

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова»
Факультет наук о материалах

УТВЕРЖДАЮ

И.о. декана факультета наук о материалах,



/А.В. Лукашин/

«20» января 2026 г.

ПРОГРАММА ВСТУПИТЕЛЬНОГО ИСПЫТАНИЯ В АСПИРАНТУРУ

Укрупненная группа научных специальностей

1.4. Химические науки

Перечень образовательных программ, на который осуществляется прием по данной программе:

*109-01-00-141-хн, 109-01-00-142-хн, 109-01-00-144-хн, 109-01-00-146-хн, 109-01-00-1413-хн,
109-01-00-1415-хн*

Москва 2026

1. Краткое описание программы.

Программа вступительного испытания разработана в соответствии с требованиями действующих федеральных государственных образовательных стандартов высшего образования (ФГОС ВО) 04.04.01 Химия, 04.04.02 Химия, физика и механика материалов и 04.05.01 Фундаментальная и прикладная химия

Программа вступительного испытания разработана для проведения конкурсного отбора абитуриентов, в рамках укрупненной группы научных специальностей: 1.4. Химические науки на факультете наук о материалах, планирующих обучение по следующим программам высшего образования- программам подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре: 109-01-00-141-хн, 109-01-00-142-хн, 109-01-00-144-хн, 109-01-00-146-хн, 109-01-00-1413-хн, 109-01-00-1415-хн.

Вступительное испытание в аспирантуру включает в себя три последовательных этапа. Проведение этапов может быть организовано как в течение одного дня, так и распределено на несколько дней — в соответствии с утверждённым расписанием.

Срок проведения вступительного испытания определяется правилами приема в аспирантуру.

В программе описаны формы проведения каждого этапа, их содержательное наполнение, список рекомендуемой литературы, а также методика оценивания результатов.

2. Критерии успешности прохождения этапов и вступительного испытания в целом.

За вступительное испытание в сумме может быть набрано 25 баллов, из них:

- за первый этап 10 баллов;
- за второй этап 10 баллов;
- за третий этап 5 баллов.

Прохождение вступительного испытания считается успешным, если абитуриент набрал в сумме не менее 16 баллов.

Прохождение каждого этапа считается успешным, если абитуриент набрал не менее:

- 6 баллов на первом этапе;
- 7 баллов на втором этапе;
- 3 баллов на третьем этапе

Для абитуриентов, участвовавших в конкурсе научного портфолио, действует следующее правило: победитель конкурса получает максимальный балл за вступительное испытание в целом (все три этапа); призёр конкурса получает максимальный балл за первый этап испытания, затем его ответ на 2-м этапе оценивается по обычным критериям в рамках общей шкалы; в случае успешного прохождения 2 этапа испытания, за 3 этап абитуриент также получает максимальный балл.

3. Место проведения вступительного испытания: Москва, улица Ленинские горы д.1, стр. 3, д.1, стр. 40, д. 1, стр.10, д.1, стр. 11Б, д.1, стр. 73, д.1, стр. 52.

4. Форма проведения и содержание этапов вступительного испытания.

Этап 1. Оценка компетенций в области научного письма и систематизации материала для диссертационных и публикационных работ: реферат по теме научной работы в аспирантуре (с приложением текста реферата и отзыва на реферат с оценкой предполагаемого научного руководителя).

Форма проведения: первичное экспертное оценивание реферата проводится экзаменационной комиссией без участия абитуриента, на основании документов (реферата и отзыва предполагаемого научного руководителя), предоставленных в момент подачи документов.

Во время очной части этапа члены комиссии могут задать устные вопросы по теме реферата для оценивания компетенций абитуриента в области научного письма и систематизации материала для диссертационных и публикационных работ.

Содержание этапа: реферат позволяет понять основные задачи и перспективы развития темы будущей диссертационной работы. Реферат включает титульный лист, содержательную часть и список используемой литературы (от 5 до 10 наиболее значимых источников). Содержательная часть реферата включает следующие разделы:

- краткий анализ известных в настоящее время фактов в области исследования (не более 1500 слов);
- цель и задачи (не более 250 слов);
- методы, которые предполагается использовать при выполнении диссертации и их применимость к поставленным задачам (не более 500 слов);
- ожидаемая новизна (не более 150 слов);
- актуальность и практическая/теоретическая значимость (не более 200 слов);
- соответствие паспорту специальности (не более 150 слов).

К реферату прилагается отзыв предполагаемого руководителя. В отзыве к реферату предполагаемый научный руководитель дает характеристику работы и рекомендуемую оценку, которая может быть принята или изменена экзаменационной комиссией, в том числе в случае обнаружения использования искусственного интеллекта или оригинальности менее 75% по результатам проверки в системе «Антиплагиат. ВУЗ».

Фонд оценочных средств приведен в приложении 1.

Этап 2. Оценка уровня знаний по научной специальности, по которой предполагается подготовить диссертацию: Ответ на два теоретических вопроса по выбранной специальности.

Форма проведения: этап проводится очно, в устной форме, по экзаменационным билетам, и состоит из 2-х вопросов.

Абитуриенту предлагается два вопроса, отобранных из широкого круга тем, охватывающих фундаментальные положения и современные проблемы выбранной научной области.

Содержание этапа: данный этап предполагает проверку знаний по ключевым аспектам выбранной научной области. Примерные темы определяются программой аспирантуры, на которую поступающий сдает вступительный экзамен (Приложение 2).

Фонд оценочных средств приведен в приложении 1.

Этап 3. Оценка уровня готовности к академической и научной коммуникации на иностранном языке (английский)

Форма проведения: очно, в устной и письменной формах.

Содержание этапа:

1. Письменный перевод со словарем оригинального научного текста по специальности с английского языка на русский. Использование электронных словарей не допускается. Объем текста 1500 печатных знаков, время выполнения – 30 минут.

2. Устное изложение содержания научно-популярного текста без словаря на английском языке. Объем текста 1500 печатных знаков, время на подготовку 5 – 7 минут.

3. Устная беседа с экзаменатором на английском языке по теме научной деятельности. Время выполнения – не более 5 минут. Экзаменатор задает вопросы и выслушивает ответы поступающего.

Фонд оценочных средств приведен в приложении 1.

Фонд оценочных средств

Шкала оценивания этапа 1.

Реферат по теме научной работы в аспирантуре должен соответствовать следующим критериям.

1. Цель и задачи научной работы сформулированы четко;
2. Поставленные задачи научной работы соответствуют цели, поступающий может четко сформулировать их взаимосвязь;
3. Проведен анализ наиболее значимых известных в настоящее время фактов по теме научной работы, поступающий свободно владеет фактами в предполагаемой области научной работы в аспирантуре;
4. Анализ известных в настоящее время фактов соответствует цели и задачам научной работы, позволяет судить о новизне, актуальности и практической/теоретической значимости научной работы в аспирантуре, поступающий может четко сформулировать их взаимосвязь;
5. Методы, которые предполагается использовать при выполнении научной работы в аспирантуре, согласуются с целью и задачами, поступающий ориентируется в методах в предполагаемой области научной работы в аспирантуре;
6. Четко сформулирована новизна научной работы в аспирантуре;
7. Четко сформулирована актуальность научной работы в аспирантуре;
8. Четко сформулирована практическая/теоретическая значимость научной работы в аспирантуре;
9. Четко сформулировано соответствие тематики научной работы в аспирантуре паспорту выбранной поступающим специальности;
10. Все указанные в реферате источники релевантны.

Экзаменационная комиссия проводит экспертную оценку реферата, которая зависит от того, насколько реферат соответствует указанным выше критериям.

	0	Нет реферата, текст сгенерирован с использованием искусственного интеллекта, процент оригинальности после проверки в системе «Антиплагиат. ВУЗ» ниже 75%.
Минимальный уровень	1	Реферат по теме научной работы в аспирантуре соответствует 1 из 10 критериев.
	2	Реферат по теме научной работы в аспирантуре соответствует 2 из 10 критериев.
Низкий уровень	3	Реферат по теме научной работы в аспирантуре соответствует 3 из 10 критериев.
	4	Реферат по теме научной работы в аспирантуре соответствует 4 из 10 критериев.
Средний уровень	5	Реферат по теме научной работы в аспирантуре соответствует 5 из 10 критериев.
	6	Реферат по теме научной работы в аспирантуре соответствует 6 из 10 критериев.

Достаточный уровень	7	Реферат по теме научной работы в аспирантуре соответствует 7 из 10 критериев.
	8	Реферат по теме научной работы в аспирантуре соответствует 8 из 10 критериев.
Высокий уровень	9	Реферат по теме научной работы в аспирантуре соответствует 9 из 10 критериев.
	10	Реферат по теме научной работы в аспирантуре соответствует всем 10 критериям. ИЛИ Победитель или призер Конкурса портфолио по укрупненной группе специальностей 1.4 Химические науки в году проведения вступительного испытания

Шкала оценивания этапа 2

	0	Нет ответа ни на один из теоретических вопросов.
Минимальный уровень знаний	1	Отсутствует ответ на один из двух заданных теоретических вопросов, фрагментарный ответ на второй теоретический вопрос, неспособность к анализу и сопоставлению сведений из различных разделов программы.
	2	Фрагментарные ответы на два заданных теоретических вопросов, или отсутствие ответа на один из двух теоретических вопросов и неполный ответ на второй теоретический вопрос, неспособность к анализу и сопоставлению сведений из различных разделов программы.
Низкий уровень знаний	3	Отсутствует ответ на один из заданных теоретических вопросов, фрагментарный ответ на второй заданный теоретический вопрос, значительные трудности в сопоставлении и анализе сведений из различных разделов программы.
	4	Отсутствует ответ на один из заданных теоретических вопросов, неполный ответ на второй заданный теоретический вопрос, значительные трудности в сопоставлении и анализе сведений из различных разделов программы.
Средний уровень знаний	5	Неполные ответы на заданные теоретические вопросы, значительные трудности в сопоставлении и анализе сведений из различных разделов программы.
	6	Неполный ответ на один из заданных теоретических вопросов, полный ответ на второй вопрос, незначительные трудности в сопоставлении и анализе сведений из различных разделов программы.
Достаточный уровень знаний	7	Полные ответы на оба заданных теоретических вопроса, незначительные трудности в сопоставлении и анализе сведений из различных разделов программы.
	8	Полные ответы на оба заданных теоретических вопроса, грамотные сопоставление и анализ сведений из различных разделов программы.
Высокий уровень знаний	9	Исчерпывающие ответы на все заданные вопросы, свободное владение материалом, имеются недочеты при сопоставлении и анализе сведений из различных разделов программы.
	10	Исчерпывающие ответы на все заданные вопросы, свободное владение материалом, грамотные сопоставление и анализ сведений из различных разделов программы.

		ИЛИ Победитель Конкурса портфолио по укрупненной группе специальностей 1.4 Химические науки в году проведения вступительного испытания
--	--	--

Шкала оценивания этапа 3

	0	Отказ от ответа.
<p>Низкий уровень знаний</p> <p>Неудовлетворительно</p>	1	<p>1. Текст по специальности переведен не полностью и/или с искажениями смысла, не все термины переведены правильно, неправильно переведены грамматические конструкции, перевод не всегда соответствует лексико-стилистическим и грамматическим нормам научного текста. В переводе более четырех неточностей и/или более трех искажений смысла.</p> <p>2. Текст понят не полностью. Не выделены основные положения текста. Лексические и грамматические ошибки не позволяют понять смысл высказывания.</p> <p>3. Фрагментарные знания особенностей представления результатов научной деятельности в устной форме. Непонимание вопросов экзаменаторов, неумение дать развернутый ответ. Речь с большим количеством лексических и грамматических ошибок, искажающих смысл высказывания.</p>
	2	<p>1. Текст по специальности переведен не полностью и/или с искажениями смысла, не все термины переведены правильно, неправильно переведены грамматические конструкции, перевод не всегда соответствует лексико-стилистическим и грамматическим нормам научного текста. В переводе более четырех неточностей и/или более трех искажений смысла.</p> <p>2. Текст понят не полностью. Не выделены основные положения текста. Лексические и грамматические ошибки не позволяют понять смысл высказывания.</p> <p>3. Фрагментарные знания особенностей представления результатов научной деятельности в устной форме. Непонимание вопросов экзаменаторов, неумение дать развернутый ответ. Речь с большим количеством лексических и грамматических ошибок, искажающих смысл высказывания.</p>

<p>Средний уровень знаний</p> <p>Удовлетворительно</p>	<p>3</p>	<p>1. Текст по специальности переведен не полностью и/или с искажениями смысла, не все термины переведены правильно, плохо подобраны эквиваленты слов, не все грамматические конструкции переведены правильно, перевод не всегда соответствует лексико-стилистическим и грамматическим нормам научного текста. Допускаются 3-4 лексические неточности или неточности перевода грамматических конструкций и /или два-три искажения смысла.</p> <p>2. Текст понят не полностью. Выделены не все основные положения текста. Лексические и грамматические ошибки искажают смысл высказывания.</p> <p>3. Неполные знания особенностей представления результатов научной деятельности в устной форме. Неполное понимание вопросов экзаменаторов, неумение дать развёрнутый ответ. Речь с большим количеством лексических и грамматических ошибок, искажающих смысл высказывания.</p>
<p>Достаточный уровень знаний</p> <p>Хорошо</p>	<p>4</p>	<p>1. Текст по специальности переведен полностью, перевод сделан без искажений смысла, термины переведены правильно, в основном найдены правильные эквиваленты слов, грамматические конструкции переведены правильно, перевод соответствует лексико-стилистическим и грамматическим нормам научного текста. Текст соответствует норме перевода. Допускаются две-три лексические неточности или неточности перевода грамматических конструкций.</p> <p>2. Текст понят правильно. Выделены все основные положения текста. Речь беглая, но встречаются лексические и грамматические ошибки, не искажающие смысл высказывания.</p> <p>3. Успешное следование нормам, принятым в научном общении, знание особенностей представления результатов научной деятельности в устной форме. Адекватное понимание вопросов экзаменатора и развёрнутые ответы на них. Речь беглая, с небольшим количеством лексических и грамматических ошибок, не искажающих смысл высказывания.</p>

<p>Высокий уровень знаний</p> <p>Отлично</p>	<p>5</p> <p>1. Текст по специальности переведен полностью, перевод сделан без искажений смысла, термины переведены правильно, найдены правильные эквиваленты слов, грамматические конструкции переведены без ошибок, перевод соответствует лексико-стилистическим и грамматическим нормам научного текста. Текст соответствует норме перевода. Допускается одна лексическая или грамматическая неточность.</p> <p>2. Текст понят правильно. Выделены все основные положения текста. Речь беглая, без лексических и грамматических ошибок.</p> <p>3. Успешное следование нормам, принятым в научном общении, знание особенностей представления результатов научной деятельности в устной форме. Адекватное понимание вопросов экзаменатора и развёрнутые ответы на них. Речь беглая, без лексических и грамматических ошибок.</p> <p>ИЛИ</p> <p>Победитель или призер Конкурса портфолио по укрупненной группе специальностей 1.4 Химические науки в году проведения вступительного испытания</p>
--	---

ПРИМЕР ЭКЗАМЕНАЦИОННОГО БИЛЕТА

Этап 1. Реферат по теме научной работы в аспирантуре. Содержание реферата по теме диссертационного исследования (с приложением реферата и отзыва на реферат с оценкой предполагаемого научного руководителя).

Этап 2. Ответ на два теоретических вопроса. Ответ на два теоретических вопроса из выбранной поступающим специальности. Примеры вопросов приведены в Приложении 2.

Этап 3. Оценка уровня готовности к научной коммуникации на иностранном языке (английский)

1. Письменный перевод со словарем оригинального научного текста.

Mild and Hard Anodization: Two Growth Regimes¹

For a long time, the default approach to the anodization of aluminum for the purpose of nanotechnology and research was the one performed under the moderate and constant potential—individually adjusted to each electrolyte—between the electrodes; under which the current flow is determined by reactions' equilibrium. Due to the constant potential and the low current flow (that is typically below 30 mA cm^{-2}) such a process is called potentiostatic mild anodization (MA). MA conditions result in a predictable course of the process and the stable growth rate of $1\text{--}3 \text{ }\mu\text{m h}^{-1}$.

¹ Jakub T. Domagalski, Elisabet Xifre-Perez and Lluís F. Marsal Recent Advances in Nanoporous Anodic Alumina: Principles, Engineering, and Applications <https://doi.org/10.3390/nano1102430>

However, several restraints of the process encouraged the exploration for a more practical, fast approach. What is more, self-ordering of NAA have narrow windows and discovery of new ordering regimes became the quest on its own. The alternative approach commonly utilized in industry was left out of the scope in research field due to several restraints. Major characteristic of the process was a massive—as compared to the foremost—amount of the energy flow through the sample that is reflected in the widely used name: Hard anodization (HA). A basic constraint that limits access to certain benefits of the process is the amount of heat generated during formation of the alumina, related with the Joule's effect. Reaching the critical point may result in the electric breakdown that can lead to the destruction of the sample [107]. The discovery of Lee and co-workers renewed the attention to HA [24]. Principle of the discovery was based on the formation of a thin—400 nm—layer of porous alumina prior to the introduction of the high potential. This 'scaffold' prevented the breakdown enabling the uniform NAA growth.

2. Устное изложение содержания научно-популярного текста без словаря на английском языке.

How to recycle nonrecyclable plastics

More than 35.4 million tons of plastic are produced each year in the United States. Plastics can take hundreds of years to degrade, or break down chemically. Some plastic wastes end up in the oceans, streams and other waterways. There they break apart into small particles, called microplastics. And those plastic bits can accumulate in animals.

A few types of plastics can be melted and reformed into new items. Many drink bottles can be recycled in this way. Their molecules are basically long chains of repeating groups of atoms. However there's no way to recycle thermoset plastics. These plastics can't just be melted.

About 10 years ago, researchers in France developed plastics with releasable crosslinks. They're known as vitrimers. Think of a folk dance where people change partners. Here, groups of atoms say goodbye to their partners as their crosslinks break apart. Then the groups pair up to crosslink with new partners.

Now scientists have developed a process to convert thermoset plastics into vitrimers. Plastics made this way can be recycled again and again. The researchers combined bits of thermoset plastic with a small amount of a zinc-based compound. They added the mix to a ball mill. The ball mill's mechanical energy turns the plastic into a fine powder. The process also creates radicals. In the mix, the radicals react with other molecules to convert crosslinked chemical bonds into the non-permanent types found in vitrimers. This powder can now be pressed into a mold to form a new shape. Later, the new plastic can be heated and molded again, without adding more of the zinc-containing material. In that way these plastics can be reprocessed over and over.

3. Устная беседа с экзаменатором на английском языке по теме научной деятельности.

Примерные варианты тем для беседы

1. What are you working on now?
2. What inspired you to become a researcher?
3. What are you most looking forward in your research on chemistry?
4. What is the most rewarding aspect of your scientific work?
5. How can you conduct a scientific research project effectively?
6. Have you ever had a “eureka” moment?
7. Which scientist, current or historical, do you most admire and why?
8. What role does materials science play in our lives?
9. Do you agree that the most interesting developments in chemistry occur at the interfaces with different disciplines?
10. What has changed most in materials science in the past five years?
11. What trends in materials science are you most pleased about?

**Примерные темы теоретических вопросов для вступительного испытания по программе
Неорганическая химия (109-01-00-141-хн)**

1. Основные понятия квантовой механики, применяемые для описания двух- и многоатомных молекул: волновая функция, стационарное уравнение Шредингера, положительное и отрицательное перекрывание, водородоподобные орбитали, орбитальная аппроксимация.

Молекулярные орбитали как линейная комбинация атомных орбиталей (МО-ЛКАО). Симметрия и форма орбиталей. Типы химической связи. Основы теорий кристаллического поля и поля лигандов. Энергия стабилизации кристаллическим полем и катионное распределение. Эффект Яна-Теллера.

Ионная модель строения кристаллов, константа Маделунга, энергия ионной решетки. Цикл Борна-Габер. Зонная структура кристаллов, уровень Ферми. Ван-дер-Ваальсово взаимодействие.

2. Первый и второй законы термодинамики. Равновесие, химический потенциал. Энергия Гиббса. Правило фаз. Фазовые диаграммы одно- и двухкомпонентных систем.

Гомогенный и гетерогенный катализ. Примеры важнейших промышленных каталитических процессов. Ферменты. Ингибирование химических реакций.

Электрохимические свойства растворов. Сопряженные окислительно-восстановительные пары. Электродный потенциал. Окислительно-восстановительные реакции и их направление. Уравнение Нернста. Диаграммы Латимера и Фроста. Электролиз.

Теория электролитической диссоциации. Ионное произведение воды и его зависимость от температуры. Водородный показатель pH, шкала pH. Кислоты и основания, суперкислоты. Протолитическая теория Бренстеда—Лоури. Сопряженные кислоты и основания. Гидролиз. Кислоты и основания Льюиса.

3. Интерметаллические соединения (ИМС). Факторы, определяющие состав и структуру ИМС: электрохимический, размерный, электронная концентрация. Важнейшие структурные типы ИМС, полиэдры Франка-Каспера. Валентные соединения, соединения Курнакова, фазы Лавеса, электронные соединения, фазы Цинтля. Свойства ИМС и их связь с электронной структурой. Периодический закон. Строение Периодической системы. Основные закономерности в изменении свойств элементов по группам и периодам, диагональное сходство. Особенности s, p, d и f элементов.

Положение s-элементов в Периодической системе, особенности электронной конфигурации. Характерные степени окисления.

Положение p-элементов в Периодической системе. Особенности электронной конфигурации. Металлы и неметаллы. Характерные степени окисления, кислотно-основные и окислительно-восстановительные свойства основных классов соединений.

Положение d-элементов в Периодической системе. Электронное строение и основные степени окисления.

Комплексы d-элементов: общие понятия, номенклатура, изомерия,

термодинамическая и кинетическая устойчивость. Химическая связь в комплексных соединениях, теория кристаллического поля. Понятие о механизмах реакций комплексных соединений. Полиядерные комплексы, кластеры, гетерополисоединения.

Положение f-элементов в Периодической системе, особенности электронной конфигурации. Характерные степени окисления. Сходство и отличие 4f и 5f элементов.

Основные методы разделения и очистки веществ. Элементы и их применение в промышленности и технике. Представление о биологической роли элементов и их токсичности.

4. Основные методы синтеза неорганических соединений. Реакции в газовой фазе, водных и неводных растворах, расплавах. Метод химического осаждения из газовой фазы. Золь-гель метод. Гидротермальный синтез. Твердофазный синтез и его особенности; использование механохимической активации. Химические транспортные реакции для синтеза и очистки веществ. Фотохимические и электрохимические методы синтеза.

Основные методы исследования неорганических соединений. Методы изучения кристаллического строения твердых тел. Дифракция рентгеновских лучей. Закон Брэгга. Электронная микроскопия: принципы и возможности сканирующей и просвечивающей электронной микроскопии. Спектральные методы: колебательная спектроскопия, ИК- и КР-спектры; спектроскопия видимого излучения и УФ-спектроскопия. Спектроскопия ядерного магнитного резонанса (ЯМР), масс-спектрометрические методы. Локальный рентгеноспектральный анализ, атомно-эмиссионная спектроскопия.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

ОСНОВНАЯ

1. М.Е. Тамм, Ю.Д. Третьяков. Неорганическая химия. Т. 1. Физико- химические основы неорганической химии. - М.: Изд. центр «Академия», 2004. - 240 с.
2. А.В. Шевельков, А.А. Дроздов, М.Е. Тамм. Неорганическая химия. М.: Лаборатория знаний. 2021.
3. А.А. Дроздов, В.П. Зломанов, Г.Н. Мазо, Ф.М. Спиридонов. Неорганическая химия. Т. 2. Химия неперегородных элементов. Под ред. Ю.Д. Третьякова. - М.: Изд. центр «Академия», 2004. - 368 с.
4. А.А. Дроздов, В.П. Зломанов, Г.Н. Мазо, Ф.М. Спиридонов. Неорганическая химия. Т. 3. Химия переходных элементов. Кн. 1. Под ред. Ю.Д. Третьякова. - М.: Изд. центр «Академия», 2007. - 352 с.
5. А.А. Дроздов, В.П. Зломанов, Г.Н. Мазо, Ф.М. Спиридонов. Неорганическая химия. Т. 3. Химия переходных элементов. Кн. 2. Под ред. Ю.Д. Третьякова. - М.: Изд. центр «Академия», 2007. - 400 с.
6. Д. Шрайвер, П. Эткинс. Неорганическая химия. М.: Мир. 2004.
7. Дж. Хьюи. Неорганическая химия, Л., Химия, 1986.
8. Арутюнян Н.А. Теория и практика создания функциональных металлических материалов / Н.А. Арутюнян, С.Ф. Дунаев. – М.: «Сам Полиграфист», 2022
9. В.В. Скопенко, А.Ю. Цивадзе, Л.И. Савранский, А.Д. Гарновский. Координационная химия. М.: Академкнига, 2007.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ

1. Н.С. Ахметов. Общая и неорганическая химия. – М.: Высш.школа, 2001
2. А. Драго. Физические методы в химии, М., Мир, 1981.
3. Вест А. Химия твердого тела. Теория и приложения. В 2 частях. М. Мир, 1988.
4. Соколовская Е.М. Металлохимия / Е.М. Соколовская, Л.С. Гузей. – М.: Изд-во МГУ, 1986

**Примерные темы для вступительного испытания по программе
Аналитическая химия (109-01-00-142-хи)**

1. ВВЕДЕНИЕ

Предмет аналитической химии. Место и роль аналитической химии среди других научных дисциплин. Аналитическая химия и аналитическая служба. Аналитические задачи: обнаружение, идентификация, определение, тестирование веществ.

Виды химического анализа: качественный, количественный, полуколичественный; изотопный, элементный, структурный, структурно-групповой (функциональный), молекулярный, вещественный, фазовый; макро-, микро-, ультрамикрoанализ; локальный, неразрушающий, дистанционный, непрерывный, внелабораторный (полевой); целевой (таргетный, направленный), нецелевой (нетаргетный, ненаправленный).

Химические, физические и биологические методы аналитической химии. Методы обнаружения, идентификации, разделения и концентрирования, определения; гибридные и комбинированные методы.

2. РЕАКЦИИ И ПРОЦЕССЫ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ В ХИМИЧЕСКОМ АНАЛИЗЕ

Равновесные и неравновесные процессы. Использование законов термодинамики (химическое равновесие) и кинетики для описания и управления реальными гомогенными и гетерогенными системами. Химический потенциал, закон действующих масс. Общая схема равновесий в растворах: сольватация, ионизация, диссоциация, ионная и молекулярная ассоциация, полимеризация, поликонденсация частиц, комплексообразование, окисление-восстановление, гетерогенные процессы. Количественные характеристики равновесий: термодинамическая, концентрационные и условные константы, степень образования (мольная доля) компонента. Коэффициенты активности. Теория Дебая–Хюккеля и ее ограничения. Расчет активностей и равновесных концентраций компонентов. Буферность систем (рН, рМ и редокс буферы).

Кислотно-основное равновесие. Современные представления о кислотах и основаниях. Протолитическая Теория Брэнстеда–Лоури. Использование протолитической теории для описания равновесий в растворах и расплавах кислот и оснований. Влияние свойств растворителя (донорно-акцепторных, диэлектрической проницаемости, автопротолиза); их классификация. Константы кислотности и основности. Кислотно-основные буферные растворы. Расчет рН растворов сильных и слабых кислот и оснований, амфолитов, смесей кислот или оснований, буферных смесей. Способы повышения чувствительности и избирательности анализа с использованием протолитических равновесий.

Комплексообразование. Теория Льюиса–Пирсона. Типы комплексных соединений, используемых в аналитической химии. Классификация комплексных соединений по характеру взаимодействия металл–лиганд, по однородности лиганда и центрального иона (комплексообразователя). Комплексные соединения в растворе. Ступенчатое комплексообразование; константы устойчивости. Кинетика реакций комплексообразования;

инертные и лабильные комплексы. Использование кинетической устойчивости комплексных соединений в химическом анализе. Влияние комплексообразования на растворимость соединений, кислотно-основное равновесие, окислительно-восстановительный потенциал систем, стабилизацию различных степеней окисления элементов. Способы повышения чувствительности и избирательности анализа с использованием комплексных соединений.

Окислительно-восстановительное равновесие. Уравнение Нернста. Стандартный и формальный потенциалы, их связь. Методы измерения потенциалов. Смешанный потенциал. Направление и константы равновесия окислительно-восстановительных реакций. Управление реакциями с помощью изменения концентраций реагирующих веществ, pH, конкурирующих реакций с окисленной и восстановленной формами. Механизм окислительно-восстановительных реакций. Каталитические, автокаталитические, сопряженные и индуцированные окислительно-восстановительные реакции. Основные неорганические и органические окислители и восстановители, применяемые в анализе. Методы предварительного окисления и восстановления определяемых веществ. Способы повышения чувствительности и избирательности анализа с использованием окислительно-восстановительных реакций.

Процессы осаждения–растворения. Равновесия в системе жидкость–твердая фаза. Осадки и их свойства. Константы равновесия (термодинамическое и реальное произведение растворимости); растворимость. Схема образования осадка. Кристаллические и аморфные осадки. Зависимость структуры осадка от его индивидуальных свойств и условий осаждения. Зависимость формы осадка от скорости образования и роста первичных частиц. Влияние температуры, ионной силы, конкурирующих реакций, природы растворителя, размеров частиц осадка, модификации осадка на растворимость. Механизм образования и свойства кристаллических и аморфных осадков. Гомогенное осаждение. Условия полного осаждения и растворения осадков. Старение осадка. Причины загрязнения осадка. Классификация различных видов соосаждения. Особенности образования коллоидно-дисперсных систем. Коллоидные системы. Использование коллоидных систем в химическом анализе. Способы повышения чувствительности и избирательности анализа с использованием гетерогенных реакций.

Органические реагенты в химическом анализе. Теоретические основы взаимодействия органических реагентов с ионами металлов. Функционально-аналитические группы. Влияние структуры органических реагентов на их свойства. Основные типы соединений, образуемых с участием органических реагентов. Хелатный эффект; хелаты, внутрикомплексные соединения; факторы, определяющие устойчивость хелатов. Важнейшие органические аналитические реагенты для разделения, обнаружения, определения ионов металлов, маскирования и демаскирования. Органические реагенты для органического анализа.

3. ХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ АНАЛИЗА

Гравиметрические методы, сущность и принцип, значение, достоинства и ограничения. Методы осаждения и отгонки, прямые и косвенные гравиметрические методы. Требования, предъявляемые к осаждаемой и гравиметрической формам. Выбор условий осаждения. Этапы определения. Важнейшие неорганические и органические осадители. Термогравиметрия. Способы пробоотбора и пробоподготовки. Аппаратная реализация

методов. Точность, чувствительность и избирательность гравиметрических методов, объекты и области рутинного и характерного применения.

Титриметрические методы, сущность и принцип, значение, достоинства и ограничения. Классификация методов. Выражение концентраций растворов в титриметрии. Кривые титрования. Точка эквивалентности, конечная точка титрования. Расчет молярной массы эквивалента в разных методах титрования. Способы пробоотбора и пробоподготовки, первичные и вторичные стандарты. Способы титрования: кислотно-основное титрование в водных и неводных средах; окислительно-восстановительное титрование; комплексометрическое титрование, использование аминополикарбоновых кислот (комплексометрия). Универсальные и специфические индикаторы, индикаторные погрешности. Инструментальные варианты титриметрии. Способы обнаружения конечной точки титрования. Аппаратная реализация методов. Точность, чувствительность и избирательность титриметрических методов, объекты и области рутинного и характерного применения.

Кинетические методы, сущность и принцип, значение, достоинства и ограничения. Индикаторная реакция и индикаторное вещество. Каталитические и некаталитические кинетические методы. Методы определения индикаторных веществ. Дифференциальный и интегральный варианты методов. Способы определения определяемого вещества по данным кинетических измерений. Способы пробоотбора и пробоподготовки. Аппаратная реализация методов. Точность, чувствительность и избирательность кинетических методов, объекты и области применения.

Электрохимические методы. Электрохимическая реакция. Электрохимическая ячейка, основные процессы, протекающие на электродах в электрохимической ячейке. Кинетика электрохимических процессов. Неравновесные явления в растворах электролитов. Поляризационная кривая. Классификация электрохимических методов. Основные конструкционные узлы электрохимических приборов.

Потенциометрия, сущность и принцип, значение, достоинства и ограничения. Равновесные электрохимические системы и их характеристики. Индикаторные электроды и электроды сравнения. Обратимые и необратимые электрохимические системы. Ионметрия. Мембранное равновесие и мембранный потенциал. Типы ионоселективных электродов и их характеристики. Потенциометрическое титрование с неполяризованными и поляризованными электродами. Кривые титрования. Зависимость формы кривой и скачка потенциалов от различных факторов. Титрование в водных и неводных средах. Аппаратная реализация методов. Точность, чувствительность и избирательность потенциометрических методов, объекты и области рутинного и характерного применения.

Кулонометрия, сущность и принцип, значение, достоинства и ограничения. Условия проведения кулонометрических измерений. Прямая потенциостатическая и гальваностатическая кулонометрия. Кулонометрическое титрование, его возможности и преимущества. Определение электроактивных и электронеактивных компонентов. Способы электрогенерирования кулонометрических титрантов. Аппаратная реализация методов. Точность, чувствительность и избирательность кулонометрических методов, объекты и области рутинного и характерного применения.

Вольтамперометрия, сущность и принцип, значение, достоинства и ограничения. Явления поляризации и перенапряжения. Кривые поляризации. Обратимые и необратимые электродные процессы. Зависимость величины диффузионного тока от концентрации деполяризатора (уравнение Гейровского–Ильковича). Характеристики вольтамперограмм, используемые для изучения и определения органических и неорганических соединений. Варианты вольтамперометрии: импульсные (нормальный и дифференциальный), переменноточковый (с фазовой и временной селекцией аналитического сигнала), инверсионные (вольтамперометрия и хронопотенциометрия). Их особенности, Метрологические характеристики, возможности и ограничения методов. Амперометрическое титрование (кривые титрования, выбор потенциала, электроды). Особенности амперометрического титрования с одним и двумя поляризованными электродами. Аппаратная реализация методов. Точность, чувствительность и избирательность вольтамперометрических методов, объекты и области рутинного и характерного применения.

4. ФИЗИЧЕСКИЕ (ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ) МЕТОДЫ АНАЛИЗА

Кондуктометрия. Прямая низкочастотная кондуктометрия и кондуктометрическое титрование. Использование кондуктометрических датчиков в хроматографии и других методах анализа. Аппаратная реализация методов. Точность, чувствительность и избирательность кондуктометрических методов, объекты и области рутинного и характерного применения.

ОПТИЧЕСКАЯ АТОМНАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ

Атомные спектры эмиссии, поглощения и флуоресценции. Резонансное поглощение. Самопоглощение, ионизация. Аналитические линии. Зависимость аналитического сигнала от концентрации. Основные конструкционные узлы оптических приборов для оптической атомной спектроскопии.

Атомно-эмиссионная спектроскопия, сущность и принцип, значение, достоинства и ограничения. Индуктивно-связанная плазма, испарение, атомизация, ионизация пробы в индуктивно-связанной плазме. Возбуждение проб в пламени, в дуговом и искровом разрядах. Регистрация спектров. Качественный и количественный анализ. Физические и химические помехи. Внутренний стандарт. Подавление мешающих влияний матрицы и сопутствующих элементов. Способы подготовки пробы. Аппаратная реализация методов. Способы пробоотбора и пробоподготовки, стандартные образцы. Точность, чувствительность и избирательность атомно-эмиссионной спектроскопии, объекты и области рутинного и характерного применения.

Атомно-абсорбционная спектрометрия, сущность и принцип, значение, достоинства и ограничения. Источники излучения. Пламенная атомизация. Электротермическая атомизация; типы электротермических атомизаторов, кварцевая ячейка. Регистрация спектров. Физические и химические помехи. Способы подготовки пробы. Аппаратная реализация методов. Способы пробоотбора и пробоподготовки, стандартные образцы. Точность, чувствительность и избирательность атомно-абсорбционной спектроскопии, объекты и области рутинного и характерного применения.

РЕНТГЕНОВСКАЯ И ЭЛЕКТРОННАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ

Основные свойства и характеристики рентгеновского излучения и электронного пучка. Спектры излучения, поглощения и флуоресценции и их связь со строением атома. Дифракция рентгеновских лучей. Эмиссия фотоэлектронов, фотоэлектронный спектр. Способы измерения аналитического сигнала. Основные конструкционные узлы приборов для рентгеновской и электронной спектроскопии.

Методы рентгеноспектрального анализа: рентгеноэмиссионный, рентгенофлуоресцентный, рентгеноабсорбционный, сущность и принцип, значение, достоинства и ограничения. Качественный и количественный анализ. Природа флуоресцентного рентгеновского излучения. Выход флуоресценции и его зависимость от атомного номера элемента. Факторы, определяющие интенсивность рентгенофлуоресцентной линии. Рентгенофлуоресцентный анализ с полным внешним отражением. Аппаратная реализация методов. Типы рентгеновских спектрометров. Сравнительная характеристика методов. Способы пробоотбора и пробоподготовки, стандартные образцы. Точность, чувствительность и избирательность рентгеноспектрального анализа, объекты и области рутинного и характерного применения.

Рентгеновская фотоэлектронная и Оже-электронная спектроскопия, сущность и принцип, значение, достоинства и ограничения. Качественный и количественный анализ. Возможности неразрушающего контроля. Метрологические характеристики, достоинства и ограничения методов. Аппаратная реализация методов. Способы пробоотбора и пробоподготовки, стандартные образцы. Точность, чувствительность и избирательность рентгеновской фотоэлектронной и Оже-электронной спектроскопии, объекты и области рутинного и характерного применения.

МЕТОДЫ МИКРОСКОПИИ, ЛОКАЛЬНОГО АНАЛИЗА И АНАЛИЗА ПОВЕРХНОСТИ

Классификация, основы, достоинства и области применения. Понятия продольной и поперечной локальности. Способы пробоотбора и пробоподготовки. Методы, используемые в локальном анализе: масс-спектрометрия, рентгеноспектральный микроанализ, рентгеноэлектронная спектроскопия, Оже-электронная спектроскопия, методы ИК-спектроскопии поверхности, люминесцентные методы микроанализа, ядерный микроанализ. Аппаратная реализация методов. Способы пробоотбора и пробоподготовки. Точность, чувствительность и избирательность методов локального анализа и методов анализа поверхности, объекты и области рутинного и характерного применения.

Микроскопия в аналитической химии. Микроспектроскопия. Многоволновые, мультиспектральные, полноспектральные и гиперспектральные измерения. Дистанционные методы спектроскопического анализа; применение их в микроаналитической химии, сенсорах, дистанционном анализе.

МОЛЕКУЛЯРНАЯ ОПТИЧЕСКАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ

Молекулярные спектры поглощения, испускания; электронно-колебательно-вращательные (электронные), колебательно-вращательные (колебательные) и вращательные спектры. Основные законы светопоглощения и испускания. Рассеяние света, его виды. Поляризация и оптическая активность. Способы монохроматизации светового потока. Способы измерения аналитического сигнала. Дифференциальная спектроскопия;

производная спектроскопия. Основные конструкционные узлы оптических приборов для оптической молекулярной спектроскопии.

Спектрофотометрия, сущность и принцип, значение, достоинства и ограничения. Методические особенности эксперимента. Возможности анализа многокомпонентных систем. *Спектроскопия диффузного отражения*. Аппаратная реализация методов. Способы пробоотбора и пробоподготовки. Методические особенности эксперимента. Точность, чувствительность и избирательность спектрофотометрии и спектроскопии диффузного отражения, объекты и области рутинного и характерного применения.

Люминесцентные методы, сущность и принцип, значение, достоинства и ограничения. Виды люминесценции, флуоресценция и фосфоресценция. Основные характеристики люминесценции (спектры поглощения и возбуждения люминесценции, времена жизни возбужденных состояний, квантовый и энергетический выходы люминесценции). Закономерности молекулярной люминесценции (закон Стокса–Ломмеля, правила Каши и Левшина, закон Вавилова). Тушение люминесценции. Качественный и количественный анализ. Аппаратная реализация методов. Методические особенности эксперимента. Способы пробоотбора и пробоподготовки. Точность, чувствительность и избирательность люминесцентной спектроскопии, объекты и области рутинного и характерного применения.

Абсорбционная ИК-спектроскопия, сущность и принцип, значение, достоинства и ограничения. Метод Фурье-спектрометрии. Качественная интерпретация спектров и количественный анализ: идентификация веществ, структурно-групповой и молекулярный анализ, определение строения индивидуальных соединений. Методические особенности эксперимента, особенности анализа проб в различном агрегатном состоянии. Спектроскопия с нарушенным полным внутренним отражением. Аппаратная реализация методов. Способы пробоотбора и пробоподготовки. Точность, чувствительность и избирательность ИК-спектроскопии, объекты и области рутинного и характерного применения.

Рамановская спектроскопия (спектроскопия комбинационного рассеяния, КР), сущность и принцип, значение, достоинства и ограничения. Качественный и количественный анализ. Качественная интерпретация спектров и количественный анализ: идентификация веществ, структурно-групповой и молекулярный анализ, определение строения индивидуальных соединений. Методические особенности эксперимента. Спектроскопия гигантского комбинационного рассеяния. Аппаратная реализация методов. Способы пробоотбора и пробоподготовки. Точность, чувствительность и избирательность КР спектроскопии, объекты и области рутинного и характерного применения.

Нефелометрия и турбидиметрия, сущность и принцип, значение, достоинства и ограничения. Качественный и количественный анализ. Методические особенности эксперимента. Аппаратная реализация методов. Способы пробоотбора и пробоподготовки. Точность, чувствительность и избирательность люминесцентной спектроскопии, объекты и области рутинного и характерного применения.

МЕТОДЫ МАГНИТНОГО РЕЗОНАНСА ЯДЕР И ЭЛЕКТРОНОВ

Магнитно-дипольные переходы. Механизмы релаксации: спин-решеточная и спин-спиновая релаксация. Гиромагнитное отношение. Основные конструкционные узлы приборов для ЯМР и ЭПР спектроскопии.

ЯМР-спектроскопия, сущность и принцип, значение, достоинства и ограничения. Магнитный момент ядра и его взаимодействие с магнитным полем; реализация магнитного резонанса; химический сдвиг и спин–спиновое взаимодействие. Классы соединений, пригодные для анализа методами ЯМР; применение в структурных исследованиях. Аппаратная реализация методов. Способы пробоотбора и пробоподготовки. Методические особенности эксперимента. Точность, чувствительность и избирательность спектроскопии ЯМР, объекты и области рутинного и характерного применения.

ЭПР-спектроскопия, сущность и принцип, значение, достоинства и ограничения.: положение резонансного сигнала и g-фактора; электрон-ядерное и электрон-электронное взаимодействие и сверхтонкая структура спектра ЭПР; классы соединений, пригодные для анализа методами ЭПР. Аппаратная реализация методов. Способы пробоотбора и пробоподготовки. Методические особенности эксперимента. Точность, чувствительность и избирательность спектроскопии ЭПР, объекты и области рутинного и характерного применения.

ЯДЕРНО-ФИЗИЧЕСКИЕ И РАДИОХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ

Элементарные частицы. Основные виды радиоактивного распада и ядерных излучений. Основные конструкционные узлы приборов для ядерно-физических и радиохимических методов.

Активационный анализ. Нейтронно-активационный анализ, сущность и принцип, значение, достоинства и ограничения. Основные виды взаимодействия нейтронов с атомными ядрами. Источники нейтронов. Нейтронно-активационный анализ на тепловых, резонансных и быстрых нейтронах. Особенности и источники погрешностей при облучении нейтронами. Основные особенности методов, основанных на активации заряженными частицами и гамма-активационного анализа. Аппаратная реализация методов. Способы пробоотбора и пробоподготовки. Точность, чувствительность и избирательность активационного анализа, объекты и области рутинного и характерного применения.

Радиохимические методы, сущность и принцип, значение, достоинства и ограничения. Методы радиоактивных индикаторов и изотопного разбавления. Аппаратная реализация методов. Способы пробоотбора и пробоподготовки, стандартные образцы. Точность, чувствительность и избирательность радиохимических методов, объекты и области рутинного и характерного применения.

МЕТОДЫ МАСС-СПЕКТРОМЕТРИИ

Атомная масс-спектрометрия. Основные способы образования атомных ионов: в индуктивно-связанной плазме, тлеющем разряде, вакуумной искре и др. Энергия ионизации.

Масс-спектрометрия с индуктивно-связанной плазмой (ИСП-МС), сущность и принцип, значение, достоинства и ограничения. Индуктивно-связанная плазма, испарение, атомизация, ионизация пробы в индуктивно-связанной плазме. Основные конструкционные узлы масс-спектрометра с индуктивно-связанной плазмой; аппаратная реализация методов. Масс-сепараторы в атомной масс-спектрометрии: квадрупольный, магнитосекторный, времяпролетный; разрешение масс-сепараторов; достоинства и недостатки, принципы выбора. Интерференции в ИСП-МС: причины возникновения, методы компенсации и устранения. Коллизионно-реакционные интерфейсы и ячейки. Масс-спектрометры с тройным

квадруполем. ИСП-МС с лазерной абляцией. Практическое применение ИСП-МС: качественный и количественный анализ; анализ форм существования элементов. ИСП-МС в сочетании с газовой и жидкостной хроматографией. Способы пробоотбора и пробоподготовки, стандартные образцы. Точность, чувствительность и избирательность методов атомной масс-спектрометрии, объекты и области рутинного и характерного применения.

Молекулярная масс-спектрометрия. Основные способы образования молекулярных ионов: электронная ионизация, химическая ионизация, ионизация при атмосферном давлении (электрораспыление, химическая ионизация, фотоионизация), ионизация под действием излучения лазера и др. Методы фрагментации молекул. Аппаратная реализация источников ионизации. Достоинства и недостатки различных методов ионизации. Разрешение масс-сепараторов в молекулярной масс-спектрометрии.

Масс-спектрометрия низкого разрешения, сущность и принцип, значение, достоинства и ограничения. Основные конструкционные узлы масс-спектрометра низкого разрешения и аппаратная реализация методов: масс-сепараторы (квадруполи, линейные ионные ловушки, квадрупольные ионные ловушки); масс-спектрометры с тройным квадруполем; гибридные масс-спектрометры низкого разрешения. Особенности масс-спектрометров для газовой и жидкостной хроматографии. Качественный и количественный анализ. Способы пробоотбора и пробоподготовки, стандартные образцы. Точность, чувствительность и избирательность методов молекулярной масс-спектрометрии низкого разрешения, объекты и области рутинного и характерного применения.

Масс-спектрометрия высокого разрешения, сущность и принцип, значение, достоинства и ограничения. Основные конструкционные узлы масс-спектрометра высокого разрешения и аппаратная реализация методов: (масс-сепараторы: времяпролетные, орбитальные ионные ловушки, ячейки ионного циклотронного резонанса); детекторы. Гибридные масс-спектрометры высокого разрешения. Прямой ввод и сочетание с газовой и жидкостной хроматографией. Качественный анализ: установление брутто-формулы и структуры молекул. Способы пробоотбора и пробоподготовки. Точность, чувствительность и избирательность методов молекулярной масс-спектрометрии высокого разрешения, объекты и области рутинного и характерного применения.

5. БИОХИМИЧЕСКИЕ И БИОЛОГИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ АНАЛИЗА

Биохимические методы, сущность и принцип, значение, достоинства и ограничения. Каталитические и аффинные взаимодействия. Иммунизация биологических молекул. Ферментативные индикаторные реакции. Химическая природа и структура ферментов. Сущность иммунных методов. Аптасенсоры. Сущность ПЦР-анализа. Регистрация аналитического сигнала в биохимических методах. Способы пробоотбора и пробоподготовки. Точность, чувствительность и избирательность биохимических методов, объекты и области рутинного и характерного применения.

Биологические методы, сущность и принцип, значение, достоинства и ограничения. Индикаторные организмы, их типы. Аналитический сигнал и способы его регистрации. Определение физиологически неактивных соединений (химико-биологические методы).

Способы пробоотбора и пробоподготовки. Точность, чувствительность и избирательность, объекты и области рутинного и характерного применения.

6. 6. ХРОМАТОГРАФИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ

Основные понятия. Теория равновесной хроматографии. Классификация хроматографических методов по применяемым фазам, механизмам разделения и технике эксперимента. Методы получения хроматограмм (фронтальная, элюентная и вытеснительная хроматография). Эффективность и селективность хроматографического разделения. Основные параметры удерживания веществ. Концепция теоретических тарелок и ее недостатки. Уравнение Ван Деемтера. Общие подходы к оптимизации процесса хроматографического разделения веществ. Способы осуществления хроматографического процесса. Особенности наполненных, капиллярных и PLOT-колонок. Способы элюирования веществ. Основные способы ввода пробы, комбинированные методы. Основные конструкционные узлы оптических приборов для хроматографии.

ГАЗОВАЯ ХРОМАТОГРАФИЯ

Газо-адсорбционная (газо-твердофазная) хроматография, сущность и принцип, значение, достоинства и ограничения. Изотермы адсорбции. Адсорбенты, газы-носители и требования к ним. Химическое и адсорбционное модифицирование поверхности адсорбента. Основные типы неподвижных фаз. Влияние температуры на удерживание и разделение. Газовая хроматография с программированным подъемом температуры. Принципы выбора начальной и конечной температуры и скорости нагрева. Аппаратная реализация. Способы пробоотбора и пробоподготовки. Точность, чувствительность и избирательность, объекты и области рутинного и характерного применения.

Газо-жидкостная хроматография, сущность и принцип, значение, достоинства и ограничения. Требования к носителям и неподвижным жидким фазам. Основные типы неподвижных фаз. Проблемы деструкции неподвижных фаз при высокой температуре и пути ее устранения. Влияние природы жидкой фазы и разделяемых веществ на эффективность разделения. Аппаратная реализация. Способы пробоотбора и пробоподготовки. Точность, чувствительность и избирательность, объекты и области рутинного и характерного применения.

Высокоэффективная капиллярная газовая хроматография, сущность и принцип, значение, достоинства и ограничения. Основные типы детекторов, их достоинства, недостатки и области применения. Требования к детекторам и их основные характеристики. Аппаратная реализация. Способы пробоотбора и пробоподготовки. Точность, чувствительность и избирательность, объекты и области рутинного и характерного применения (идентификация веществ, анализ сложных смесей, объектов окружающей среды). Понятие о двумерной газовой хроматографии, ее достоинства и недостатки. Парофазный анализ, техника эксперимента, достоинства и недостатки. Варианты газовой хроматографии с предварительной термодесорбцией. Понятие о реакционной и пиролитической газовой хроматографии.

Сверхкритическая флюидная хроматография, сущность и принцип, значение, достоинства и ограничения. Особенности и отличия от газовой и жидкостной хроматографии. Основные типы подвижных фаз. Детекторы. Аппаратная реализация. Способы пробоотбора и

пробоподготовки. Точность, чувствительность и избирательность, объекты и области рутинного и характерного применения.

ЖИДКОСТНАЯ ХРОМАТОГРАФИЯ

Высокоэффективная жидкостная хроматография, сущность и принцип, значение, достоинства и ограничения. Требования к неподвижной и подвижной фазам. Влияние природы и состава элюента на эффективность разделения. Элюирующая сила подвижных фаз. Влияние рН на удерживание веществ. Разновидности метода в зависимости от полярности неподвижной фазы: нормально-фазовый и обращенно-фазовый варианты. Понятие о хроматографии гидрофильных взаимодействий. Основные типы неподвижных фаз. Типы и варианты модифицированных силикагелей, их достоинства и недостатки. Принципы выбора условий разделения. Детекторы, их основные характеристики, области применения. Аппаратная реализация. Способы пробоотбора и пробоподготовки. Точность, чувствительность и избирательность, объекты и области рутинного и характерного применения (анализ сложных смесей).

Ионообменная хроматография, сущность и принцип, значение, достоинства и ограничения. Основные закономерности ионного обмена. Неорганические и органические ионообменники и их свойства. Комплексообразующие ионообменники. Кинетика и селективность ионного обмена. Влияние природы и состава элюента на селективность разделения веществ. Концентрирование и разделение неорганических и органических ионов. Детекторы. Аппаратная реализация. Способы пробоотбора и пробоподготовки. Точность, чувствительность и избирательность, объекты и области рутинного и характерного применения.

Ионная хроматография, сущность и принцип, значение, достоинства и ограничения. Основные типы подвижных фаз, их особенности и области применения. Требования к сорбентам, их строение и классификация. Варианты ионной хроматографии с подавлением фоновой электропроводности и без нее. Типы устройств подавления электропроводности, их основные характеристики. Понятие о «безреагентной» хроматографии. Кондуктометрический детектор, принцип его работы. Аппаратная реализация. Способы пробоотбора и пробоподготовки. Точность, чувствительность и избирательность, объекты и области рутинного и характерного применения.

Ион-парная хроматография, сущность и принцип, достоинства и ограничения. Основные модели (механизмы) удерживания. Роль неподвижной фазы и вводимого в элюент противоиона. Типы противоионов и закономерности удерживания веществ. Детекторы. Аппаратная реализация. Способы пробоотбора и пробоподготовки. Достоинства и недостатки метода. Точность, чувствительность и избирательность, объекты и области рутинного и характерного применения.

Аффинная хроматография, сущность и принцип, значение, достоинства и ограничения. Адсорбенты. Условия проведения процесса разделения. Детекторы. Аппаратная реализация. Способы пробоотбора и пробоподготовки. Точность, чувствительность и избирательность, объекты и области рутинного и характерного применения.

Эксклюзионная хроматография, сущность и принцип, значение, достоинства и ограничения. Особенности механизма удерживания молекул. Характеристики сорбентов и подвижных фаз.

Гель-хроматография (гельпроникающая или гельфильтрационная) в органическом и неорганическом анализе. Механизм разделения веществ. Характеристика гелей. Детекторы. Аппаратная реализация. Способы пробоотбора и пробоподготовки. Точность, чувствительность и избирательность, объекты и области рутинного и характерного применения.

Тонкослойная (планарная) хроматография, сущность и принцип, значение, достоинства и ограничения. Основные формулы и характеристики. Аппаратная реализация. Способы получения планарных хроматограмм (восходящий, нисходящий, круговой, двумерный). Механизмы разделения. Сорбенты и подвижные фазы. Требования к проведению анализа и хранению пластин для анализа. Реагенты для проявления хроматограмм. Понятие о двумерной тонкослойной хроматографии. Способы пробоотбора и пробоподготовки. Точность, чувствительность и избирательность, объекты и области рутинного и характерного применения. Особенности бумаги как неподвижной фазы. Требования к проведению анализа. Подвижные фазы. Детектирование и подходы к количественному анализу. Область применения.

ЭЛЕКТРОМИГРАЦИОННЫЕ МЕТОДЫ

Варианты электромиграционных методов: капиллярный зонный электрофорез; мицеллярная и микроэмульсионная электрокинетическая хроматография; капиллярный гель-электрофорез; изотахофорез; электрофокусирование в капиллярах. Причины высокой эффективности разделения. Аппаратная реализация. Сущность и принципы, значение, достоинства и ограничения. Особенности механизма разделения молекул и типы подвижных фаз. Достоинства и недостатки методов. Особенности детектирования. Понятие о проведении анализа на микрочипе. Строение микрочипов, достоинства и недостатки. Способы пробоотбора и пробоподготовки. Точность, чувствительность и избирательность, объекты и области рутинного и характерного применения.

7. МЕТОДЫ РАЗДЕЛЕНИЯ И КОНЦЕНТРИРОВАНИЯ

Процессы и реакции, лежащие в основе методов разделения и концентрирования в аналитической химии. Классификация методов разделения и концентрирования по природе процессов, числу и природе фаз, природе матрицы и концентрата. Термодинамические и кинетические характеристики разделения и концентрирования. Количественные параметры разделения и концентрирования: коэффициент распределения, степень извлечения, коэффициенты разделения и концентрирования. Сочетание разделения и концентрирования с методами определения. Принципы выбора метода.

Сорбционные методы, сущность и принцип, значение, достоинства и ограничения. Сорбенты, классификация по механизму взаимодействия вещества с сорбентом, способу осуществления процесса, геометрическим признакам неподвижной фазы. Количественное описание сорбционных процессов. Аппаратная реализация. Области рутинного и характерного применения.

Экстракционные методы, сущность и принцип, значение, достоинства и ограничения. Экстракция как процесс и метод. Закон распределения. Основные количественные характеристики. Способы осуществления экстракции. Требования к экстрагентам и растворителям. Классификация экстракционных процессов по типу используемого экстрагента, типу образующихся соединений, технике осуществления. Основные типы соединений, используемых в экстракции. Аппаратная реализация. Области рутинного и характерного применения.

Методы осаждения и соосаждения, сущность и принцип, значение, достоинства и ограничения. Использование неорганических и органических осадителей и соосадителей для разделения и концентрирования элементов. Виды соосаждения. Основные типы коллекторов. Органические соосадители. Аппаратная реализация. Области рутинного и характерного применения.

Испарение, сублимация и родственные методы, сущность и принцип, значение, достоинства и ограничения. Классификация методов. Испарение, сублимация или отгонка, отгонка после химических превращений. Аппаратная реализация. Области рутинного и характерного применения.

Препаративная хроматография, сущность и принцип, значение, достоинства и ограничения. Аппаратная реализация. Области рутинного и характерного применения.

8. МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ХИМИЧЕСКОГО АНАЛИЗА И ХЕМОМЕТРИКА

Химический анализ как метрологическая процедура. Аналитический сигнал. Способы представления зависимости аналитический сигнал — содержание определяемого компонента. Основные характеристики аналитических методов: точность, правильность, прецизионность, чувствительность селективность, избирательность, прослеживаемость.

Погрешности, способы их классификации, основные источники погрешностей в химическом анализе. Систематические погрешности в химическом анализе. Способы проверки правильности. Контрольный опыт как метрологическое понятие. Случайные погрешности в химическом анализе. Генеральная и выборочная совокупности результатов химического анализа. Закон нормального распределения. Статистика малых выборок. Прецизионность. Статистическая обработка результатов серийных анализов. Законы распространения систематических и случайных погрешностей. Погрешности отдельных стадий анализа и конечного результата. Применение дисперсионного анализа для оценки погрешностей отдельных стадий и операций химического анализа.

Неопределенность измерений как мера оценки аналитических методов, сравнение и взаимосвязь с теорией и практикой точности измерений.

Чувствительность, способы ее выражения. Коэффициент чувствительности, предел обнаружения, предел определения, их статистическая оценка. Применение регрессионного анализа для построения градуировочных зависимостей. Обработка нелинейных зависимостей в химическом анализе. Обработка спектральной информации. Аппроксимация экспериментальных зависимостей, ее основные разновидности. Дифференцирование и интегрирование экспериментальных данных. Фурье-преобразование, его использование. Корреляционный анализ; использование корреляционного анализа для проверки независимости двух аналитических методик.

Метод и методика. Продолжительность (экспрессность), трудоемкость, стоимость, приборное обеспечение методики анализа; результат химического анализа как показатель качества. Арбитражный анализ. Принципы унификации и стандартизации аналитических методов. Метрологическое обеспечение контроля состава веществ и материалов. Стандартные образцы. Аттестация и стандартизация методик. Аккредитация аналитических лабораторий.

Хеометрика в аналитической химии и химическом анализе, математические методы изучения и моделирования химических явлений в области химического анализа, получение химико-аналитических данных с помощью математических методов обработки и добычи данных (глубинного анализа данных). Базы данных и знаний, принципы их построения и использования в химическом анализе, поисковые системы информации, обнаружение знаний в базах данных при помощи хеометрических методов. Математическое планирование и оптимизация аналитического эксперимента. Использование дисперсионного и многомерного регрессионного анализа. Многомерные данные в химическом анализе. Векторы и матрицы аналитических сигналов (признаков); факторный анализ. Хеоминформатика.

8. АНАЛИЗ ОБЪЕКТОВ

Основные задачи анализа, аналитический цикл. Выбор метода и схемы анализа, отбор пробы, подготовка пробы (разложение, разделение, концентрирование и другие операции), получение аналитической формы, измерение аналитического сигнала, обработка результатов измерений. Определение суммарных показателей (ХПК, БПК и др.). Скрининг. Тест-методы. Аналитический мониторинг, принципы, методы, организация, задачи. Аналитическая химия элементов. Основные методы выделения и определения элементов и изотопов элементов.

Автоматизация лабораторного анализа и производственного контроля; периодического, дискретного анализа и непрерывного анализа в потоке. Автоматизированные приборы, системы и комплексы, автоматы-анализаторы для лабораторного и производственного анализа, роботы. Микрофлюидные чипы и микроаналитические системы полного анализа.

Сенсоры в химическом анализе, их связь с информационными технологиями. Понятие сенсора и трансдюсера, другие основные понятия сенсоров. Техническое и приборное обеспечение сенсоров. Сенсоры для качественного и количественного анализа. Классификация сенсоров по принципу действия (химические, физические, физико-химические, биологические). Биосенсоры, молекулярное и биомолекулярное распознавание. Оптические (хеом- и биосенсоры), электрохимические, пьезоэлектрические (включая кварцевые микровесы), электрические сенсоры, термические, термометрические сенсоры; масс-сенсоры, микроэлектронные датчики для биомедицинских исследований. Мультиплексные сенсоры, наносенсорика. Аналитические возможности, области применения.

Теория и практика пробоотбора и пробоподготовки. Представительность пробы; взаимосвязь с объектом и методом анализа. Генеральная, лабораторная и анализируемая пробы. Факторы, обуславливающие размер и способ отбора представительной пробы. Отбор проб гомогенного и гетерогенного состава. Способы получения средней пробы твердых,

жидких и газообразных веществ; токсичных и радиоактивных проб устройства и приемы, используемые при этом; первичная обработка и хранение проб; дозирующие устройства. Основные способы перевода пробы в форму, необходимую для данного вида анализа: растворение в различных средах; спекание, сплавление, разложение под действием высоких температур, давления, излучения, ультразвука, высокочастотного разряда; комбинирование различных приемов; особенности разложения органических соединений. Способы устранения и учета загрязнений и потерь компонентов при пробоподготовке.

Основные объекты анализа, особенности, виды анализа таких объектов и соответствующие методы и задачи их анализа. Анализ *in situ* и *in vivo*. Контроль и мониторинг производства.

Объекты окружающей среды: воздух, природные и сточные воды, атмосферные осадки, почвы, донные отложения, флора. **Объекты экологического контроля** Промышленные, технологические и бытовые *отходы*.

Геологические объекты, минеральное промышленное сырье.

Неорганические соединения. Чистые и сверхчистые вещества и материалы; определение в них примесных и легирующих микроэлементов. Минеральные удобрения. Послойный и локальный анализ.

Металлы, сплавы и другие продукты металлургической промышленности. Определение черных, цветных, редких, благородных металлов и анализ их сплавов. Анализ неметаллических включений и определение газообразующих примесей в металлах. Контроль производства. **Материалы атомной промышленности. Другие промышленные материалы. Композиционные и наноматериалы**

Природные и синтетические органические вещества и элементоорганические соединения; органические материалы, полимерные материалы. Углеводородное сырье, нефтепродукты.

Биомедицинские объекты. Биологические и живые объекты, лекарственное сырье и фармацевтические препараты, медицинские объекты, объекты клинической лабораторной диагностики; объекты криминалистической экспертизы; пищевое сырье и продукты питания. Санитарно-гигиенический контроль.

Специальные объекты и задачи анализа: газы, токсичные и радиоактивные вещества, наркотики, взрывчатые и легковоспламеняющиеся вещества, космические объекты, археологические объекты и объекты культурного наследия.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

ОСНОВНАЯ

1. Основы аналитической химии (в 2-х книгах) (под ред. Ю.А. Золотова). М.: Академия, 2014, 400 с.
2. Основы аналитической химии. Практическое руководство (под ред. Ю.А. Золотова). М.: Высшая школа, 2018, 462 с.
3. Основы аналитической химии. Задачи и вопросы (под ред. Ю.А. Золотова). М.: Высшая школа, 2020, 413 с.
4. Аналитическая химия (под ред. А. А. Ищенко) А.А. Гречников, Л.А. Грибов, Ю.А. Ефимова и др. — Москва: ФИЗМАТЛИТ, 2019, 470 с.

5. Методы и достижения современной аналитической химии (под ред. В.И. Вершинина), 2-е изд., Санкт-Петербург, Москва, Краснодар: Лань, 2021, 588 с.
6. Аналитическая химия. Методы идентификации и определения веществ (под ред. Л.Н. Москвина), 4-е изд., Санкт-Петербург, Москва, Краснодар: Лань, 2022, 584 с.
7. Кристиан Г.. Аналитическая химия. в 2 х т., пер. с англ., М. : Бином. Лаборатория Знаний, 2023. - 1127 с.
8. Бёккер Ю. Хроматография. Инструментальная аналитика: методы хроматографии и капиллярного электрофореза. Пер. с нем. М.: Техносфера, 2023. 472 с.
9. Снайдер Л. Р., Киркленд Д.Д., Долан Д.У. Введение в современную жидкостную хроматографию. Пер. с англ. М.: Техносфера, 2020. – 960 с.
10. Пупышев А.А., Суриков В.Т. Пупышев А.А., Суриков В.Т. Масс-спектрометрия с индуктивно связанной плазмой. Образование ионов. 2-е издание, исправленное и дополненное. LAP Lambert Academic Publishing GmbH & Co. KG, 2012. 389 с.
11. Экман Р., Зильберинг Е., Вестман-Бринкмальм Э., Край А. Масс-спектрометрия: аппаратура, толкование и приложения Москва: Техносфера, 2022, 368 с.
12. Лебедев А.Т. Масс-спектрометрия для анализа объектов окружающей среды Москва: Техносфера, 2013, 632 с.
13. Лебедев А.Т. Масс-спектрометрия в органической химии Изд. второе, переработанное и дополненное. М: Техносфера, 2015, 704 с.
14. Лаваньини И., Маньо Ф., Сералья Р., Тральди П. Количественные методы в масс-спектрометрии Москва: Техносфера, 2008., 176 с.
15. Ефимова А.И., Зайцев В.Б., Казанцев Д.В., Болдырев Н.Ю. Современная инфракрасная спектроскопия: основы, методы, приборная база: учебное пособие для вузов. СПб: Лань, 2023. — 356 с.
16. Отто М. Современные методы аналитической химии, 5-е издание. М.: Техносфера, 2021, 656 с.
17. Другов Ю.С., Родин А.А. Пробоподготовка в экологическом анализе, 6-е изд., М: Лаборатория знаний, 2020, 858 с.
18. Изотопная масс-спектрометрия легких газообразующих элементов / Под ред. В.С. Севастьянова; Ин-т геохимии и аналитической химии им. В. . Вернадского РАН. — 2011, 240 с.
19. Внелабораторный химический анализ. Под ред. Ю.А.Золотова. М.: Наука, 2010. 564 с.
20. Пупышев А.А. Атомно-абсорбционный спектральный анализ М.: Техносфера, 2009, 784 с.
21. Ганеев А.А., Шолупов С.Е., Пупышев А.А., Большаков А.А., Погарев С.Е. Атомно-абсорбционный анализ. Учебное пособие. СПб.: «Лань», 2011. 304 с.
22. Метрологическая прослеживаемость в химических измерениях (под ред. В.Б. Барановской, И.В. Болдырева) М.: Техносфера, 2022. – 106 с.
23. Дворкин В.И. Метрология и обеспечение качества химического анализа. 2-е изд., М.: Техносфера, 2023. – 318 с.
24. Криштал М. М., Ясников И. С., Полуниин В. И., Филатов А. М., Ульянчиков А. Г. Сканирующая электронная микроскопия и рентгеноспектральный микроанализ Москва:

Техносфера 2009, 208 с.

25. Бёккер Ю. Спектроскопия. М.: Техносфера, 2009, 528 с.
26. Кельнер Р. Аналитическая химия. Проблемы и подходы. Пер. с англ. М: Мир, 2004, 608 с.
27. Юинг Г. Инструментальные методы химического анализа. Пер. с англ. М.: Мир, 1989.
28. Пупышев А.А., Данилова Д.А. Атомно-эмиссионный спектральный анализ с индуктивно связанной плазмой и тлеющим разрядом по Гримму. Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2002. 202 с.
29. Лосев Н.Ф., Смагунова А.Н. Основы рентгено-спектрального флуоресцентного анализа. М. Химия 1982.
30. Эгертон Р.Ф. Физические принципы электронной микроскопии М.: Техносфера, 2010, 304 с.
31. Ревенко А.Г. Рентгеноспектральный флуоресцентный анализ природных материалов. Новосибирск: ВО «Наука», 1994. 264 с.
32. Дерффель К. Статистика в аналитической химии (пер. с нем.) М.: Мир. 1994.
33. Бок Р. Методы разложения в аналитической химии (пер. с англ.) М.: Химия. 1984.
34. Шараф М.А., Иллмен Л., Ковальски Б.Р. Хемометрика (пер. с англ). Л.: Химия. 1989.
35. Морф В. Принципы работы с ионоселективными электродами. М.: Мир, 1985.
36. —Шмидт В. Оптическая спектроскопия для химиков и биологов. М.: Техносфера, 2009, 368 с.
37. Петерс Д., Хайес Дж., Хифтье Г. Химическое разделение и измерение. Теория и практика аналитической химии. В двух книгах. М: Химия, 1978. 477, 338 с.
38. Лёвшин Л.В., Салецкий А.М., «Оптические методы исследования молекулярных систем. Молекулярная спектроскопия», М.: МГУ, 1994
39. Бенуэлл К., Основы молекулярной спектроскопии М.: Мир, 1985
40. Нолтинг Б. Новейшие методы исследования биосистем – М.: Техносфера, 2005. – 256 с.
41. Проблемы аналитической химии. Т.12: Биохимические методы анализа (ферментативный анализ, биосенсоры, иммуноанализ). (Под ред. Дзантиева Б.Б.). М.: Наука, 2010. 391 с.
42. Тернер Э. Биосенсоры: Основы и приложения (пер. с англ.). М.: Мир. 1992.
43. Тельдешы Ю.. Радиоаналитическая химия. Пер. со словац. М.: Энергоатомиздат. 1987.
44. Сысоев А.А., Изотопная масс-спектрометрия, 1993.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ

1. Ганеев А.А., Зенкевич И.Г., Карцова Л.А., Москвин Л.Н., Родинков О.В. Аналитическая химия. Методы разделения веществ и гибридные методы анализа. 3-е изд., Санкт-Петербург, Москва, Краснодар: Лань, 2022, 332 с.
2. Зенкевич И. Г., Ермаков С. С., Карцова Л. А. и др. Аналитическая химия. Химический анализ : учебник для вузов, 2-е изд., стер. , Санкт-Петербург: Лань, 2022, 444 с.
3. Долгоносков А. М., Рудаков О. Б., Прудковский А. Г. Колоночная аналитическая хроматография: практика, теория, моделирование. 3-е изд., Санкт-Петербург, Москва, Краснодар: Лань, 2022, 468 с
4. Аналитический контроль благородных металлов. Коллективная монография (под ред. Ю.А. Карпова, В.Б. Барановской, Л.П. Житенко), Москва: Техносфера, 2019. – 400 с.

5. Галль, Л. Н. Физические основы масс-спектрометрии и ее применение в аналитике и биофизике / Л. Н. Галль. — Санкт-Петербург: Изд-во Политехн. ун-та, 2010, 161 с.
6. Тахистов В.В., Пономарев Д.А. Органическая масс-спектрометрия. СПб.: ВВМ, 2005, 345 с
7. Майер В.Р. Практическая высокоэффективная жидкостная хроматография, М: Техносфера, 2017, 408 с
8. Карпов Ю.А., Савостин А.П., Сальников В.Д. Аналитический контроль в металлургическом производстве. М.: Академкнига, 2006, 352 с.
9. Цизин Г.И., Статкус М.А. Сорбционное концентрирование микроэлементов в динамических условиях. М.: ЛЕНАНД, 2016. 480 с.
10. Конюхов, В. Ю. Хроматография: учебник. Санкт-Петербург : Лань, 2012. 224 с.
11. Нестеренко П., Джонс Ф., Полл Б. Высокоэффективная комплексообразовательная хроматография ионов металлов. Москва: Техносфера, 2013 - 312 с.
12. Жуховицкий, С. М. Яновский, И. А. Ревельский. Хромадистилляция и хроматография: монография. Москва: Техносфера, 2021, 288 с.
13. Хенке, Х. Жидкостная хроматография. Москва : Техносфера, 2009, 264 с.
14. Сычев, С. Н. Высокоэффективная жидкостная хроматография: аналитика, физическая химия, распознавание многокомпонентных систем: учебное пособие Санкт-Петербург: Лань, 2013, 256 с.
15. Майер Вероника Р. Практическая высокоэффективная жидкостная хроматография. 5-е изд., Москва: Техносфера, 2019, 408 с.
16. Дятлов В. А., Серегина Т. С., Семикин В. В. Фурье ИК-спектроскопия многокомпонентных систем: учебно-методическое пособие. Москва : РТУ МИРЭА, 2022, 79 с.
17. Барановская В.Б., Кошель Е.С. Дуговой атомно-эмиссионный анализ редкоземельных металлов и их оксидов Москва: Техносфера, 2020. – 132 с.
18. Купцов А.Х., Жижин Г.Н. Фурье-КР и Фурье-ИК спектры полимеров Москва: Техносфера, 2013, 696 с.
19. Карпов Ю.А., Савостин А.П., Глинская И.В. Методы пробоотбора и пробоподготовки. Курс лекций. Изд-во МИСиС. 2001.
20. Кузьмин Н.М., Золотов Ю.А. Концентрирование следов элементов. М.: Наука, 1988.
21. Сабадвари Ф., Робинсон А. История аналитической химии. (пер. с англ). М.: Мир, 1984.
22. Рамендик Г.И. Элементный масс-спектральный анализ твердых тел. М.: Химия. 1993.
23. Терек Т., Мика Й., Гегуш Э. Эмиссионный спектральный анализ (в 2-х частях, пер. с англ.) М.: Мир. 1982.
24. Брицке М.Э. Атомно-абсорбционный спектрохимический анализ. М.: Химия. 1982.
25. Головина А.П., Левшин Л.В. Химический люминесцентный анализ неорганических веществ. М.: Химия, 1978.
26. Лакович Дж. Основы флуоресцентной спектроскопии. М.: Мир, 1986.
27. Шпигун О.А., Золотов Ю.А. Ионная хроматография. М.: Изд-во МГУ. 1990.
28. Гольдберг К.А., Вигдергауз М.С. Введение в газовую хроматографию. М.: Химия. 1990.
29. Даванков В.А., Навратил Дж., Уолтон Х. Лигандообменная хроматография. М.: Мир, 1989.

30. Березкин В.Г., Бочков А.С. Количественная тонкослойная хроматография. Инструментальные методы. М.: Наука, 1980.
31. Макроциклические соединения в аналитической химии. Под ред. Золотова Ю.А. и Кузьмина Н.М. М.: Наука, 1993.
32. Перес-Бендито Д., Сильва М. Кинетические методы в аналитической химии. М.: Мир, 1991.
33. Бонд А.М. Современные полярографические методы в аналитической химии. Пер. с англ. М.: Мир, 1984.
34. Никольский Б.П., Матерова Е.А. Ионоселективные электроды. Л.: Химия, 1980.
35. Иоффе Б.В., Зенкевич И.Г., Кузнецов М.А., Берштейн И.Я. Новые физико-химические методы исследования органических соединений. Л.: Изд-во ЛГУ, 1984.
36. Хмельницкий Р.А., Бродский Е.С. Хромато-масс-спектрометрия. М.: Химия, 1983.
37. Фелдман Л., Майер Д. Основы анализа поверхности и тонких пленок. М.: Мир, 1989.
38. Плинер Ю.Л., Кузьмин Н.М. Метрологические проблемы аналитического контроля качества металлопродукции. М.: Metallurgia. 1989.
39. Карпов Ю.А., Гиммельфарб Ф.А., Савостин А.П., Сальников В.Д. Аналитический контроль металлургического производства. Учебник для вузов М.: «Металлургия», 1995г. , 400 стр.
45. Пабло Г. Этчегоин, Эрик К. Ле Ру, Юлинг Ванг. Поверхностно-усиленная рамановская спектроскопия (SERS): аналитические, биофизические и биомедицинские приложения; ред. оригинального изд. С. Шлюкер ; пер. с англ., М: Техносфера, 2017., 331с.
46. Пробоподготовка в микроволновых печах. Теория и практика (под ред. Г.М. Кингстона и Л.Б. Джесси . пер. с англ) М.:Мир. 1991.
47. Лебстнер Л. Буйташ П. Химия в криминалистике. М.: Мир. 1990.
48. Каплан Б.Я., Филимонов Л.Н., Майоров И.А. Метрология аналитического контроля производства в цветной металлургии. М.: Metallurgia, 1989.
49. Горелик Д.О., Конопелько Л.А., Панков Э.Д. Экологический мониторинг (в 2- х томах) СПб. Крисмас. 1998.
50. Москвин Л.Н., Царицына Л.Г. Методы разделения и концентрирования в аналитической химии. Л.: Химия. 1991.

**Примерные темы для вступительного испытания по программе
Физическая химия (109-01-00-144-хн)**

1. Термодинамика

Термические и калорические уравнения состояния для газов и конденсированных фаз.

Первый закон термодинамики и его аналитическое выражение. Внутренняя энергия и энтальпия. Теплоёмкость.

Второй закон термодинамики. Энтропия. Изменение энтропии изолированной системы и направление самопроизвольного процесса.

Третий закон термодинамики. Теорема Нернста и постулат Планка. Вычисление абсолютной энтропии твердых, жидких и газообразных веществ. Стандартные энтропии.

Термодинамические потенциалы и характеристические функции. Фундаментальное уравнение Гиббса. Соотношения Максвелла.

Химический потенциал. Уравнение Гиббса-Дюгема. Выражения химических потенциалов для компонентов идеального и реального растворов (твердых, жидких и газообразных).

Растворы. Парциальные термодинамические величины.

Избыточная энергия Гиббса, способы её описания. Термодинамическая классификация растворов.

Фазовые равновесия в двухкомпонентных системах: зависимость растворимости вещества от температуры, криоскопия, эбулиоскопия. Осмос, уравнение Вант-Гоффа. Законы Гиббса-Коновалова.

Однокомпонентные системы. Уравнение Клаузиуса-Клапейрона. Диаграмма состояния на примере одного вещества: вода, сера, фосфор.

Гетерогенные системы. Правило фаз Гиббса. Диаграммы состояния.

Константа равновесия. Уравнения изотермы, изобары и изохоры химической реакции.

Адсорбция и ее определения. Мономолекулярная адсорбция на однородной поверхности (изотерма Лэнгмюра). Изотерма и изостера адсорбции.

Микро- и макросостояния системы в классической статистике. Понятие о фазовом пространстве. Эргодическая гипотеза. Принцип равной вероятности микросостояний в изолированной системе. Термодинамическая вероятность, ее связь с энтропией.

Связь суммы по состояниям с термодинамическими функциями. Сумма по состояниям для отдельной частицы и системы из N частиц. Связь между ними.

Микроканонический и канонический ансамбль. Вывод функции распределения систем ансамбля по энергии. Каноническая сумма по состояниям.

Распределение Максвелла-Больцмана и вычисление средних величин.

Поступательная сумма по состояниям и расчет термодинамических функций одноатомного идеального газа. Статистический расчет. Энтропия и парадокс Гиббса.

Вращательная, колебательная и электронная суммы по состояниям. Расчет соответствующих вкладов в термодинамические функции (на примере любой функции).

Химический потенциал идеального газа. Стандартные суммы по состояниям. Выражение K_p и K_c через суммы по состояниям.

2. Химическая кинетика и катализ

Основные понятия феноменологической кинетики: простые и сложные реакции, молекулярность и скорость элементарной реакции. Кинетический закон действующих масс, константа скорости.

Способы определения скорости реакции. Кинетические уравнения для простых реакций. Порядок реакции, способы его определения.

Сложные химические реакции: кинетические уравнения для обратимых, последовательных и параллельных реакций.

Сложные химические реакции: приближение квазистационарных и квазиравновесных концентраций, область применимости.

Кинетика цепных реакций (неразветвленные и разветвленные цепные реакции).

Влияние температуры на скорость химической реакции. Уравнения Аррениуса. Энергия активации и определения ее по экспериментальным данным.

Механизм кислотно-основного гомогенного катализа. Влияние растворителя. Кинетика гомогенно-каталитических реакций.

Кинетика гетерогенных каталитических реакций. Роль адсорбции молекул на внешней поверхности катализатора и диффузии внутрь пор.

Ферментативный катализ. Строение ферментов. Активность и селективность действия. Механизм и кинетика ферментативных реакций.

Фотохимические реакции. Закон Эйнштейна-Штарка. Квантовый выход. Диаграмма Яблонского.

Теория активных столкновений, расчет константы скорости бимолекулярной реакции.

Теоретическое описание кинетики мономолекулярных реакций, схема Линдемана. Поправка Хиншельвуда.

Теория активированного комплекса (теория переходного состояния): основные положения, уравнений Эйринга. Расчёт предэкспоненциального множителя. Поверхность потенциальной энергии и расчёт энергии активации.

3. Квантовая химия и строение молекул

Точно (аналитически) решаемые одночастичные задачи квантовой механики. Частица в прямоугольном потенциале. Гармонический осциллятор. Жесткий ротатор и операторы углового момента. Принципы решения уравнения Шредингера. Спектр энергии и функции состояния. Средние значения наблюдаемых в различных состояниях.

Задача одноэлектронного атома. Принципы решения уравнения Шредингера. Спектр энергии и функции состояния. Средние значения наблюдаемых в различных состояниях.

Спиновый момент импульса. Операторы проекций и квадрата спина и их свойства. Представления операторов спина электрона; матрицы Паули. Спиновые состояния многоэлектронных систем. Операторы полного спина. Связь спина и перестановочной симметрии волновых функций. Спиновые состояния двух электронов.

Приближенные методы решения задач квантовой химии: вариационный метод, методы теории возмущений

Адиабатическое представление электронно-ядерной задачи. Приближение Борна-Оппенгеймера. Электронное волновое уравнение. Поверхности потенциальной энергии (ППЭ) молекулярных систем и их особые точки.

Одноэлектронное приближение. Определитель Слейтера. Метод Хартри-Фока. Канонические уравнения Хартри-Фока. Интерпретация решений уравнений Хартри-Фока. Электронная и спиновая плотность.

Базисные наборы в квантовой химии. Классификация базисных наборов и типы базисных функций. Уравнения Хартри-Фока-Рутана для замкнутых оболочек в ограниченном варианте метода Хартри-Фока. Анализ электронной плотности.

Электронная корреляция. Кулоновская и обменная корреляция. Конфигурационное разложение точной волновой функции двух и N электронов. Метод конфигурационного взаимодействия и его основные формы.

Применение теории возмущений для учета эффектов электронной корреляции. Теория возмущений Меллера-Плессета. Энергия корреляции в методе МП2.

Теория функционала плотности. Теоремы Хоэнберга-Кона. Уравнения Кона-Шэма. Основные типы функционалов плотности.

Нестационарная теория возмущений. Переходы в молекулах под действием внешних полей и их скорость в первом порядке теории возмущений. Вероятности переходов и общие правила отбора в молекулярной спектроскопии.

Решение ядерного уравнения. Разделение поступательного, вращательного и колебательного движений и простейшие модели описания энергетических состояний молекулярных систем. Приближение «жесткий ротатор – гармонический осциллятор».

Колебательно-вращательные состояния двух- и многоатомных молекул. Молекулярные постоянные, характеризующие энергетический спектр молекулы. Вращательные и колебательно-вращательные спектры двух- и многоатомных молекул.

Электронные состояния молекул и переходы между ними. Электронно-колебательные спектры двух- и многоатомных молекул.

Рекомендованная литература

ОСНОВНАЯ

1. Еремин В.В., Каргов С.И., Успенская И.А., и др. Основы физической химии. В 2 ч. Ч.1. Теория. 8-е изд. Москва. Лаборатория знаний, 2025. – 348 с.
2. Ерёмин Е.Н. Основы химической термодинамики. М.: Высшая школа, 1974. – 341 с.
3. Эткинс П., де Паула Дж. Физическая химия. В 3 ч. Ч.1. Равновесная термодинамика. М.: Мир, 2007. – 496 с.
4. Ерёмин Е.Н. Основы химической кинетики. М.: Высшая школа, 1976. – 375 с.
5. Романовский Б.В. Основы химической кинетики. Москва. Экзамен, 2006. – 415 с.
6. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Квантовая механика, т. 3. М.: Наука, 1989.
7. Минкин В. И., Симкин Б. Я., Миняев Р. М. Теория строения молекул. (2 изд.) Ростов-на-Дону.: Феникс. 1997.
8. Степанов Н. Ф. Квантовая механика и квантовая химия. М.: Мир, Изд-во МГУ. 2001.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ

1. Вилков Л. В., Пентин Ю. А. Физические методы исследования в химии. М.: Мир, 2006. – 683 с.
2. Драго Р. Физические методы в химии. М.: Мир, 1981, в 2х томах.
3. Полторак О.М. Термодинамика в физической химии. М.: Высшая школа, 1991. – 318 с.
4. Смирнова Н.А. Методы статистической термодинамики в физической химии. М.: Высшая школа, 1982. – 456 с.
5. Горшков В.И., Кузнецов И.А. Основы физической химии. 7-е изд. М.: Бином. Лаборатория знаний, 2025 – 410 с.
6. Степанов Н. Ф., Пупышев В.И. Квантовая механика молекул и квантовая химия. М.: Изд-во МГУ, 1991.
7. Мессиа А. Квантовая механика, т. 1. М.: Наука, 1978.
8. Бейдер Р. Атомы в молекулах. М.: Мир. 2001
9. Минкин В. И., Симкин Б. Я., Миняев Р. М. Квантовая химия органических соединений. Механизмы реакций. М.: Химия. 1986.

10. Фларри Р. Квантовая химия. М.: Мир. 1985.
11. И. Майер. Избранные главы квантовой химии. Доказательство теорем и вывод формул. – М.: Бином. Лаборатория знаний, 2006.
12. Казаков К.А. Введение в теоретическую и квантовую механику. М.: Физ. ф-т МГУ, 2008.
13. Л.А. Головань, Е.А. Константинова, П.А. Форш Задачи по квантовой механике для химиков. М.: Физ. ф-т МГУ, 2010.
14. Эткинс П. Кванты. Справочник концепций. М. Мир. 1977.

**Примерные темы для вступительного испытания по программе
Электрохимия (109-01-00-146-хи)**

1. Термодинамика и статистическая термодинамика

Основные понятия феноменологической термодинамики. Термодинамические свойства систем. Интенсивные и экстенсивные величины. Функции состояния и уравнения состояния. Первый закон термодинамики. Внутренняя энергия, энтальпия. Теплоемкости. Закон Гесса, уравнение Кирхгофа.

Второй закон термодинамики. Обратимые и необратимые процессы. Неравенство Клаузиуса. Энергия Гельмгольца, энергия Гиббса. Критерии термодинамического равновесия систем и самопроизвольности протекания процессов.

Термодинамические потенциалы и характеристические функции. Фундаментальное уравнение Гиббса. Уравнения Гиббса – Гельмгольца. Третий закон термодинамики, теорема Нернста, постулат Планка. Стандартные термодинамические функции веществ.

Растворы. Парциальные термодинамические величины. Химический потенциал. Уравнение Гиббса – Дюгема. Летучесть и активность. Закон действующих масс и константа равновесия. Уравнения изотермы, изобары и изохоры химической реакции.

Гетерогенные системы. Правило фаз Гиббса. Уравнение Клайперона – Клаузиуса. Диаграммы состояния.

Термодинамика поверхностных явлений. Адсорбция. Изотермы адсорбции Гиббса и Ленгмюра. Полимолекулярная адсорбция. Адсорбционные методы исследования дисперсных систем.

Микро- и макросостояния системы. Фазовое пространство. Эргодическая гипотеза. Термодинамическая вероятность и ее связь с энтропией. Распределение Максвелла – Больцмана, средние величины. Квантовая статистика. Распределение Бозе – Эйнштейна и Ферми – Дирака.

Поступательная сумма по состояниям и расчет термодинамических свойств идеального газа. Вращательная, колебательная и электронная суммы по состояниям. Суммы по состояниям молекулы и системы молекул. Стандартные суммы по состояниям и расчет констант химического равновесия.

2. Химическая кинетика

Основные понятия феноменологической кинетики: простые и сложные реакции, молекулярность и скорость простой реакции. Кинетический закон действующих масс, константа скорости.

Способы определения скорости реакции. Кинетические уравнения для простых реакций. Порядок реакции, способы его определения.

Сложные химические реакции. Квазистационарное приближение, метод Боденштейна. Кинетические уравнения для обратимых, последовательных и параллельных реакций. Неразветвленные и разветвленные цепные реакции.

Зависимость скорости реакции от температуры, уравнение Аррениуса, энергия активации, способы ее определения.

Теория активных столкновений, расчет константы скорости бимолекулярной реакции. Мономолекулярные реакции, схема Линдемана.

Теория активированного комплекса. Поверхность потенциальной энергии. Расчет константы скорости.

3. Основы электрохимии

Ион-дипольные взаимодействия в растворах электролитов. Модель Борна и ее ограничения. Числа сольватации, методы их определения.

Ион-ионные взаимодействия в растворах электролитов. Модель Дебая-Хюккеля для расчета коэффициентов активности, пределы ее применимости. Поведение коэффициентов активности при высоких концентрациях электролитов.

ЭДС электрохимической цепи. Равновесные потенциалы, уравнение Нернста. Электроды сравнения для водной и неводных сред.

Строение заряженной межфазной границы электрод/раствор при электростатической адсорбции ионов и при адсорбции с переносом заряда. Модель Гуи-Чапмена. Адсорбционные методы определения поверхности электродов.

Кинетика электродных процессов в условиях диффузионных ограничений. Вращающийся дисковый электрод. Полярография. Вольтамперометрия. Микроэлектроды.

Кинетика электродных процессов в условиях медленной стадии переноса электрона. Влияние температуры, потенциала и концентрации электролита фона на скорость электродного процесса.

Рекомендованная литература

ОСНОВНАЯ

1. Полторак О.М. Термодинамика в физической химии. М.: Высшая школа, 1991.
2. Панченков Г.М., Лебедев В.П. Химическая кинетика и катализ. М.: Химия, 1985.
3. Эткинс П., Паула Дж. Физическая химия, Ч.1. М.: Мир, 2007.
4. Дамаскин Б.Б., Петрий О.А., Цирлина Г.А. Электрохимия. М.: Химия, 2001; М.: КолосС-Химия, 2006; СПб.: Лань, 2015.
5. Дамаскин Б.Б., Петрий О.А. Введение в электрохимическую кинетику. М.: Высшая школа, 1983.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ

1. Эткинс П. Физическая химия, т.1 и 2. М.: Мир, 1980.
2. Мэлвин-Хьюз Э.А. Физическая химия, т.1 и 2. М.: Иностранная литература, 1962.
3. Фрумкин А.Н., Багоцкий В.С., Иофа З.А., Кабанов Б.Н. Кинетика электродных процессов. М.: изд-во МГУ, 1952.
4. Багоцкий В.С. Основы электрохимии. Л.: Химия, 1988.
5. Корята И., Дворжак И., Богачкова В. Электрохимия. М.: Мир, 1977.
6. Ньюмен Дж. Электрохимические системы. М.: Мир, 1977.

7. Феттер К. Электрохимическая кинетика. М.: Химия, 1967.

**Примерные темы для вступительного испытания по программе
Радиохимия (109-01-00-1413-хи)**

1. Ядерно-физические основы радиохимии

1. Ядро, основные характеристики. Модели ядра. Ядерные силы. Энергия связи ядра. Ширина уровня и время жизни ядра в возбужденном состоянии.
2. Ядерные силы. Энергия связи ядра - полная и удельная. Стабильные и радиоактивные изотопы. Формула Вейцеккера, её составляющие. Энергия возбуждения ядра, её дискретность.
3. Типы ядерных превращений. Нуклидная карта. Законы сохранения и расчет энергетических эффектов ядерных превращений. Примеры схем радиоактивных распадов. Спонтанное деление.
4. Альфа-распад. Туннельный эффект. Правило сдвига. Связь энергии альфа-распада с разностью масс и уровнями возбуждения исходного и конечного ядер. Кинетическая энергия альфа-частиц, энергия отдачи. Спектр альфа-частиц.
5. Закономерности бета-распада. Конкуренция видов распада. Устойчивость изобар к бета-распаду. Энергетический спектр бета-частиц, средняя энергия. Нейтрино и антинейтрино. Аннигиляционное излучение. Вторичные процессы в электронной оболочке атома после электронного захвата.
6. Гамма-излучение. Ширина энергетического уровня и время жизни ядра в возбужденном состоянии. Метастабильное состояние, изомерный переход. Спектр гамма-излучения. Внутренняя конверсия и процессы разрядки возбужденной электронной системы.
7. Основной закон радиоактивного распада. Период полураспада и среднее время жизни.
8. Распад и накопление радионуклидов. Радиоактивные равновесия. Кинетика накопления и распада ядер в рядах генетически связанных нуклидов.
9. Взаимодействие тяжелых заряженных частиц с веществом. Кинетическая энергия альфа-частиц и скорость их перемещения в веществе. Основные механизмы передачи (потери) кинетической энергии. Линейная передача энергии. Кривая Брегга. Трек и пробег альфа-частиц. Ослабление потока альфа-частиц.
10. Взаимодействие бета-излучения с веществом. Соотношение потерь на ионизацию и тормозное излучение. Эмпирическая оценка ионизационных и радиационных потерь. Черенковское излучение. Удельная ионизация воздуха. Поглощение энергии и трек бета-частиц в воде. Ослабление потока бета-частиц, максимальный пробег.
11. Взаимодействие нейтронов с веществом. Элементарная теория замедления (рассеяния) быстрых нейтронов. Средняя логарифмическая потеря энергии. Пробег (проникающая способность) быстрых нейтронов. Кинетическая энергия ядер отдачи. Ионизация среды. Диффузия тепловых нейтронов, среднее время жизни теплового нейтрона; поглощение нейтронов. Характеристика различных замедлителей. Конструкция защитных экранов при работе с нейтронными источниками.
12. Взаимодействие гамма-излучения с веществом. Основные механизмы передачи энергии. Зависимость сечений трех первичных процессов передачи энергии от энергии фотонов и заряда ядер облучаемого материала. Области преобладания отдельных механизмов.

Фотоэффект, процессы, сопровождающие фотопоглощение. Резонансное фотопоглощение. Комптоновское рассеяние, энергетическое распределение комптоновских электронов. Обратное рассеяние.

13. Ядерные реакции, механизм, типы реакций. Энергетические эффекты ядерных реакций. Энергетический порог реакции. Реакции с участием нейтронов. Зависимость эффективного сечения от энергии нейтронов. Радиационный захват тепловых нейтронов. Реакции вынужденного деления. Энергетический эффект. Цепная ядерная реакция.

14. Ядерные реакции с заряженными частицами. Эффективное сечение, зависимость от типа и энергии частиц. Кулоновский потенциальный барьер. Фотоядерные реакции. Пороговая энергия фотонов.

15. Общая характеристика методов получения радионуклидов. Реакторные радионуклиды. Накопление радионуклида в облучаемой мишени. Случай тонкой мишени. Получение радионуклидов на ускорителях заряженных частиц. Выбор мишени и условий облучения. Расчет наработки радионуклидов.

16. Основные методы регистрации и детекторы ионизирующих излучений. Абсолютная и регистрируемая активность. Влияние условий измерений на величину регистрируемой радиоактивности. Коэффициент регистрации.

17. Ионизационная камера. Устройство, принцип работы, применение. Принцип работы счетчика Гейгера-Мюллера. Фон и разрешающее время. Пропорциональный счетчик, конструкция. Механизм и коэффициент газового усиления. Эффективность счетчика к различным видам излучения.

18. Гамма-спектрометрия. Устройство и принцип работы гамма-спектрометра. Механизм регистрации излучения полупроводниковыми и сцинтилляционными детекторами. Аппаратурный спектр. Относительное энергетическое разрешение. Калибровка спектрометров по энергии и эффективности.

19. Классификация и характеристика основных типов сцинтилляторов: спектр испускаемых фотонов, время высвечивания, световой выход, прозрачность. Жидкие сцинтилляторы: растворители, активаторы. Сцинтилляторы для детектирования альфа-, бета-, гамма- и нейтронного излучения.

20. Полупроводниковый детектор. Собственная и примесная проводимость. Полупроводник как рабочее вещество детектора – процессы преобразования энергии, формирование импульса тока. Конструкции детекторов альфа- и гамма-излучения. Энергетическое разрешение. Применение ППД в гамма-спектрометрии.

21. Жидкостно-сцинтилляционная спектрометрия. Процессы преобразования энергии ионизирующего излучения в жидких сцинтилляторах. Химическое и оптическое гашение. Применение для спектрометрии альфа- и бета-излучений.

22. Черенковские детекторы. Длительность импульсов черенковского излучения. Радиаторы. Детекторы без фокусировки и с фокусировкой. Энергетическое разрешение детекторов с фокусировкой. Эффективность к различным типам излучения.

2. Биологическое действие ионизирующего излучения и радиационная безопасность

1. Основная концепция радиобиологии. Этапы биологического действия излучения. Проявление радиационного поражения организма при различных дозах

- облучения. Детерминированные и стохастические эффекты радиационного поражения.
2. Теория мишени. Летальность, выживаемость, различные виды кривых доза-эффект.
 3. Радиационно-химический выход. Действие плотно- и редко-ионизирующих излучений. Продукты радиоллиза воды. Радиационные повреждения биологических молекул.
 4. Механизмы повреждения клеток при облучении. Радиочувствительность.
 5. Радиационные повреждения нуклеотидов, РНК и ДНК. Одно- и двухнитевые разрывы ДНК. Репарационные процессы, роль ДНК-полимераз. Радиационные мутации.
 6. Радиопротекторы и радиосенсибилизаторы. Механизмы действия, условия применения. Количественная характеристика известных радиопротекторов.
 7. Дозиметрия. Предмет исследования и круг задач. Основные характеристики поля ионизирующего излучения. Средняя энергия ионизации веществ. Теория Брэгга-Грея.
 8. Механизмы передачи энергии ионизирующего излучения веществу и формирование дозы облучения.
 9. Механизмы передачи энергии фотонного излучения веществу, формирующие дозу. Связь между KERMA и поглощенной дозой для фотонного излучения. Амбиентный эквивалент дозы.
 10. Тормозная способность (линейная передача энергии). Связь между тормозной способностью (ЛПЭ) и биологической эффективностью излучений. Связь между поглощенной и эквивалентной дозами для разных типов излучения.
 11. Эффективная доза. Взвешивающие коэффициенты для различных тканей. Влияние возраста, пола и других факторов на пожизненный риск заболевания при облучении.
 12. Основные типы дозиметров. Способы определения поглощенной дозы.
 13. Сопоставление различных типов дозиметров (полупроводниковые, термолюминисцентные, на основе ионизационных камер). Достоинства и недостатки. Области применения.
 14. Эффективная доза и эффективная коллективная доза. Способы оценки и нормативная база.
 15. Основные принципы радиационной безопасности. Пределы доз для персонала и населения.
 16. Радиационный контроль. Объекты радиационного контроля и контролируемые параметры. Надзор за ядерной и радиационной безопасностью. Нормативные документы, регламентирующие работу с источниками ионизирующих излучений и радиоактивными веществами.
 17. Радиационная безопасность населения. Естественные и техногенные источники облучения. Вклад в среднюю годовую дозу. Сопоставление с установленными пределами доз.
 18. Основные принципы организации работы с источниками ионизирующих излучений. Группы радионуклидов и классы работ. Радиоактивные отходы.
 19. Радиационные аварии. Классификация, причины возникновения, фазы протекания. Критерии вмешательства при радиационных авариях.

3. Методы разделения, концентрирования и определения радионуклидов

1. Классификация и общая характеристика методов разделения и концентрирования в радиохимии.

2. Осаждение и со-осаждение. Типы носителей. Типы изоморфного замещения. Практическое применение методов осаждения/со-осаждения в радиохимической промышленности и радиоэкологии.
3. Жидкостная экстракция. Механизмы экстракции. Основные типы экстрагентов. Эффект высаливания. Многократная экстракция. Способы реализации многократной экстракции. Типы экстракторов. Пурекс-процесс. Применение методов жидкостной экстракции для генераторов радионуклидов.
4. Ионообменное концентрирование. Механизмы ионного обмена. Основные типы сорбентов. Порядок элюирования.
5. Экстракционная хроматография. Механизмы сорбции в экстракционной хроматографии. Основные типы сорбентов. Примеры практического применения для радиохимического анализа и очистки радионуклидов для ядерной медицины.
6. Методы проточного и мембранного фракционирования. Принципы функционирования устройств. Основные представители мембран. Область применения.
7. Принципы регистрации ионизирующего излучения и типы детекторов. Измерение низких уровней радиоактивности. Фон и холостой эксперимент.
8. Масс-спектрометрическое определение радионуклидов. Преимущества и ограничения метода.
9. Трековые детекторы и метод радиографии для определения радионуклидов. Принципы формирования изображений. Типы детекторов. Примеры использования.

4. Производство изотопов и ядерная медицина

1. Общая характеристика применения радиоактивных излучений в медицине. Ядерная медицина.
2. Общая характеристика методов радионуклидной диагностики. Радионуклиды, используемые для ее проведения (требования к радионуклидам и характерные примеры).
3. Общая характеристика методов радионуклидной терапии. Радионуклиды, используемые для ее проведения (требования к радионуклидам и характерные примеры).
4. Ядерно-физические основы получения радионуклидов в ядерных реакциях с заряженными частицами (кинетика процесса, сечение реакции, влияние на выход энергии частиц, состава и физико-химических свойств мишени). Использование ускорителей для этих целей.
5. Ядерно-физические основы получения радионуклидов в ядерных реакциях с нейтронами (кинетика процесса, сечение реакции, влияние на выход энергии нейтронов, состава и физико-химических свойств мишени). Использование ядерных реакторов для этих целей.
6. Получение ^{18}F . Используемые ядерные реакции, мишени, химические формы стабилизации ^{18}F . Радиофармпрепараты на основе ^{18}F .
7. Получение ^{11}C . Используемые ядерные реакции, мишени, химические формы стабилизации ^{11}C . Радиофармпрепараты на основе ^{11}C .
8. Получение ^{99}Mo и ^{131}I . Преимущества и недостатки различных способов. Применение этих радионуклидов в ядерной медицине.
9. Получение и применение радиоактивных изотопов галлия в ядерной медицине. Радиофармпрепараты на основе изотопов галлия.

10. Радионуклидные генераторы. Общая характеристика. Генераторы ^{90}Y и ^{188}Re .
11. Получение $^{99\text{m}}\text{Tc}$ с помощью радионуклидных генераторов. Радиофармацевтическая химия $^{99\text{m}}\text{Tc}$.
12. Современные требования к производству радиофармпрепаратов. Автоматизация процессов синтеза. Контроль качества.

5. Применение радиоактивных индикаторов

1. Изотопные методы в научных исследованиях. Метод радиоактивных индикаторов (МРИ): принципы применения, достоинства метода, возможные ограничения.
2. Физико-химические особенности поведения индикаторных количеств веществ.
3. Изотопные эффекты и их использование в научных исследованиях.
4. Меченое соединение как основа МРИ. Радионуклиды для МРИ. Общая характеристика методов получения и выделения.
5. Номенклатура меченых соединений.
6. Общая характеристика методов получения меченых соединений.
7. Изотопный обмен. Его роль в получении меченых соединений и при их применении в МРИ.
8. Причины протекания изотопного обмена. Равнораспределение изотопов. Кинетика гомогенного изотопного обмена. Изотопное разбавление. Степень обмена.
9. Общие принципы химического синтеза меченых соединений.
10. Биосинтез меченых соединений.
11. Ядерно-химические методы синтеза меченых соединений.
12. Специфика метода термической активации трития как способа получения меченых соединений и изучения структуры макромолекул и адсорбционных слоев поверхностно-активных веществ.
13. Радионуклиды биогенных элементов. Общая характеристика свойств, методов регистрации и областей применения.
14. Применение метода радиоактивных индикаторов в аналитической химии.
15. Применение метода радиоактивных индикаторов в физической химии.
16. Применение радиоактивных индикаторов в органической химии и биохимии.
17. Радиометрический анализ. Активационный анализ.

6. Химия актинидов

1. Сходство и различие свойств лантаноидов и актинидов. Актиниды как 5f-элементы. Особенности электронного строения. Лантаноидное и актиноидное сжатие. Причины, следствия.
2. Общая характеристика свойств актинидов в различных степенях окисления. Растворимость, комплексообразование, гидролиз.
3. Природные изотопы тория и области их применения. Важнейшие соединения тория, их получение и области их применения.
4. Кларк урана, изотопный состав, радиоактивность. Применение урана в ядерно-топливном цикле.

5. Степени окисления и ионные формы урана. Окислительно-восстановительные свойства ионов урана. Гомологический ряд оксидов урана и их основные свойства. Схема взаимных превращений оксидов урана. Синтез и свойства уранатов.

6. Роль плутония в ядерно-топливных циклах. Нарботка плутония.

7. Окислительно-восстановительные превращения ионов плутония. Стабилизация плутония в степенях окисления (3+), (4+), (4+) и (6+). Получение и химические свойства диоксида плутония.

8. Получение нептуния. Ионные формы нептуния. Окислительно-восстановительные превращения ионов нептуния. Комплексообразование различных ионов нептуния.

7. Современные методы диагностики материалов

1. Общая классификация методов диагностики материалов.

2. Спектроскопические методы. Явление резонанса. Виды спектров и методы их регистрации.

3. Рентгеновское излучение РФА, РФС, РФЭС, EXAFS, SAXS.

4. Методы исследования, использующие синхротронное излучение.

5. Ядерные методы диагностики материалов.

6. Сверхтонкие взаимодействия. Методы исследования СВЗ.

7. ЯМР, ЯКР. СВЗ в спектрах ЭПР.

8. Мессбауэровская спектроскопия

9. Позитронный распад.

10. Метод угловых $\pi\pi$ -корреляций.

11. Электронная микроскопия.

12. Ионно-пучковые методы

8. Ядерный топливный цикл

1. Различные ядерные топливные циклы. Преимущества и недостатки. Уран-плутониевый цикл. Ториевый цикл.

2. Уран в природе, его минералы и месторождения. Способы добычи урановых руд, обогатительные и аффинажные процессы. Конечные продукты урановых горно-обогатительных комбинатов.

3. Технология конверсии в UF₆. Химические аспекты конверсии.

4. Виды урана по степени его изотопного обогащения. Математические основы обогатительных процессов. Газодиффузионный способ обогащения. Газоцентрифужный способ обогащения. Лазерно-оптические и электромагнитные процессы обогащения. Сравнение методов обогащения.

5. Виды топливных композиций для фабрикации ядерного топлива. Диоксид урана как основная форма топлива реакторов на тепловых нейтронах. Технологические стадии фабрикации топлива от обогащенного UF₆ до керамического UO₂. Смешанное МОКС и СНУП топливо, особенности производства, преимущества и недостатки. ТВЭЛ и ТВС, их материалы и конструкционные особенности.

6. Физические основы процессов получения энергии при работе реакторной установки. Запаздывающие и мгновенные нейтроны. Сечение реакции деления ядра в зависимости от энергии налетающих нейтронов. Накопление продуктов деления ядра и продуктов захвата нейтронов ядром. Деградация топлива при облучении, радиационные повреждения материала

топлива и конструкционных материалов.

7. Классификация реакторов на установки на тепловых и быстрых нейтронах. Типы реакторов на тепловых нейтронах по виду замедлителя, теплоносителя и топлива. Основы конструкции реакторов ВВЭР и РБМК, их отличия. Реакторы на быстрых нейтронах, их особенности, основы конструкции реакторов типа БН и БРЕСТ.
8. Хранение и выдержка ОЯТ, виды хранилищ. Транспортировка ОЯТ, понятие о транспортно-упаковочном контейнере. Классификация способов вскрытия ТВЭЛ. Метод «рубка-выщелачивание», стадия рубки. Стадия растворения ОЯТ, условия процесса. Осветление растворов после растворения. Возможные модификации головной операции переработки ОЯТ.
9. Историческая ретроспектива процессов переработки ОЯТ. Пурекс-процесс. Виды используемых восстановителей. Деградация ТБФ и его регенерация. Поведение Np, Tc, Ru, Zr в Пурекс-процессе. Улучшенный (Advanced) Пурекс-процесс.
10. Переработка рафината Пурекс-процесса, обоснование с точки зрения радиотоксичности. Основные проблемы разделения. Процессы извлечения Cs-Sr, их основы. Извлечение Am-Cm, используемые для этого системы.
11. Классификация РАО, образующихся в ЯТЦ по их агрегатному состоянию и активности. Глубинное захоронение. Принцип многобарьерной защиты окружающей среды при захоронении. Типы вмещающих пород глубинных хранилищ. Материалы контейнеров для захоронения. Виды матриц для иммобилизации ВАО: стекло, цемент, керамические матрицы, их преимущества и недостатки. Способы оценки нестойкости матриц: степень выщелачивания и прочность.
12. Пирохимические технологии переработки ОЯТ. Необходимость их использования и область применения. Газофторидная технология, её физико-химические основы, преимущества и недостатки. Пироэлектрохимическая переработка в расплавах солей, классификация методов. Переработка оксидного топлива с графитовым катодом (DDP-процесс). Переработка металлического топлива с жидкометаллическим катодом. Поведение продуктов деления в этих процессах, очистка электролита.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

ОСНОВНАЯ

1. Р.А. Алиев, С.Н. Калмыков Радиохимия. М.: Лань. 2013, 304 с
2. Г. Чоппин, Я. Ридберг. Ядерная химия. Основы теории и применения. М.: Энергоатомиздат, 1984, 304 с.
3. Сапожников Ю.А., Алиев Р.А., Калмыков С.Н. Радиоактивность окружающей среды. Бином, 2006, 268 с.
4. И.Хала, Дж. Навратил. Радиоактивность, ионизирующее излучение и ядерная энергетика. Пер. с англ./под ред. Б.Ф. Мясоедова, С.Н. Калмыкова. М.: ЛКИ, 2013. 432 с.
5. В.Б. Лукьянов, С.С. Бердонос, И.О. Богатырев, К.Б. Заборенко, Б.З. Иофа. Радиоактивные индикаторы в химии. Основы метода. М.: Высшая школа, 1985, 287 с.
6. Ан.Н. Несмеянов. Радиохимия. 2-е изд., перераб. М.: Химия, 1978. 560 с.
7. И. Н. Бекман. Радиохимия. Том 1. Радиоактивность и радиация. Учебное пособие. Издательство ОНТОПРИНТ, 2011 - 398 с.
8. И.Н. Бекман. Радиохимия. Том 2. Радиоактивные элементы. Учебное пособие.

Издательство ОНТОПРИНТ, 2014 - 400 с.

9. И.Н.Бекман. Радиохимия. Том 4. Ядерная индустрия и промышленная радиохимия. Учебное пособие. Издательство ОНТОПРИНТ, 2013 - 400 с.

10. Машкович В.П., Кудрявцева А.В. Защита от ионизирующих излучений: справочник. 4-е изд., перераб. и доп. М.: Энергоатомиздат, 1995. 496 с.

11. Иванов В.И. Курс дозиметрии. 4-изд., перераб. и доп. М.: Энергоатомиздат, 1988. 400 с.

12. С.П. Ярмоненко, А.А. Вайнсон. Радиобиология человека и животных. М.: Высшая школа. 2004. 549 с.

13. Кнотько А.В., Пресняков И.А., Третьяков Ю.Д. Химия твердого тела, Москва, изд-во Академия, 2006, 302 с.

14. Л.В. Вилков, Ю.А. Пентин. Физические методы исследования в химии, Москва, Высшая школа, 1987, 368 с.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ

1. В.Д. Нефедов, Е.Н. Текстер, М.А. Торопова. Радиохимия. М.: Высшая школа. 1987, 267 с.

2. Сарычева Л.И. Введение в физику микромира – физика частиц и ядер. НИИЯФ МГУ, 2008, 221 с.

3. Золотов Ю.А. Экстракция в неорганическом анализе. – М.: Издательство МГУ. 1988. 82 с.

4. Золотов Ю.А. Экстракция внутримомлексных соединений. М.: Наука. 1968. 295 с.

5. Ершова О.Д., Ишханов Б.С., Капитонов И.М. Взаимодействие частиц и излучений с веществом. Учебное пособие. М., изд-во МГУ, 2007, 71 с.

6. Болоздыня А.И., Ободовский И.М. Детекторы ионизирующих частиц и излучений. М.: изд-во Интеллект, 2012, 208 с.

7. Чернышева М.Г., Бадун Г.А. Меченые соединения в физико-химических и биохимических исследованиях. Лекции и практикум. М.: изд-во Московского университета, 2018, 56 с.

8. Козлов В.Ф. Справочник по радиационной безопасности. 5-е изд. М.: Энергоатомиздат, 1999. 520 с.

9. Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ – 99/2010)

10. Нормы радиационной безопасности (НРБ – 99/2009)

11. Биохимия. Под ред. Е.С.Северина. М. ГЭОТАР-Медиа. 2004. 784 с.

12. Иванов В.К., Цыб А.Ф. Медицинские радиологические последствия Чернобыля для населения России: оценка радиационных рисков. М.: Медицина, 2002. 392 с.

13. Беспалов В.И. Лекции по радиационной защите. 3-е изд., испр. Томск: Изд-во Томского политехнического университета. 2011. 348 с.

14. Защита от ионизирующих излучений: В 2 т. / Под ред. Н. Г. Гусева. Т. 1: Физические основы защиты от излучений / Н. Г. Гусев, В. А. Климанов, В. П. Машкович, А. П. Суворов. - М. : Энергоатомиздат, 1989. 509 с.

15. Ленинджер А. Основы биохимии. Том 1 В 3-х т. Т.1. Пер. с англ. М.: Мир, 1985. 367 с.

16. Н.В.Тимофеев-Ресовский, А.В.Савич, М.И.Шальнов. Введение в молекулярную радиобиологию. М. Медицина. 1981. 320 с.

17. А. К. Пикаев. Современная радиационная химия: Основные положения. Эксперим. техника и методы Отв. ред. В. И. Спицын. - М.: Наука, 1985. - 374 с.

18. Тальдеши Ю. Радиоаналитическая химия. 1987. 184 с.
19. А. К. Пикаев. Современная радиационная химия. Радиолит жидкостей и газов. М.: "Наука", 1986. 439 с.
20. Соболев А.В., Пресняков И.А. Магнетизм и основы мессбауэровской спектроскопии, Москва, МГУ, 2011, 44 с.
- Интернет-ресурсы: <http://nucleardata.nuclear.lu.se/database/nudat/>
<http://cdf.e.sinp.msu.ru/exfor/index.php>
<http://www.nndc.bnl.gov/nudat2/setToolTips.jsp?toolTips=on>

Примерные темы для вступительного испытания по программе Химия твердого тела (109-01-00-1415-хн)

1. Кристаллическое и электронное строение твердых тел

Основные понятия кристаллохимии. Факторы, определяющие строение неорганических соединений: стехиометрия, природа химической связи и размеры атомов (ионов). Правила Лавеса, Магнуса-Гольдшмидта и Полинга. Методы валентных усилий и валентности связи.

Плотнейшие упаковки и типы пустот. Основные структурные типы, построенные на основе плотнейших упаковок и их взаимосвязь. Структурные типы соединений со стехиометрией AX: NaCl, NiAs, ZnS, CsCl. Описание структур типа корунда, рутила, флюорита, ReO₃ и их производных (семейство голландитов, пирохлор, неорганические бронзы.)

Структуры сложных оксидов со стехиометрией AB₂O₄ (шпинель и оливин) и ABO₃ (перовскит и ильменит). Факторы, определяющие структуру шпинелей и перовскитов. Особенности строения силикатов.

Дефекты кристаллических твердых тел. Типы дефектов. Точечные дефекты. Равновесные и неравновесные дефекты. Описание дефектообразования в квазихимическом приближении. Взаимодействие дефектов, ассоциация. Протяженные дефекты, дислокации. Физико-химические свойства, зависящие от дефектного состояния твердых тел. Дефекты и диффузия. Дефекты упаковки. Структуры срастания. Нестехиометрия твердых тел, ее взаимосвязь с дефектностью. Структуры кристаллографического сдвига.

Типы химической связи в твердом теле. Ван-дер-ваальсово взаимодействие в молекулярных кристаллах, клатраты. Ионная модель строения кристаллов, константа Маделунга, энергия ионной решетки. Цикл Борна-Габера и термодимические расчеты. Основы теорий кристаллического поля и поля лигандов применительно к твердым телам.

Зонная структура кристаллов. Образование зон в результате перекрывания орбиталей. Уровень Ферми. Химический потенциал. Заселенность зон, ее влияние на электрофизические свойства кристаллов. Валентная зона, запрещенная зона, зона проводимости. Металлы и диэлектрики. Собственные и примесные полупроводники. Электронная и дырочная проводимость. Общие представления о методах расчета зонной структуры кристаллов. Границы применимости зонной модели.

2. Фазовые диаграммы, фазовые переходы.

Правило фаз Гиббса. Основные типы конденсированных Т-Х фазовых диаграмм двухкомпонентных систем (с простой эвтектикой, с образованием промежуточных

соединений постоянного и переменного состава, с неограниченными и ограниченными твердыми растворами, с полиморфизмом компонентов и соединений.) Основные нонвариантные равновесия эвтектического типа (эвтектика, эвтектоид, монотектика, монотектоид). Нонвариантные равновесия перитектического типа (перитектика, перитектоид, синтектика). Топологические правила построения фазовых диаграмм бинарных систем.

Термодинамическая классификация фазовых переходов. Стабильные и метастабильные фазы. Представление фазовых переходов на диаграммах состояния. Конденсированные системы. Кинетика фазовых переходов. Зародышеобразование, критический размер зародыша, рост зародышей. Диаграммы температура-время-превращение. Мартенситные превращения. Переходы типа порядок-беспорядок.

3. Методы синтеза твердых тел.

Прямой синтез соединений из простых веществ. Твердофазный синтез и его особенности. Использование механохимической активации. Химические методы гомогенизации. Золь-гель метод. Реакции в газовой фазе, водных и неводных растворах, расплавах. Метод химического осаждения из газовой фазы. Химические транспортные реакции для синтеза и очистки веществ.

Гидротермальный синтез. Синтез с использованием сверхкритических растворителей.

Самораспространяющийся высокотемпературный синтез (СВС). Применение вакуума, высоких давлений в синтезе. Электрохимические методы синтеза.

Способы получения твердых аморфных веществ и стекол. Методы получения твердых фаз в наноразмерном состоянии.

4. Методы изучения состава и структуры твердых тел.

Дифракция рентгеновских лучей в кристалле, закон Брэгга-Вульфа. Монокристалльные и порошковые методы исследования. Определение параметров элементарных решеток, размеров областей когерентного рассеяния. Определение кристаллических структур с использованием дифракционных данных. Количественный рентгенофазовый анализ, основные принципы.

Электронная микроскопия: принципы и возможности сканирующей и просвечивающей электронной микроскопии. Локальный рентгеноспектральный анализ, атомно-эмиссионная спектроскопия.

Электрон-электронные взаимодействия. Оже-электронная спектроскопия. Рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия. Анализ состава поверхности твердых тел. Спектральные методы: колебательная спектроскопия, ИК- и КР- спектры; спектроскопия видимого излучения и УФ-спектроскопия. Спектроскопия ядерного магнитного резонанса (ЯМР), масс-спектрометрические методы. Термический анализ.

5. Функциональные материалы.

Керамика. Основные закономерности, механизмы и способы спекания. Методы получения плотной и пористой керамики. Свойства, определяемые микроструктурой и структурой границ зерен керамики.

Ионная проводимость и твердые электролиты. Суперионные проводники с катионной, кислород-ионной и галогенид-ионной проводимостью. Смешанные ионно-электронные проводники. Применение твердых электролитов и смешанных проводников в

электрохимических устройствах (источники тока, топливные элементы, химические датчики, селективные мембраны).

Магнитные свойства твердых тел и магнитные материалы. Фундаментальные и функциональные параметры. Структурная чувствительность магнитных свойств. Классификация магнитных материалов, основные структуры и свойства (металлы и сплавы, оксиды переходных металлов, магнитная керамика: шпинели, гранаты, перовскиты, гексаферриты). Применения.

Сверхпроводники. Понятие критической температуры, критического тока, критического магнитного поля. Сверхпроводники I и II рода. Низкотемпературные и высокотемпературные сверхпроводники, их критические характеристики, сферы применения.

Монокристаллические материалы, их роль в науке и технике. Методы получения монокристаллов.

Аморфные материалы и стекла. Факторы, влияющие на стеклообразование. Оксидные и халькогенидные стекла. Электропроводящие стекла. Металлические стекла. Стеклокерамика. Ситаллы, возможности управления их структурой и свойствами. Различные области применения стекол.

Рекомендованная литература

ОСНОВНАЯ

1. А. Вест. Химия твердого тела, М., Мир, 1988.
2. А.В. Кнотько, И.А. Пресняков, Ю.Д. Третьяков. Химия твердого тела, М., Академия, 2006.
3. Р. Хоффман. Строение твердых тел и поверхностей: взгляд химика-теоретика, М., Мир, 1990.
4. Ч.Н.Р. Рао, Дж. Гопалакришнан. Новые направления в химии твердого тела, Новосибирск, Наука, 1990.
5. А. Драго. Физические методы в химии, М., Мир, 1981.
6. Ю.Д. Третьяков, В.И. Пугтяев. Введение в химию твердофазных материалов. М.: Изд-во Московского университета: Наука, 2006.
7. А.К.Иванов-Шиц, И.В.Мурин. Ионика твердого тела, Том 1 и 2. СПб.: Изд-во С.-Петербургского университета, 2000 и 2010 гг.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ

1. Уэллс А. Структурная неорганическая химия. Т. 1-3. М.: Мир, 1987 - 1988.
2. Ковтуненко П.В. Физическая химия твердого тела. Кристаллы с дефектами. М., 1993.
3. Жуковский В.М., Петров А.Н. Введение в химию твердого тела. Свердловск, 1978.

АВТОРЫ ПРОГРАММЫ

Этапы 1-2.

д.х.н., проф. А.В. Шевельков, д.х.н., проф. С.Ф. Дунаев, д.х.н., проф. А.В. Яценко, д.х.н., проф. М.Н. Румянцева, к.х.н., доц. Е.Г. Кабанова, д.х.н., проф. Е.А. Гудилин, д.х.н., проф. С.Н. Клямкин, д.х.н., проф. Проскурнин М.А., д.х.н., проф. Веселова И.А., к.х.н., в.н.с. Волков Д.С., д.х.н., проф. Пирогов А.В., д.х.н., проф. Лукашев Н.В., к.ф.-м.н., доц. Белов А.С., к.ф.-м.н., доц. Боченкова А.В., д.х.н., проф. Голубина Е.В., д.х.н., проф. Горюнков А.А., д.х.н., проф. Коробов М.В., д.ф.-м.н., проф. Пазюк Е.А., д.х.н., проф. Успенская И.А., д.ф.-м.н., проф. Хренова М.Г., д.х.н., в.н.с. Стенина Е.В., к.х.н., доц. Борзенко М.И., к.х.н., доц. Жирнов А.Е., д.х.н., проф. Готтих М.Б., д.х.н., проф. Долинная Н.Г., д.х.н., проф. Филиппова И.Ю., д.х.н. Метелев В.Г., к.х.н. Агапкина Ю.Ю., д.х.н., проф. Матвеев В.Н., д.х.н., проф. Караханов Э.А., д.х.н., проф. Максимов А.Л., д.х.н., проф. Лысенко С.В., д.х.н., проф. Анисимов А.В., д.х.н., проф. Афанасов М.И., к.х.н., доц. Бадун Г.А., к.х.н., доц. Петров В.Г., д.х.н., доц. Чернышева М.Г., д.х.н., проф. Мельников М.Я., д.х.н., в.н.с. Голубева Е.Н., д.х.н., проф. Локтева Е.С., д.х.н., проф. Зефирова О.Н., д.х.н., проф. Милаева Е.Р.

Этап 3.

к.пед.н., к.х.н., доц. Даминава С.О.