общая		1	2	3	4		
		в зачетных единицах	в часах						
<b>М.2</b>	<b>Вариативная часть: магистерская программа «Химия в интересах устойчивого развития»</b>	<b>34</b>	<b>1224</b>					3 экз зачеты	
	<b>Курсы вуза</b>	<b>22</b>	<b>792</b>	+	+	+		3 экз зачеты	ОК-1 ОК-2 ПК-5 ОК-6 ПК-1 ПК-2 ПК-3 ПК-4 ПК-5 ПК-6 ПК-7
	Химия и токсикология окружающей среды	3	108			+		зачет	
	Техногенные системы и экологический риск	4	144	+				экз, зачет	
	Теоретические основы гетерогенного катализа	9	324		+			экз, зачет	
	Методы реализации зеленых процессов	6	216	+		+		экз. зачет	
	<b>Курсы по выбору студентов</b>	<b>12</b>	<b>432</b>	+	+			зачеты	

Традиционные и нетрадиционные источники энергии	6	216		+			Зачет оценка	ОК-4 ПК-1 ПК-3 ПК-5 ПК-7
Гуминовые соединения	6	216		+			Зачет оценка	
Физико-химические методы анализа	6	216	+				Зачет оценка	

**Дисциплина «Теоретические основы гетерогенного катализа»  
Авторская программа (курсы вуза) вариативной части  
профессионального цикла**

**1. Цели и задачи дисциплин**

Дисциплина «Теоретические основы гетерогенного катализа» обеспечивает теоретическую подготовку и практические навыки в области современных подходов к гетерогенно-каталитическим химическим процессам. Гетерогенный катализа является важнейшей составляющей осуществления современных промышленных процессов. Поэтому подходы, связанные с применением катализаторов, используют для решения самого широкого круга современных научных и технических проблем.

Преподавание основ гетерогенного катализа в университетах ставит своей главной целью раскрыть смысл основных принципов, научить студента видеть области применения этих подходов, четко понимать их принципиальные возможности при решении конкретных задач. Дать фундаментальные знания о принципе действия гетерогенных катализаторов и выборе оптимальных условий каталитического процесса, навыки выполнения оценки каталитической активности. Научить основным принципам выбора физико-химических методов для исследования свойств гетерогенных катализаторов (активности, модифицирования, дезактивации, отравления и др.) Проанализировать отечественный и мировой вклад в теорию гетерогенного катализа.

Материал дисциплины охватывает все основные области современного гетерогенного катализа – теории гетерогенного катализа, типы гетерогенных катализаторов и методы их приготовления, связь структуры с каталитическими свойствами, физико-химические методы исследования активности и свойств гетерогенных катализаторов.

В результате освоения дисциплины студент должен:

- Знать основы современных теорий гетерогенного катализа, компетентно ориентироваться в основных направлениях гетерогенного катализа и типах катализаторов.

- Знать основные мировые достижения в области гетерогенного катализа.

- Уметь самостоятельно ставить задачу физико-химического исследования катализаторов, выбирать оптимальные пути и методы при синтезе гетерогенных катализаторов. ориентироваться в разнообразных типах гетерогенных катализаторов и подходить к их использованию и описанию. Ориентироваться в современной литературе, грамотно вести научную дискуссию по вопросам катализа.

- Демонстрировать способность и готовность проводить расчеты активности и других характеристик катализатора, проводить стандартные физико-химические измерения, пользоваться справочной литературой.

В ходе изучения дисциплины «Теоретические основы гетерогенного катализа» студент приобретает (или закрепляет) следующие компетенции:

- Использует основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применяет методы математического моделирования, теоретического и экспериментального исследования (ОК-5);

- Понимает принципы работы и умеет работать на современной научной аппаратуре при проведении научных исследований (ОК-6);

- Имеет представления о наиболее актуальных направлениях исследований в современной теоретической и экспериментальной химии в области гетерогенного катализа (ПК-1);

- Способен применять основные законы химии при обсуждении полученных результатов, в том числе с привлечением информационных баз данных (ПК-2);

- Владеет теорией и навыками практической работы (ПК-3);

- Владеет навыками химического эксперимента, основными синтетическими и аналитическими методами получения и исследования химических веществ и реакций (ПК-4);

- Представляет основные химические, физические и технические аспекты химического промышленного производства с учетом сырьевых и энергетических затрат (ПК-5);

- Имеет представления об основных теориях гетерогенного катализа, понимает роль катализа в современной науке и промышленности (ПК-13);

- Владеет теорией и навыками проведения гетерогенно-каталитических реакций, методиками приготовления катализаторов и расчета их основных характеристик катализаторов (ПК-14);

- Имеет представления о физико-химических методах исследования гетерогенных катализаторов и умеет грамотно анализировать результаты этих исследований (ПК-15)

## **2. Содержание дисциплины «Теоретические основы гетерогенного катализа»**

Феноменология катализа. Определение катализа и катализатора. Термодинамический аспект действия катализаторов. Принцип каталитического действия. Классификация катализаторов и каталитических реакций.

История катализа. Возникновение понятия катализа, первые каталитические реакции.

Ранние теории катализа. Теория промежуточных соединений. Теория активных центров Тейлора. Мультиплетная теория Баландина. Теория активных ансамблей Кобозева. Вклад в теорию катализа Рогинского, Борескова, Волькенштейна.

Основные особенности катализа и значение размерных явлений.

Структурная чувствительность, правило Борескова, зависимость активности от размера частиц. Основные механизмы каталитических реакций. Каталитический цикл.

Промышленные катализаторы. Требования, предъявляемые к промышленным катализаторам. Характеристики промышленных катализаторов. Примеры промышленных катализаторов и реакций с их участием.

Массивные катализаторы и их особенности. Оксидные катализаторы, металлические черни, скелетные катализаторы. Никель Ренея. Полиметаллические катализаторы (смешанные катализаторы, сплавы). Сложные каталитические системы на основе оксидных материалов.

Нанесенные катализаторы. Структура и свойства дисперсных металлических частиц. Особенности наноразмерных частиц, отличия свойств от объемных материалов. Функции и типы носителя. Принципы выбора носителя. Способы стабилизации наночастиц. Особенности стабилизации в объеме, полимерной матрице и на поверхности. Основные принципы распределения активного компонента на носителе. Взаимное влияние в системе металл-носитель. Эффект сильного взаимодействия металл-носитель (СВМН).

Общие принципы приготовления катализаторов. Общие подходы к синтезу каталитических систем. Влияние условий приготовления на физико-химические свойства металлических катализаторов. Особенности формирования текстуры и поверхностных свойств. Методы синтеза оксидных систем, металлических катализаторов (осаждение, соосаждение, золь-гель и др.). Способы нанесения активного компонента на носитель (методы пропитки, осаждения, ионный обмен и др.). Особенности приготовления катализаторов в промышленных условиях. Формовка катализаторов. Нетрадиционные подходы к синтезу катализаторов. Влияние реакционной среды на состав поверхности гетерогенных катализаторов.

Способы модификации и промотирования катализаторов. Структурные и функциональные промотеры. Дезактивация катализаторов. Особенности

различных процессов дезактивации и способы повышения устойчивости каталитических систем. Регенерация катализаторов.

Физико-химические методы в изучении каталитических систем. Способы определения количества, природы активных центров и механизма каталитических реакций.

Адсорбционные методы в изучении механизмов. Особенности адсорбции на неоднородных поверхностях. Определение текстурных характеристик методами ВЕТ и ВЖН. Типы изотерм адсорбции. Адсорбция на мезопористых системах и материалах с комбинированной системой пор.

Температурно-программированные методы. Температурно-программированные реакции, восстановление/окисление, десорбция. Применение методов электронной микроскопии, РФЭС, ИК-спектроскопии адсорбированных молекул для определения природы и количества активных центров.

Роль катализа в современной жизни. Современные подходы к проведению и изучению каталитических процессов.

Авторы:

Доцент, к.х.н. Е.В.Голубина (Химический факультете МГУ имени М.В.Ломоносова)

Академик РАН, проф. В.В.Лунин (Химический факультете МГУ имени М.В.Ломоносова)

### 3. Объем дисциплины и распределение трудоемкости по видам учебной работы.

Общая трудоемкость дисциплины составляет 9 зачетных единиц (324 академические часа).

Вид учебной работы	всего часов	семестры		
		1	2	3
<b>Общая трудоемкость дисциплины</b>	<b>324</b>	-	+	-
<b>Аудиторные занятия:</b>	144	-	+	-
Лекции	54	-	+	-
Семинары	-	-	-	-
лабораторные работы	90	-	+	-
<b>Самостоятельная работа:</b>	180			
Подготовка к контрольным работам	72	-	+	-
Подготовка к коллоквиумам	108	-	+	-
<b>Контроль знаний студентов (в часах)</b>				
<b>Виды промежуточного контроля:</b>		-	+	-
контрольные работы	3		+	
Коллоквиумы	-	-	+	-
<b>Виды итогового контроля:</b>				
зачеты	-	-	+	-
экзамены	-	-	+	-

#### 4. Разделы дисциплины и виды занятий

№ п/п	Разделы дисциплины	Лекции	Семинары	Лабораторные работы
1	1. Общие принципы катализа. Основные этапы развития катализа. Теории гетерогенного катализа.	+	–	–
2	2. Основные характеристики катализаторов. Методы изучения активности катализаторов.	+	–	+
3	3. Промышленные катализаторы и их особенности. Экологический катализ.	+	–	+
4	4. Типы катализаторов. Массивные и нанесенные катализаторы и их особенности.	+	–	–
5	5. Общие принципы приготовления катализаторов.	+	–	+
6	6. Влияние реакционной среды на состав поверхности гетерогенных катализаторов.	+	–	+
7	7. Физико-химические методы в изучении каталитических систем.	+	–	+

#### Примерный перечень лабораторных работ (лабораторный практикум)

№ п/п	№ раздела дисциплины	Наименование лабораторных работ
1	2	Определение удельной поверхности твердых тел методом тепловой десорбции азота
2	2	Определение текстурных характеристик твердых тел адсорбционными методами
3	5	Изучение процессов восстановления в металлических катализаторах методом температурно-программированного восстановления
4	2	Определение константы скорости реакции озона с глиоксалем
5	2, 3	Окисление озоном органических загрязнителей атмосферы
6	6	Модифицирование поверхности твердых тел в низкотемпературной плазме тлеющего разряда
7	7	Изучение парамагнитных веществ методом электронного парамагнитного резонанса
8	2, 3	Мультифазное гидрохлорирование хлорированных промышленных загрязнителей
9	2	Импульсный микрокаталитический метод определения активности катализаторов
10	7	Температурно-программируемое восстановление и окисление

		(ТПВ и ТПО) с регистрацией намагниченности <i>in situ</i> Меманесенных систем, содержащих ферромагнитный компонент
11	6	Окислительное модифицирование углеродных материалов
12	5	Синтез цементсодержащих катализаторов на основе оксидов переходных металлов. Определение активности катализаторов в реакции разложения озона и их физико-химических свойств
13	7	Изучение кислотно-основных свойств поверхности гетерогенных катализаторов методом ИК-спектроскопии
14	7	Структурно-химический анализ гетерогенных катализаторов методом КР-спектроскопии
15	2	Термический анализ веществ и материалов
16	5	Синтез нанесенных биметаллических катализаторов на основе углеродных носителей

## 5. Контроль знаний студентов

### Рубежный контроль знаний студентов

#### Программа коллоквиумов курса «Теоретические основы гетерогенного катализа»

Феноменология катализа. Определение катализа и катализатора. Термодинамический аспект действия катализаторов. Принцип каталитического действия. Классификация катализаторов и каталитических реакций.

История катализа. Возникновение понятия катализа, первые каталитические реакции.

Ранние теории катализа. Теория промежуточных соединений. Теория активных центров активных ансамблей Кобозева.

Вклад в теорию катализа Рогинского, Борескова, Волькенштейна.

Основные особенности катализа и значение размерных явлений. Структурная чувствительность, правило Борескова, зависимость активности от размера частиц. Основные механизмы каталитических реакций. Каталитический цикл.

Активность и селективность гомогенных и гетерогенных катализаторов. Способы расчета каталитической активности для гетерогенных катализаторов, число оборотов реакции (TOF). Методы изучения активности катализаторов. Статические, проточные и импульсные методы определения активности, их преимущества и недостатки. Типы каталитических систем и каталитических реакторов.

Промышленные катализаторы. Требования, предъявляемые к промышленным катализаторам. Характеристики промышленных катализаторов. Примеры промышленных катализаторов и реакций с их участием.

Массивные катализаторы и их особенности. Оксидные катализаторы, металлические черни, скелетные катализаторы. Никель Ренея.

Полиметаллические катализаторы (смешанные катализаторы, сплавы). Сложные каталитические системы на основе оксидных материалов.

Нанесенные катализаторы. Структура и свойства дисперсных металлических частиц. Особенности наноразмерных частиц, отличия свойств от объемных материалов. Функции и типы носителя. Принципы выбора носителя. Способы стабилизации наночастиц. Особенности стабилизации в объеме, полимерной матрице и на поверхности. Основные принципы распределения активного компонента на носителе. Взаимное влияние в системе металл-носитель. Эффект сильного взаимодействия металл-носитель (СВМН).

Общие принципы приготовления катализаторов. Общие подходы к синтезу каталитических систем. Влияние условий приготовления на физико-химические свойства металлических катализаторов. Особенности формирования текстуры и поверхностных свойств. Методы синтеза оксидных систем, металлических катализаторов (осаждение, соосаждение, золь-гель и др.). Способы нанесения активного компонента на носитель (методы пропитки, осаждения, ионный обмен и др.). Особенности приготовления катализаторов в промышленных условиях. Формовка катализаторов. Нетрадиционные подходы к синтезу катализаторов.

Влияние реакционной среды на состав поверхности гетерогенных катализаторов.

Способы модификации и промотирования катализаторов. Структурные и функциональные промотеры. Дезактивация катализаторов. Особенности различных процессов дезактивации и способы повышения устойчивости каталитических систем. Регенерация катализаторов.

Физико-химические методы в изучении каталитических систем. Способы определения количества, природы активных центров. Адсорбционные методы в изучении гетерогенных катализаторов. Особенности адсорбции на неоднородных поверхностях. Определение текстурных характеристик методами ВЕТ и ВЖН. Типы изотерм адсорбции. Адсорбция на мезопористых системах и материалах с комбинированной системой пор.

Температурно-программированные методы. Температурно-программированные реакции, восстановление/окисление, десорбция. Применение методов электронной микроскопии, РФЭС,

ИК-спектроскопии адсорбированных молекул для определения природы и количества активных центров.

Роль катализа в современной жизни. Современные подходы к проведению и изучению каталитических процессов.

---

## Контрольные работы

Контрольная работа № 1.

1. Сформулируйте известные Вам определения катализа. Какое из определений, по Вашему мнению, наиболее точно описывает суть явления катализа?
2. Как катализатор влияет на термодинамические характеристики реакции?
3. Сформулируйте основные положения принципа геометрического соответствия теории Баландина.
4. Сформулируйте основные положения принципа энергетического соответствия теории Баландина.
5. Сформулируйте основные положения теории Кобозева.

#### Контрольная работа № 2.

1. В чем различия расчета каталитической активности в гомогенном и гетерогенном катализе.
2. Требования, предъявляемые к промышленным катализаторам. Характеристики промышленных катализаторов.
3. Методы изучения активности в гетерогенном катализе: проточный метод
4. Методы изучения активности в гетерогенном катализе: статический метод
5. Методы изучения активности в гетерогенном катализе: импульсный метод

#### Контрольная работа №3.

1. Вам необходимо приготовить методом пропитки катализатор Pt/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Перечислите все стадии метода, а также условия, которые необходимо соблюдать и избегать.
2. Вам необходимо приготовить методом осаждения-пропитки катализатор Pt/ Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Перечислите все стадии метода, а также условия, которые необходимо соблюдать и избегать.
3. Вам необходимо приготовить методом соосаждения катализатор Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-ZrO<sub>2</sub>. Перечислите все стадии метода, а также условия, которые необходимо соблюдать и избегать.
4. В процессе реакции изомеризации пентана катализатор Pd/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> потерял активность. Какие физико-химические методы можно использовать, чтобы выявить причины дезактивации.

Итоговый контроль знаний (экзамен):

1. Определения катализа. Термодинамический аспект действия катализаторов.
2. Ранние теории катализа. Теория промежуточных соединений. Теория активных центров Тейлора.
3. Мультиплетная теория Баландина.
4. Теория активных ансамблей Кобозева. Вклад в теорию катализа Рогинского, Борескова, Волькенштейна.
5. Структурная чувствительность (диаграмма Борескова). Основные механизмы каталитических реакций, каталитический цикл.
6. Активность и селективность гомогенных и гетерогенных катализаторов. Методы расчета активности в гетерогенном катализе.
7. Методы изучения активности катализаторов.
8. Требования, предъявляемые к промышленным катализаторам. Характеристики промышленных катализаторов.
9. Общие принципы приготовления гетерогенных катализаторов.
10. Металлические катализаторы. Влияние условий приготовления на физико-химические свойства металлических катализаторов. Структура и свойства дисперсных металлических частиц.
11. Оксидные катализаторы. Влияние условий приготовления на физико-химические свойства металлических катализаторов. Структура и свойства дисперсных металлических частиц.
12. Нанесенные катализаторы. Принципы выбора носителя. Типы носителей. Распределения активного компонента на носителе. Функция носителя. Взаимное влияние в системе металл-носитель.
13. Основы приготовления черней, скелетных катализаторов. Никель Ренея. Полиметаллические катализаторы. Сложные каталитические системы.
14. Влияние реакционной среды на состав поверхности гетерогенных катализаторов. Дезактивация катализаторов и способы их регенерации.
15. Алюмосиликаты и цеолиты. Связь каталитической активности со свойствами поверхности. Активность и селективность цеолитных катализаторов.
16. Физико-химические методы в исследовании гетерогенных катализаторов.
17. Роль катализа в современной жизни.
18. Методы изучения активности в гетерогенном катализе: статический метод
19. Методы изучения активности в гетерогенном катализе: импульсный метод

## **6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины**

## **Рекомендуемая литература**

### **Основная литература**

1. Боресков Г.К. Гетерогенный катализ. М., Наука, 1986.
2. Вудраф Д., Делчар Т.. Современные методы исследования поверхности, М., Мир, 1989
3. Крылов О.В. Гетерогенный катализ, М., Академкнига, 2004.
4. Полторак О.М. Лекции по теории гетерогенного катализа, М., Изд-во МГУ, 1968.
5. Розовский А.Я. Катализ и реакционная среда, М., Наука, 1988.
6. Сетерфилд Ч. Практический курс гетерогенного катализа. М.: Мир, 1984.
7. Фенелонов В.Б. Введение в физическую химию формирования супрамолекулярной структуры адсорбентов и катализаторов", Новосибирск, Изд-во УрО РАН, 2004.
8. «Сборник задач специализированного практикума по физической химии лаборатории КГЭ Химического факультета МГУ им. М.В.Ломоносова», под ред. доц. Голубиной Е.В. и акад. РАН Лунина В.В. Издательство Московского университета, 2009, ISBN 978-5-211-05619-0

### **Дополнительная литература**

1. Handbook of Heterogeneous Catalysis, (G.Ertl, H.Knozinger and J.Weitkamp, Eds.), VCH Publ., 1997.
2. Thomas J.M., Thomas W. J. Principles and Practice of Heterogeneous Catalysis» Wiley-VCH, 1996  
Материал подготовлен доцентом Е.В.Голубиной (кафедра физической химии химического факультета МГУ им. М.В.Ломоносова).

### **Магистерская программа «Современные методы химического анализа» Авторская программа вариативной части профессионального цикла**

#### **Цели и задачи программы**

Магистерская программа «Современные методы химического анализа» обеспечивает формирование профессиональных компетенций и навыков будущего магистра в одном из важнейших направлений химической науки -

химическом анализе. Программа направлена на обучение химиков разного профиля теоретическим основам и практическому применению современных методов химического анализа, позволяющих решать актуальные задачи в различных областях науки, производства, жизнедеятельности человека.

Магистрант должен получить представление о современном состоянии и тенденциях развития и совершенствования таких методов химического анализа, как спектроскопические, хроматографические, электрохимические, методы разделения и концентрирования, а также целого ряда других широко используемых методов. При этом изучение, например, спектроскопических методов не ограничится рассмотрением лишь наиболее распространенных методов молекулярной спектроскопии - спектрофотометрии и люминесценции, а также методов атомной спектроскопии - атомно-эмиссионной и атомно-абсорбционной, а будет включать и ознакомление с методами спектроскопии комбинационного рассеяния, инфракрасной, лазерной, рентгеновской, рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии. Помимо различных видов хроматографии впервые представлен и метод хромато-масс-спектрометрии. Он содержит глобальные и конкретные задачи научных исследований и химического анализа, решаемых с помощью указанных методов, пути и подходы к совершенствованию их теоретического базиса, приборного оснащения и улучшению аналитических и метрологических характеристик. Важным этапом обучения является освоение магистрантом методологии анализа различных реальных объектов - окружающей среды, медицины, фармацевтической, пищевой, химической, нефтедобывающей и других отраслей промышленности. Кроме того, магистрант должен ознакомиться с организацией аналитической службы и практикой работы аналитических лабораторий в Российской Федерации.

Магистрант должен освоить современные математические методы обработки результатов эксперимента; приобрести навыки экспериментатора при выполнении практических заданий в разных разделах специального практикума, при проведении научных исследований в различных областях химического анализа, прежде всего при выполнении магистерской диссертационной работы.

Магистрант должен получить базовые познания в методике преподавания теоретических основ и аспектов практического использования современных методов химического анализа студентам химических и смежных специальностей.

У магистранта должна сформироваться система взглядов и шкала ценностей, характерные для исследователя, а не просто грамотного исполнителя.

Подготовленный таким образом выпускник должен обладать способностью легко адаптироваться к любой работе по направлению подготовки, в том числе и вне сферы аналитических лабораторий.

## 1. Примерный учебный план магистерской программы «Современные методы химического анализа»

№ п/п	Наименование циклов дисциплин и разделов	Трудоемкость		Распределение по семестрам				Экзамен зачет	Коды компетенций
		Общая		1	2	3	4		
		в зачетных единицах	в часах						
<b>М.2</b>	<b>Вариативная часть:</b> магистерская программа <b>«Современные методы химического анализа»</b>	<b>36</b>	<b>1296</b>					4 экз зачеты	
	<b>Курсы вуза</b>	<b>24</b>	<b>864</b>					4 экз зачеты	ОК-1 ОК-2 ОК-4 ОК-5 ОК-6 ПК-1 ПК-2 ПК-3 ПК-4 ПК-5 ПК-6 ПК-7
	Современные хроматографические методы анализа	7	252	+				Экз зачет	
	Современные методы атомной и молекулярной спектроскопии.	7	252		+			экз, зачет	
	Современные электрохимические методы анализа	5	180		+			экз, зачет	
	Современные методы разделения и концентрирования	5	180	+				экз. зачет	
	<b>Курсы по выбору студентов</b>	<b>12</b>	<b>432</b>					зачеты	
	Теория и практика капиллярного электрофореза	1	36	+				зачет	
	Масс-спектрометрия. Хромато-масс-спектрометрия.	2	72		+	+		зачет	

Методы колебательной спектроскопии в химическом анализе	1.0	36		+			зачет
Рентгеновские методы в химическом анализе.	1.0	36		+			зачеты
Методы локального анализа и анализа поверхности	1.0	36			+		зачет
Биохимические и биологические методы химического анализа.	1.5	54	+				зачет
Химические и биологические сенсоры: теоретические основы и практическое применение	1.5	54	+				зачет
Радиохимические и ядерно-физические методы химического анализа.	1.0	36		+	+		зачет
Проточный и непрерывный анализ.	1.0	36		+			зачет
Анализ объектов окружающей среды, медицины, фармацевтической и пищевой промышленности.	1.5	54			+		зачет
Хемометрика	1.0	36	+				зачет
Компьютеризация, миниатюризация и автоматизация химического анализа.	1.0	36	+				зачет
Организация аналитического контроля на производстве, в экологическом мониторинге, биотехнологии, клинической диагностике.	1.0	36		+			зачет
История и методология аналитической химии	1.0	36		+			зачет
Тест-методы в химическом анализе.	1.0	36	+				зачет

## 2. Программа дисциплины «Современные хроматографические методы анализа»

Рекомендуется для направления подготовки 020100-химия как вариативная дисциплина (курс вуза) профессионального цикла  
Квалификация (степень) – магистр химии

### Цели и задачи дисциплины

Хроматографические методы анализа представляют собой один из наиболее распространенных и широко применяемых методов анализа. Различные варианты хроматографии используют для решения самого широкого круга научных и практических задач в различных областях.

В курсе рассматриваются основные закономерности хроматографического разделения соединений, варианты хроматографии и параметры хроматографической колонки. Обсуждаются основные положения газовой и высокоэффективной жидкостной хроматографии и их использование для решения задач контроля экотоксикантов различной природы в объектах окружающей среды. Особое внимание уделяется хромато-масс-спектрологии. Рассматривается приборное оснащение в газовой хроматографии и ВЭЖХ. Проводится сопоставление ВЭЖХ и электросепарационных методов: капиллярного зонного электрофореза, мицеллярной электрокинетической хроматографии, капиллярной электрохроматографии.

В результате освоения дисциплины студенты должны:

- **знать** физико-химические основы хроматографического разделения, пути улучшения параметров разделения и детектирования, преимущества, недостатки метода и возможность применения хроматографических методов для решения различных практических задач; подходы к выбору варианта хроматографии для решения конкретной проблемы на базе полученных теоретических знаний; принципы оптимизации условий разделения и детектирования целевых продуктов в различных хроматографических методах.

- **уметь** самостоятельно ставить задачу разработки методики определения компонентов в различных объектах; выбирать условия разделения целевых продуктов (неподвижную и подвижную фазы, вариант детектирования); обсуждать результаты проведенного исследования, ориентироваться в современной литературе по теории хроматографических методов и применению их в различных областях науки и производства, вести

дискуссию по вопросам закономерностей и использования хроматографических методов.

В ходе изучения дисциплины «Хроматографические методы анализа» студент приобретает (или закрепляет) следующие компетенции:

- использует основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применяет методы математического моделирования, теоретического и экспериментального исследования (ОК-5);
- понимает принципы работы и умеет работать на современной научной аппаратуре при проведении научных исследований (ОК-6);
- имеет представления о наиболее актуальных направлениях исследований в современной теоретической и экспериментальной химии в области хроматографического анализа (ПК-1);
- знает основные этапы и закономерности развития хроматографии, имеет представления о системе фундаментальных понятий и методологических аспектов этой области науки (ПК-2);
- владеет теорией и навыками практической работы (ПК-3);
- умеет анализировать научную литературу с целью выбора направления исследования по предполагаемой теме и самостоятельно составлять план исследования (ПК-4);
- способен анализировать и обсуждать полученные результаты, делать необходимые выводы и формулировать предложения (ПК-5);
- владеет навыками работы на современном хроматографическом оборудовании; способен применять информационные и компьютерные технологии при проведении анализа реальных объектов, эксплуатации оборудования и обработке полученных результатов (ПК-6).

## Содержание дисциплины «Современные хроматографические методы анализа»

### Модуль 1. Основные понятия и теоретические основы хроматографии

Хроматографические методы анализа. История их возникновения. Современное состояние методов, область применения, значение и место среди других аналитических методов. Классификация хроматографических методов.

Теоретические основы хроматографии. Основные характеристики хроматографического процесса. Теория равновесной хроматографии. Неравновесная хроматография. Кинетические теории хроматографии.

### Модуль 2. Газовая хроматография

Газовая хроматография. Теоретические основы метода. Варианты метода: газо-адсорбционная и газо-жидкостная хроматография. Определяемые вещества. Основные аналитические характеристики. Аппаратура для газовой хроматографии. Хроматографические колонки, термостаты, детекторы. Классификация детекторов и их важнейшие характеристики. Высокоэффективная капиллярная газовая хроматография.

#### Модуль 3. Современные варианты жидкостной хроматографии

Жидкостная хроматография. Принцип метода. Определяемые вещества. Аналитические характеристики современной высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ). Аппаратура. Колонки. Детекторы и их выбор. Пробоподготовка. Адсорбционная жидкостная хроматография (ЖАХ). Основные представления о механизме ЖАХ. Подвижные и неподвижные фазы. Нормально-фазовая ЖАХ. Модели удерживания и типы взаимодействия сорбат-сорбент. Области применения. Обращенно-фазовая хроматография на модифицированных сорбентах. Механизм удерживания. Области применения

Ионная хроматография. Основные представления о механизме ионного обмена. Варианты ионной хроматографии. Неподвижные фазы и элюенты. Использование ионной хроматографии для анализа различных объектов

Тонкослойная хроматография. Теоретические основы метода. Техника получения хроматограмм. Высокоэффективная ТСХ.

#### Модуль 4. Электросепарационные методы анализа.

Варианты электросепарационных методов: капиллярный зонный электрофорез, мицелярная электрокинетическая хроматография, капиллярная электрохроматография, изоэлектрофокусирование.

Теоретические основы методов. Электроосмотический поток (ЭОП). Факторы, влияющие на направление и скорость ЭОП. Электрофоретическая подвижность ионов, факторы, влияющие на нее. Аппаратура. Детекторы. Модифицирование капилляра. Области применения электросепарационных методов. Сравнение электросепарационных методов и ВЭЖХ.

#### Модуль 5. Хромато-масс-спектрометрия.

Принципы метода масс-спектрального анализа. Классификация методов по типам источников получения ионов (электронный удар, химическая ионизация, электрораспылительная ионизация, искровая масс-спектрометрия, масс-спектрометрия тлеющего разряда, лазерная масс-спектрометрия, масс-спектрометрия вторичных ионов). Типы масс-анализаторов и основные принципы их работы. Сочетание масс-спектрометрии с газовой (ГХ-МС) и жидкостной хроматографией (ЖХ-МС). Использование ГХ-МС и ЖХ-МС для решения практических задач.

Авторы:

Проф. О.А. Шпигун, доц. Е.Н. Шаповалова (кафедра аналитической химии химического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова)

### 3. Объем дисциплины и распределение трудоемкости по видам учебной работы

Общая трудоемкость дисциплины составляет 7 зачетных единицы (252 академических часа)

Вид учебной работы	Всего часов
Общая трудоемкость дисциплины	252
Аудиторные занятия	108
Лабораторные работы	72
Лекции	18
Семинары	18
Самостоятельная работа	144
Подготовка к семинарским занятиям и контрольным работам	72
Подготовка к коллоквиумам	72
Контроль знаний студентов (в числах)	
Виды промежуточного контроля	
Коллоквиумы	2
Контрольные работы	1
Виды итогового контроля (в числах)	
Зачеты	1
Экзамены	1

### 4. Разделы дисциплины и виды занятий

№ п/п	Модули или разделы дисциплины	Лекции	Семинары	Лабораторные работы
	<b>Модуль 1</b>			
	Введение в хроматографические методы анализа	+	+	
	Физико-химические основы хроматографического разделения соединений.	+	+	
	<b>Модуль 2</b>			
	Основные положения газовой хроматографии. Варианты метода. Приборное оформление метода	+	+	+
	Капиллярная газовая хроматография.	+	+	+
	Реакционная газовая хроматография	+	+	+
	<b>Модуль 3</b>			
	Основные положения жидкостной хроматографии. Варианты метода. Приборное оформление метода	+	+	+

	Адсорбционная высокоэффективная жидкостная хроматография.	+	+	+
	Ионная и ион-парная хроматография	+	+	+
	Эксклюзионная хроматография	+	+	+
	Хиральная хроматография	+	+	+
	Планарная хроматография	+		+
	<b>Модуль 4</b>			
	Капиллярный электрофорез.	+	+	+
	<b>Модуль 5</b>			
	Хромато-масс-спектрометрия	+	+	+

## Примерный перечень лабораторных работ и тем семинарских занятий

### Лабораторный практикум

№ п/п	№ раздела дисциплины	Наименование лабораторных работ
1.	2	Газовая хроматография. Качественный и количественный анализ смеси паров алифатических спиртов.
2.	2	Определение примесей спиртов и эфиров в этиловом спирте.
3.	2	Разделение постоянных газов (кислорода, водорода, азота, метана, окиси углерода) методом газо-адсорбционной хроматографии с использованием катарометра.
4.	2	Определение содержания нефтепродуктов в реальных объектах (почва, вода) капиллярной газовой хроматографией.
5.	3	Определение примесей в лекарственных препаратах методом тонкослойной хроматографии. Оценка чистоты лекарственного препарата «Пикамилон».
6.	3	Разделение смесей аминокислот методом тонкослойной хроматографии.
7.	3	Определение фенолов в сточных и природных водах с предварительным сорбционным концентрированием обращенно-фазовой ВЭЖХ с электрохимическим детектированием.
8.	3	Определение полициклических ароматических соединений в водах с предварительным сорбционным концентрированием методом ВЭЖХ
9.	3	Определение аминокислот в виде <i>o</i> -фталевых производных обращенно-фазовой ВЭЖХ.

10.	3	Определение витаминов методом ВЭЖХ со спектрофотометрическим и флуориметрическим детектированием.
11.	3	Изучение влияния pH на удерживание бензойной и сорбиновой кислот на гидрофобизированных силикагелях в режиме ОФ ВЭЖХ
12.	3	Ионохроматографическое определение анионов и катионов в водопроводной, речной и минеральной водах.
13.	4	Анализ фармпрепаратов (на примере антибиотиков) методом капиллярного электрофореза.
14.	4	Определение анионов и катионов в водопроводной, речной и минеральной водах методом капиллярного электрофореза
15.	5	Идентификация органических веществ средней летучести (полиароматических углеводородов, полиароматических хлорированных углеводородов) с применением комбинации газовой хроматографии с масс-спектрометрией,
16.	5	Определение кортикостероидов в биологических жидкостях методом LC/MS.
17.	5	Определение низких содержаний несимметричного диметилгидразина и продуктов его деструкции методом LC-MS в объектах окружающей среды.

### Темы семинарских занятий

№ п/п	№ раздела дисциплины	Наименование семинарских занятий
1.	1	Основные хроматографические параметры. Расчет хроматографических параметров.
2.	1	Способы расчета концентрации компонента в хроматографии.
3.	2	Газо-адсорбционная и газо-жидкостная хроматография.
4.	3.	Особенности сорбентов для ВЭЖХ. Варианты детектирования в ВЭЖХ
5.	3.	Определение анионов и катионов неорганических и органических кислот хроматографическими методами.
6.	4	Использование капиллярного электрофореза для определения неорганических ионов и органических соединений

### 5. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

«Прикладной химический анализ. Практическое руководство», под ред. проф. Т.Н. Шеховцовой, проф. О.А. Шпигуна и вед. научн. сотр. М.В. Попика. Издательство Московского университета, 2010, ISBN 978-5-211-05563-6

## **Рекомендуемая литература**

### **Основная литература**

1. Количественный анализ хроматографическими методами. /Под ред. Э.Кац. – М.: Химия, 1990.
2. Сакодынский К.И., Бражников В.В., Воков С.А., Зевленский В.Ю., Ганкин Э.С., Шатц В.Д. Аналитическая хроматография. М.:Химия, 1993.
3. Основы аналитической химии. В двух книгах. /Под ред. Ю.А. Золотова. М.: Высш.шк., 2004.
4. Руководство по газовой хроматографии. В 2-х ч. Пер. с нем. /Под ред. Э.Лейбница, Х.Г.Штруппе. М.: Мир, 1988.
5. Схунмакерс П. Оптимизация селективности в хроматографиию. М.: Мир, 1989.
6. Шатц В.Д., Сахартова О.В. Высокоэффективная жидкостная хроматография. Рига: Зинатне, 1988.
7. Шпигун О.А., Золотов Ю.А. Ионная хроматография и ее применение в анализе вод. М.: Изд-во МГУ, 1980.
8. Красиков В.Д. Основы планарной хроматографии. С.-Пт.: Химиздат, 2005.
9. Руководство по капиллярному электрофорезу./Под ред. А.М.Волощука, Научный совет по хроматографии. М.: Наука, 1996.
10. Хроматографический анализ окружающей среды. Пер с англ. / Под ред. В.Г. Березкина, М.: Химия, 1979.

### **Дополнительная литература**

1. Столяров Б.В. и др. Практическая газовая и жидкостная хроматография. С.-Пт.: С.-Петербургский университет, 1998.
2. Яшин Я.И., Яшин Е.Я., Яшин А.Я. Газовая хроматография. М.: Транслит, 2009.
3. Рудаков О.Б., Востров И.А., Федоров С.В., Филиппов А.А., Селеменев В.Ф., Приданцев А.А. Спутник хроматографиста. Методы жидкостной хроматографии. Воронеж: Водолей, 2004.
4. Руденко Б.А., Руденко Г.И. Высокоэффективные хроматографические процессы. В 2-ух томах. М.: Наука, 2003.
5. Другов Ю.С., Родин А.А. Газохроматографический анализ газов. Практическое руководство. С.-Пт.: Анатолия, 2001.

6. Другов Ю.С., Родин А.А. Газохроматографическая идентификация загрязнений воздуха, воды и почвы. Практическое руководство. С.-Пт.: Теза, 1999.
7. Другов Ю.С., Родин А.А. Экологическая аналитическая химия. Учебное пособие для вузов. С.-Пт.: Анатолия, 2002.
8. Ахрем А.А., Кузнецова А.И. Тонкослойная хроматография. М.: Наука, 1964.
9. Шаршунова М., Шварц В., Михалец Ч. Тонкослойная хроматография в фармации и клинической биохимии. Ч. 1,2 М.: Мир, 1980.
10. Березкин В.Г., Бочков А.С. Количественная тонкослойная хроматография. М.: Наука, 1970.
11. Фармакопейная статья предприятия ОАО «Химико-фармацевтический комбинат «Акрихин»- Пикамилон таблетки. М.: Министерство Здравоохранения Российской Федерации, 2001.
12. Кирсанов Н.Б., Сизова И.А., Тяглов Б.В., Яненко А.С.// Биотехнология. 1995. №5-6. С.41-43.
13. Сытинский И.А. Гамма-аминомасляная кислота – медиатор торможения. Л.: Наука, 1977.
14. Досон Р., Эллиот Д., Эллиот У., Джонс К. Справочник биохимика. М.: Мир, 1991. С.338-339.
15. Комарова Н. В., Каменцев Я. С. Практическое руководство по использованию систем капиллярного электрофореза «КАПЕЛЬ» С-Пб.: ООО «Веда», 2006.
16. Система капиллярного электрофореза «Капель» исполнение «Капель-105» Руководство по эксплуатации. С.– Пт.: ООО «Люмэкс», 2003.

## **6. Примерное содержание оценочных средств**

### Контрольная работа № 1.

1. Дайте определение хроматографии. Классификация методов хроматографии.
2. Основные параметры хроматографической колонки.
3. Укажите возможности и ограничения разных количественных методов хроматографического анализа.
4. Назовите источники систематических погрешностей при хроматографических определениях.
5. Какие типы хроматографических колонок используют в хроматографии? В чем состоит отличие (по состоянию неподвижной фазы) капиллярных и насадочных (набивных) колонок в газовой хроматографии?
6. Какие факторы влияют на эффективность хроматографической колонки в газовой, капиллярной и жидкостной хроматографии, согласно кинетической теории хроматографии?

## Контрольная работа № 2.

1. Перечислите требования к детекторам в газовой хроматографии
2. Перечислите и объясните принцип работы детекторов в газовой хроматографии.
3. Перечислите и объясните принцип работы детекторов в жидкостной хроматографии.
4. Сочетание хроматографии с масс-спектрометрией. Достоинства масс-спектрометрического детектора.
5. Спектофотометрические детекторы в высокоэффективной жидкостной хроматографии. Их достоинства и ограничения.

## Контрольная работа №3.

1. Перечислите требования к подвижной фазе в жидкостной хроматографии.
2. Какие компоненты входят в состав подвижной фазы при разделении соединений: а) нормально-фазовой ВЭЖХ; б) обращено-фазовой ВЭЖХ; в) ион-парной обращено-фазовой ВЭЖХ?
3. Подвижные фазы в ионной хроматографии при разделении: а) катионов; б) анионов.
4. Почему силикагель и модифицированные силикагели наиболее популярные неподвижные фазы в ВЭЖХ?
5. Каковы ограничения использования силикагеля в качестве неподвижной фазы в ВЭЖХ?
6. Неподвижные фазы в ионной хроматографии. Особенности ионообменников для ионной хроматографии.

## Вопросы к коллоквиуму и экзамену:

1. Определение хроматографии. Особенности метода. Способы получения хроматограмм.
2. Классификация хроматографических методов. Поведение вещества на хроматографической колонке. Внутренняя и внешняя хроматограммы.
3. Параметры, характеризующие удерживание вещества на колонке. Связь хроматографических параметров удерживания с коэффициентом распределения.
4. Идентификация и количественный анализ хроматографическими методами.

5. Размывание хроматографических пиков. Линейная равновесная хроматография. Основные положения концепции теоретических тарелок. Недостатки теории теоретических тарелок.
6. Влияние формы изотермы сорбции на размывание хроматографической полосы. Пути повышения эффективности хроматографической колонки.
7. Селективность хроматографического разделения. Разрешение хроматографических пиков.
8. Связь разрешения с эффективностью и селективностью. 4 $\sigma$ - и 6 $\sigma$ -разделение. Оптимизация хроматографического разделения.
9. Газовая хроматография. Варианты метода. Аппаратурное оформление метода. Колонки. Детекторы. Программирование температуры.
10. Неподвижные фазы в газовой хроматографии. Их классификация. Модифицированные сорбенты. Высокоэффективная капиллярная хроматография.
11. Идентификация веществ в газовой хроматографии. Индексы удерживания. Требования к анализируемым веществам в газовой хроматографии. Реакционная газовая хроматография.
12. Молекулярная (адсорбционная) хроматография. Нормально- и обращенно-фазовая хроматография. Роль подвижной фазы. Элюирующая сила. Закономерности удерживания.
13. Неподвижные фазы в жидкостной хроматографии. Требования к неподвижной фазе. Силикагель и его модифицирование. Роль подвижной фазы. Варианты жидкостной хроматографии.
14. Нормально-фазовая высокоэффективная жидкостная хроматография. Основные представления о механизме удерживания. Сорбенты. Подвижные фазы. Аппаратурное оформление. Области применения.
15. Обращенно-фазовая высокоэффективная жидкостная хроматография. Основные представления о механизме удерживания. Сорбенты. Подвижные фазы. Аппаратурное оформление. Области применения.
16. Сравнение методов ВЭЖХ, капиллярной газовой и сверхкритической флюидной хроматографии.
17. Ионообменники, их особенности и получение. Кинетика ионного обмена, ее связь с физико-химическими свойствами ионообменников разных типов. Ионообменники для высокоэффективной хроматографии, их особенности
18. Ионообменная хроматография. Ионообменное равновесие. Ионная хроматография. Сорбенты. Подвижные фазы.
19. Ионная хроматография. Варианты ионной хроматографии. Средство ионов к ионообменникам. Элюенты, их состав и элюирующая способность. Аппаратурное оформление метода. Условия определения анионов и катионов.

20. Тонкослойная и бумажная хроматография. Теоретические основы методов. Величина  $R_f$ , факторы, влияющие на нее. Техника получения хроматограмм. Применение в фармацевтике и экологии.
21. Основные принципы электросепарационных разделений. Варианты электросепарационных методов. Электроосмотический поток, факторы, влияющие на него. Электрофоретическая подвижность ионов, факторы, влияющие на нее. Практическое применение метода.
22. Подход к выбору хроматографического метода в зависимости от природы анализируемого объекта.
23. Применение различных видов хроматографии в анализе неорганических соединений.
24. Анализ органических соединений методом жидкостной хроматографии.
25. Анализ различных классов органических соединений газовой хроматографией.
26. Применение различных видов хроматографии в анализе лекарственных соединений.
27. Использование хроматографии в анализе вод.  
Принцип составления экзаменационных билетов:  
В билет включается 3 вопроса,  
Первый – посвященный общим вопросам хроматографии (с №1 по № 8)  
Второй – посвященный одному из вариантов газовой или жидкостной хроматографии (с № 9 по № 19)  
Третий – посвященный решению различных практических задач методами хроматографии и капиллярного электрофореза (с № 20 по № 27)

## **7. Материально-техническое обеспечение дисциплины**

Проведение учебного процесса обеспечено:

- лекции и семинары мультимедийным проектором
- лабораторные работы:

Газовый хроматограф GC-17 (“Shimadzu”) с пламенно-ионизационным детектором, газовый хроматограф «Яуза-100» С детектором по теплопроводности, хромато-масс-спектрометр фирмы «Финиган», Жидкостной хроматограф “Agilent 1200” (2), жидкостной хроматограф фирмы “Shimadzu” (2), жидкостной хроматограф «Цвет-Яуза» со спектрофотометрическим и амперометрическим детектором, хроматографическая система, оснащенная насосом высокого давления «Марафон-2» и кондуктометрическим детектором, система ВЭЖХ-МС фирмы «Shimadzu», ионный хроматограф с кондуктометрическим детектором фирмы «Дайонекс», видеоденситометр Сорбфил, электрофоретическая установка «Капель-103» и комплектующие материалы для работы хроматографических установок.

Материал подготовлен проф. Т.Н.Шеховцовой и доц. Е.Н.Шаповаловой (кафедра аналитической химии химического факультета МГУ им. М.В.Ломоносова)

**Магистерская программа  
«Супрамолекулярная неорганическая химия»**

**Рекомендуется для направления подготовки 020100 «Химия» как авторская программа (курсы вуза) вариативной части профессионального цикла**

**Квалификация (степень) - магистр.  
Аннотация программы**

**1. Основные понятия**

Задачи супрамолекулярной химии, междисциплинарность. Определения. Субстраты, рецепторы, распознавание. Нековалентные взаимодействия гость-хозяин. Хелатный и макроциклический эффекты. Самосборка, темплатный синтез. Предорганизация. Основные типы супрамолекулярных ансамблей. Новые направления и перспективы.

**2. Межмолекулярные взаимодействия**

Типы межмолекулярных взаимодействий, их природа и относительная энергия. Электростатические силы, ион-дипольные взаимодействия. Водородная связь: природа, орбитальное рассмотрение, условия образования. Гидрофобный эффект. Ван-дер-ваальсовы силы. Типы, условия проявления и энергия дипольных-дипольных взаимодействий. Стэкинг-взаимодействие.

**3. Химия супрамолекулярных неорганических ансамблей**

Определения. Классификация по Мюллеру–Ройтеру. Принцип комплементарности. Основные ансамбли разной размерности: цеолиты, клатраты, глины, дихалькогениды d-металлов, конденсированные фазы Шевреля. Топотактические реакции. Дизайн в неорганической супрамолекулярной химии. Строительные блоки, масштабирование. Вторичные строительные блоки, иерархические структуры. Использование взаимодействия гость-хозяин, их взаимная подстройка.

**4. Металл-органические решетки и гибридные архитектуры**

Металл-органические каркасы (MOF). Определения. Линкеры, политопные лиганды. Общие принципы формирования MOF. Адсорбция молекул и

обмен катионов в MOF. Органо-неорганические гибриды: определения, неорганические и органические составляющие. Общие подходы к построению и структура гибридных органо-неорганических ансамблей. Гибриды типа «ядро-оболочка». Металл-органические нанотрубки. Наноразмерные гибриды и гигантские кластеры.

Автор:

Профессор А.В.Шевельков (химфак МГУ им.М.В.Ломоносова)

**Магистерская программа**  
**“Химические и фазовые равновесия в многокомпонентных системах”**

**Рекомендуется для направления подготовки 020100 «Химия» как авторская программа (курсы по выбору студентов) вариативной части профессионального цикла**

**Квалификация (степень) - магистр.**

**Аннотация программы**

Задачи физико-химического анализа как метода химического исследования. Диаграмма состояния и диаграмма «состав-свойство». Состояние и термодинамические условия равновесия в гомогенных и гетерогенных системах. Правило фаз Гиббса. Зависимость энергии Гиббса фазы от состава.

Методы исследования диаграмм состояния. Построение диаграмм по кривым нагревания и охлаждения. Применение методов металлографии. Идентификация фаз и определение фазового состава системы физико-химическими методами.

Двухкомпонентные системы. Основные типы диаграмм состояния двухкомпонентных систем. Трехкомпонентные системы. Изотермические и политермические разрезы. Вертикальные сечения диаграммы. Триангуляция.

Четверные и многокомпонентные системы. Способы изображения состава четверной системы. Тетраэдрическая диаграмма с простой эвтектикой. Построение диаграммы Левенгерца. Диаграмма Йенеке. Изотермические диаграммы растворимости. Элементы топологии многокомпонентных систем.

Кинетические методы построения диаграмм фазовых равновесий.

Теоретические методы построения фазовых диаграмм многокомпонентных систем.

Метод термодинамического расчета диаграмм состояния. Построение зависимостей термодинамических свойств фаз от состава и температуры. Основные возможности программного пакета *Thermo-Calc*.

Авторы:

Профессор С.Ф. Дунаев (химфак МГУ им.М.В.Ломоносова)  
Профессор Л.Л.Мешков (химфак МГУ им.М.В.Ломоносова)

## 6. Список разработчиков и экспертов

### Разработчики:

Химический факультет МГУ имени М.В.Ломоносова	декан факультета, Председатель УМС по химии академик РАН, профессор	Лунин В.В.
Химический факультет МГУ имени М.В.Ломоносова	профессор	Кузьменко Н.Е.
Химический факультет МГУ имени М.В.Ломоносова	ст.н.сотр Зам. Председателя УМС по химии	Шевельков В.Ф.
Институт химии имени А.М.Бутлерова Приволжского федерального университета	Директор института профессор	Галкин В.И.
Институт общей и неорганической химии РАН	Зав. сектором член-корр. РАН	Ярославцев А.Б.
Химический факультет Южного федерального университета	Декан факультета профессор	Цупак Е.Б.

### Эксперты:

Химический факультет Санкт-Петербургского государственного университета	профессор	Чежина Н.В.
Химический факультет	Декан факультета	

Самарского государственного  
университета

профессор

Курбатова С.В.

Председатель Совета по химии УМО по  
классическому университетскому  
образованию РФ,  
декан химического факультета МГУ,  
академик РАН, профессор



В.В. Лунин