

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

УТВЕРЖДАЮ

Декан химического факультета,
акад. РАН, профессор



/В.В. Лунин/

«14» июня 2015 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

**Современные методы анализа поверхности, тонких пленок и
низкоразмерных структур**

Уровень высшего образования:

Подготовка кадров высшей квалификации

Направление подготовки (специальность):

04.06.01 Химические науки

Направленность (профиль) ОПОП:

Аналитическая химия 02.00.02

Форма обучения:

очная

Рабочая программа рассмотрена и одобрена
Учебно-методической комиссией факультета
(протокол №3 от 03.06.2015)

Москва 2015

Рабочая программа дисциплины разработана в соответствии с самостоятельно установленным МГУ образовательным стандартом (ОС МГУ) для реализуемых основных профессиональных образовательных программ высшего образования по направлению подготовки 04.06.01 «Химические науки» на основе Образовательного стандарта, самостоятельно установленного МГУ имени М.В.Ломоносова (далее – ОС МГУ), утвержденного Приказом № 552 от 23.06.2014 г. по МГУ с учетом изменений в ОС МГУ, внесенных Приказом №831 по МГУ от 31.08.2015 г..

Год (годы) приема на обучение 2014/2015, 2015/2016, 2016/2017, 2017/2018,
2018/2019, 2019/ 2020

1. Цель курса – ознакомить слушателей с основными современными методами анализа поверхности, тонких пленок и низкоразмерных структур
2. Уровень высшего образования – подготовка научно-педагогических кадров в аспирантуре
3. Направление подготовки 04.06.01 Химические науки. Направленность (профиль) программы Аналитическая химия специальность по перечню ВАК 02.00.02
4. Место дисциплины (модуля) в структуре ООП
Вариативная часть ООП, тип дисциплины «д» - дисциплина (модуль), которую учащийся может освоить на выбор из списка предложенных (электив) и не обязательно в период обучения, отмеченный в базовом учебном плане (2 год обучения).
5. Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями выпускников)

Компетенция	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю)
СПК-2 Способность планировать и осуществлять химический анализ объектов различной природы (неорганических материалов и исходных продуктов для их получения, органических веществ и материалов, нефтехимической продукции, объектов окружающей среды, пищевых продуктов, природных веществ, лекарственных препаратов) с использованием современных инструментальных методов	Знать физические принципы, лежащие в основе современных физико-химических методов исследования поверхности и низкоразмерных структур Знать современные методы анализа поверхности, тонких пленок и низкоразмерных структур, их возможности, достоинства и ограничения Уметь выбирать экспериментальные методы, необходимые для проведения локального анализа и анализа поверхности реальных объектов

6. Объем дисциплины (модуля) в зачетных единицах с указанием количества академических или астрономических часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся:

Объем дисциплины (модуля) составляет 3 зачетные единицы, всего 108 часов, из которых 60 часов составляет контактная работа аспиранта с преподавателем (36 часов - занятия лекционного типа, 12 часов семинарские занятия, 12 часов мероприятия текущего контроля успеваемости), 48 часов составляет самостоятельная работа аспиранта.

7. Входные требования для освоения дисциплины (модуля), предварительные условия
Перечень дисциплин, которые должны быть освоены до начала освоения данной дисциплины: "Математический анализ", "Общая физика", "Физическая химия", "Аналитическая химия", "Строение вещества", "Основы квантовой механики". в объеме программы специалитета/магистратуры химических факультетов классических университетов

8. Образовательные технологии (отметить если применяется электронное обучение и дистанционные технологии).
Преподавание дисциплины проводится в форме авторского курса, лекции читаются с использованием современного мультимедийного оборудования

9. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических или астрономических часов и виды учебных занятий

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины (модуля), форма промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)	Всего (часы)	В том числе					
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы				Самостоятельная работа обучающегося, часы	
		из них				из них	
		Занятия лекционного	Занятия семинарского типа	Учебные занятия, направленные на проведение текущего контроля успеваемости коллоквиумы, практические контрольные занятия и др)	Всего	Работа с лекционным материалом	Всего
Тема 1	104	4	2	2	8	4	4

Тема 2		8	2	2	12	6	6
Тема 3		8	2	2	12	6	6
Тема 4		4	2	2	8	6	6
Тема 5		6	2	2	10	6	6
Тема 6		6	2	2	10	6	6
Промежуточная аттестация зачет	4				4	10	10
Итого	108	36	12	12	64	44	44

Содержание разделов:

Тема 1. Общие понятия. Задачи распределительного анализа. Поверхность как объект анализа. Локальность поперечная и продольная. Взаимодействие корпускулярных пучков и электромагнитного излучения с аналитической пробой. Электромагнитный спектр, методы локального анализа в различных диапазонах спектра. Классификация методов по способу генерации аналитического сигнала, по способу отбора аналитической информации, по локальности.

Тема 2. Анализ поверхности и локальный анализ методами масс-спектрометрии. Принципы масс-спектрометрического анализа. Источники ионизации. Масс-анализаторы. Детекторы. Искровая масс-спектрометрия. Способы анализа поверхности в искровой масс-спектрометрии. Масс-спектрометрия вторичных ионов - статический и динамический варианты. Ионное распыление и выход продуктов распыления. Послойный анализ. Реакционная эмиссия вторичных ионов и способы устранения систематических погрешностей. Количественный анализ, ионнолегированные стандартные образцы, метрологические характеристики послойного распределительного анализа. Масс-спектрометрическая микроскопия. Масс-спектрометрия распыленных нейтралей. Способы пост-ионизации. Анализ непроводящих объектов методом бомбардировки быстрыми атомами. Лазерная микрозондовая масс-спектрометрия. Элементный и молекулярный локальный анализ с использованием вариации плотности мощности лазерного излучения. Анализ органических веществ. Лазерная десорбционная масс-спектрометрия.

Тема 3. Введение в электронную спектроскопию и анализ поверхности. Понятие электронного спектра. Классификация методов электронной спектроскопии. Рентгеновские и спектроскопические обозначения характеристических спектральных линий. Определение поверхности твердого тела. Типы поверхностей. Тонкие пленки. Модифицированные поверхности. Способы физико-химического модифицирования поверхности. Особенности анализа поверхности твердого тела. Метрологические характеристики методов электронной спектроскопии.

Рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия (РФЭС). История создания метода. Фотоэффект. Уравнение Эйнштейна. Энергии связи фотоэлектронов. Работа выхода электрона. Качественный анализ. Спектры остовных уровней в РФЭС. Тонкая структура рент-

геновских фотоэлектронных линий основных уровней (химические эффекты, эффекты конечного состояния, многоэлектронные процессы, плазмонные потери). Химические сдвиги в РФЭС и эмпирические правила их интерпретации. Определение форм нахождения элементов по химическим сдвигам спектральных линий. Математические методы обработки сложных РФЭС-спектров. Количественный анализ. Сечение фотоионизации. Средняя длина свободного пробега электрона. Послойный анализ. РФЭС с угловым разрешением. ФЭС с ультрафиолетовым возбуждением. ФЭС с возбуждением синхротронным излучением. Применение метода РФЭС в гетерогенном катализе, микро- и нанoeлектронике, анализе модифицированных поверхностей твердых тел.

Оже-электронная спектроскопия (ОЭС). История создания метода. Эффект Оже. Номенклатура оже-переходов. Кинетические энергии оже-электронов. Качественный анализ. Тонкая структура оже-электронных линий (химические эффекты, эффекты конечного состояния, плазмонные потери). Химические сдвиги в ОЭС и их интерпретация. ОЭС с возбуждением рентгеновским излучением. Оже-параметр. Количественный анализ. Сечение ионизации электронным ударом. Выход оже-электронов. Коэффициенты относительной элементной чувствительности. Применение метода ОЭС для локального послойного анализа гетероструктур и исследования механизмов роста тонких пленок.

Приборы и техника эксперимента. Пробоподготовка. Блок-схема электронного спектрометра. Получение высокого вакуума. Вакуумные насосы. Источники излучения (рентгеновская трубка, электронная пушка, ультрафиолетовое и синхротронное излучение). Типы и характеристики энергоанализаторов (абсолютное и относительное разрешение, разрешающая способность, аппаратная функция). Детекторы излучения (каналотрон, электронный множитель диодного типа). Пробоподготовка в анализе поверхности. Способы очистки поверхности проб различного типа в вакууме (ионное травление, нагрев, механическая очистка, скол монокристаллов).

Тема 4. Аналитическая электронная микроскопия. Принципы растровой и просвечивающей электронной микроскопии. Формирование изображения анализируемой пробы. Аналитические каналы в растровом и просвечивающем электронных микроскопах. Катодолюминесцентный микроанализ. Принципы рекомбинационной люминесценции, специфика анализа полупроводников и диэлектриков. Количественный катодолюминесцентный анализ субмикронных слоев полупроводниковых гетероструктур. Спектроскопия характеристических потерь энергии электронов. Подготовка проб. Радиационные дефекты и систематические погрешности аналитической электронной микроскопии.

Аналитическая зондовая микроскопия. Сканирующая туннельная микроскопия. Атомно-силовая микроскопия. Полевая эмиссия. Полевая электронная и ионная микроскопия. Атомный зонд. Принципы формирования изображений анализируемой пробы. Аналитические возможности методов.

Тема 5. Рентгеноспектральный микроанализ – принципы метода, характеристическое и тормозное рентгеновское излучение, пределы обнаружения элементов, количественный анализ. Систематические погрешности, обусловленные гетерогенностью пробы, низкой электро- и теплопроводностью, магнитной жесткостью фаз. Аппаратные функции. Неразрушающий послойный анализ при вариации энергии первичных электронов

Тема 6. Ядерно-физические методы анализа поверхности. Радиоактивный распад. Активационный анализ. Мгновеннорadiационный анализ. Ядерный микрозонд. Рентгеноспектральный анализ с ионным возбуждением. Резонансные методы анализа поверхности. Принципы автордиографии. Микроавтордиография. Автордиография высокого разрешения. Исследование элементного распределения по границам зерен в металлах и полупроводниках.

Спектроскопия ионного рассеяния. Кинематические и динамические соотношения элементарного акта рассеяния. Спектроскопия рассеяния медленных ионов для анализа поверхностных монослоев. Резерфордская спектроскопия. Послойный неразрушающий анализ

10. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов, оценочные средства контроля и промежуточной аттестации:

Текущая аттестация проводится еженедельно и после завершения каждой темы. В первом случае критерии формирования оценки – посещаемость занятий, активность студентов на лекциях, уровень подготовки к лекциям; во втором - уровень знаний пройденной части курса.

11. Ресурсное обеспечение:

Литература

1. *Алов Н.В.* Электронная спектроскопия. / Основы аналитической химии. Т. 2. / Под ред. Ю.А. Золотова. 6-е изд. М.: Издательский центр «Академия», 2014. С. 130 – 139.
2. *Борзенко А.Г.* Масс-спектрометрические методы. / Основы аналитической химии. Т. 2. / Под ред. Ю.А. Золотова. 6-е изд. М.: Издательский центр «Академия», 2014. С. 218-237.
3. *Алов Н.В.* Рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия. / Аналитическая химия и физико-химические методы анализа. Т. 2. / Под ред. А.А. Ищенко. М.: Издательский центр «Академия», 2010. С. 232 – 245.
4. *Алов Н.В., Лазов М.А., Ищенко А.А.* Методы анализа поверхности. Ч. 2. Рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия. Учебное пособие. М.: МИТХТ. 2013. 66 с.
5. Методы анализа поверхности/ *Под ред А.Зандерны.* М.: Мир, 1979, 582с.
6. *Вудраф Д., Делчар Т.* Современные методы исследования поверхности. М.: Мир, 1989, 568с.
7. *Бриггс Д., Сих М.П.* Анализ поверхности методами оже - и рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии. М.:Мир, 1987. 600 с.
8. *Фелдман Л., Майер Д.* Основы анализа поверхности и тонких пленок. М.: Мир, 1989, 342с.

9. Гоулдстейн Дж., Ньюбери Д.И. др. Растровая электронная микроскопия и рентгеновский микроанализ. Т. 1, 2, М: Мир, 1984
10. Нефедов В.И., Черепин В.Т. Физические методы исследования поверхности твердых тел. М.: Наука, 1983, 296 с.
11. Миронов В.Л. Основы сканирующей зондовой микроскопии. – М.: Техносфера, 2004.

Интернет-ресурсы

1. Электронная библиотека РФФИ <http://elibrary.ru/defaultx.asp>
2. Доступ к коллекциям книг (2009-2010) и журналов издательства " Elsevier ". <http://www.sciencedirect.com/>
3. Доступ к реферативным базам данных <http://www.scopus.com> и <http://www.isiknowledge.com>

Материально-техническое обеспечение

Для чтения курса необходимо наличие в аудитории исправного электрооборудования, классной доски и персональных компьютеров (по одному на каждого слушателя). Возможно проведение занятий в аудитории, не оборудованной компьютерами, при условии, что переносные персональные компьютеры слушатели приносят с собой.

Б. Переносной компьютер (ноутбук), мультимедийный проектор, экран.

12. Язык преподавания - русский

13. Авторы курса, лекторы:

к.х.н., доцент, **Борзенко Андрей Геннадьевич**, кафедра аналитической химии химического факультета МГУ, AGBorzenko2009@yandex.ru 939-46-48

к.ф.-м.н., в.н.с. **Алов Николай Викторович**, кафедра аналитической химии химического факультета МГУ, n_alov@mail.ru, 939-22-77

Фонды оценочных средств, необходимые для оценки результатов обучения

1. Планируемые результаты обучения приведены в п.5.
2. Вопросы для подготовки к текущей и промежуточной аттестации

Пример вопросов для собеседования на зачете:

1. Задачи распределительного анализа. Поверхность как объект анализа. Локальность поперечная и продольная. Взаимодействие корпускулярных пучков и электромагнитного излучения с аналитической пробой.
3. Классификация методов по способу генерации аналитического сигнала, по способу отбора аналитической информации, по локальности.
4. Принципы масс-спектрометрического анализа. Источники ионизации. Масс-анализаторы. Детекторы.
5. Масс-спектрометрия вторичных ионов - статический и динамический варианты. Ионное распыление и выход продуктов распыления. Послойный анализ.
6. Количественный анализ, ионнолегированные стандартные образцы, метрологические характеристики послойного распределительного анализа.
7. Масс-спектрометрия распыленных нейтралей. Способы пост-ионизации. Анализ непроводящих объектов методом бомбардировки быстрыми атомами.
8. Лазерная микрозондовая масс-спектрометрия. Элементный и молекулярный локальный анализ с использованием вариации плотности мощности лазерного излучения.
9. Лазерная десорбционная масс-спектрометрия. Определение органических веществ.
10. Классификация методов электронной спектроскопии. Понятие электронного спектра.
11. Определение поверхности твердого тела. Типы поверхностей. Тонкие пленки. Модифицированные поверхности. Способы физико-химического модифицирования поверхности.
12. Особенности анализа поверхности твердого тела. Метрологические характеристики методов электронной спектроскопии.
13. Пробоподготовка в анализе поверхности. Способы очистки поверхности проб различного типа в вакууме. Техника получения высокого вакуума.
14. Общая схема электронного спектрометра. Источники излучения. Типы и характеристики энергоанализаторов. Детекторы излучения.
15. Физические основы метода рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии (РФЭС). Фотоэффект. Уравнение Эйнштейна. Энергии связи фотоэлектронов.
16. Количественный анализ в РФЭС. Послойный анализ. РФЭС с угловым разрешением.
17. Химические сдвиги в РФЭС и определение форм нахождения элементов
18. Применение метода РФЭС в гетерогенном катализе, микро- и нанoeлектронике, анализе модифицированных поверхностей твердых тел.
19. Эффект Оже. Номенклатура оже-переходов. Кинетические энергии оже-электронов.
20. Качественный анализ. Тонкая структура оже-электронных линий. Химические сдвиги в оже-электронной спектроскопии (ОЭС).
21. Количественный анализ. Коэффициенты относительной элементной чувствительности.

22. Применение метода ОЭС для локального послойного анализа гетероструктур и исследования механизмов роста тонких пленок.
23. Физические основы методов растровой и просвечивающей электронной микроскопии. Формирование изображения анализируемой пробы.
25. Аналитические каналы в растровом и просвечивающем электронных микроскопах.
27. Особенности пробоподготовки в методах растровой и просвечивающей электронной микроскопии.
28. Классификация и физические основы методов зондовой микроскопии. Принципы формирования изображения анализируемой пробы. Аналитические возможности методов.
29. Рентгеноспектральный микроанализ (РСМА) – принципы метода, характеристическое и тормозное рентгеновское излучение.
30. Количественный РСМА, пределы обнаружения элементов, систематические погрешности.
31. Неразрушающий послойный РСМА при вариации энергии первичных электронов.
32. Радиоактивный распад, активационный анализ, мгновеннорадиационный анализ.
33. Принципы автордиографии. Микроавтордиография. Автордиография высокого разрешения.
34. Спектроскопия ионного рассеяния. Кинематические и динамические соотношения элементарного акта рассеяния.
35. Спектроскопия резерфордского обратного рассеяния. Послойный неразрушающий анализ. Спектроскопия рассеяния медленных ионов. Анализ поверхности.

Пример ПКЗ (статья на английском языке) для проведения семинарских занятий:

на основе литературных данных провести сопоставительный анализ аналитических возможностей "мягкой" лазерной ионизации в методах MALDI, SALDI, DIOS

Методические материалы для проведения процедур оценивания результатов обучения

Зачет проводится по билетам. В ходе сдачи зачета проверяется, в первую очередь, формирование «знаниевой» компоненты компетенций, перечисленных в п.5, а также сформированность перечисленных в п.5 умений. Уровень знаний аспиранта по каждому вопросу оценивается на «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно». В случае, если на все вопросы был дан ответ, оцененный не ниже чем «удовлетворительно», аспирант получает общую оценку «зачтено». Ведомость приема зачета подписывается членами комиссии.

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

ШКАЛА И КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТА ОБУЧЕНИЯ по дисциплине (модулю)				
Оценка Результат	2	3	4	5
Знания	Отсутствие знаний	Фрагментарные знания	Общие, но не структурированные знания	Сформированные систематические знания
Умения	Отсутствие умений	В целом успешное, но не систематическое умение	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение (допускает неточности непринципального характера)	Успешное и систематическое умение
Навыки (владения)	Отсутствие навыков	Наличие отдельных навыков	В целом, сформированные навыки, но не в активной форме	Сформированные навыки, применяемые при решении задач