

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)**

**Лазерная аналитическая спектроскопия**

**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. Краткая аннотация: основная задача курса – ознакомить слушателей с возможностями использования лазерной спектроскопии при анализе реальных объектов
2. Уровень высшего образования – подготовка научно-педагогических кадров в аспирантуре.
3. Направление подготовки 04.06.01 Химические науки.
4. Место дисциплины (модуля) в структуре ООП  
Вариативная часть, Модуль научной специальности и отрасли наук (спецкурсы по выбору кафедры) (2 семестр 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)
<b>СПК-1</b> Способность разрабатывать методическое, математическое и метрологическое обеспечение химического анализа	<b>Знать</b> современные теоретические представления и концепции лазерной аналитической спектроскопии <b>Уметь</b> формулировать актуальные теоретические и экспериментальные проблемы в области современной лазерной аналитической спектроскопии, определять возможные подходы к их решению на основе фундаментальных знаний

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 зачетных единиц, всего 108 часов, из которых 76 часов составляет контактная работа аспиранта с преподавателем (36 часов - занятия лекционного типа, 36 часов - семинары, 2 часа мероприятия текущего контроля успеваемости, 2 часа мероприятия промежуточной аттестации), 32 часа составляет самостоятельная работа аспиранта.

7. Входные требования для освоения дисциплины (модуля), предварительные условия (если есть).

В специалитете или магистратуре должны быть освоены общие курсы «Физическая химия», «Квантовая химия», «Аналитическая химия», «Математический анализ» и «Колебания и волны. Оптика».

8. Образовательные технологии (отметить если применяется электронное обучение и дистанционные технологии).  
Используются следующие технологии: лекции-демонстрации и интерактивные лекции. Преподавание дисциплин проводится в форме авторских курсов по программам, которые составлены на основе результатов исследований, полученных научными школами МГУ.

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 типа	Занятия семинарского типа	Групповые консультации	Индивидуальные консультации	Учебные занятия, направленные на проведение текущего контроля успеваемости коллоквиумы, практические контрольные занятия и др)*	Всего	Выполнение домашних заданий	Подготовка рефератов и т.п..	Всего		
Раздел 1. Лазерная аналитика	64	28	28	-	4	4	64	-	-	-
Раздел 2. Лазерная диагностика	20	8	8	-	2	2	20	-	-	-

<b>Промежуточная аттестация</b> зачет	24						6			18
<b>Итого</b>	<b>108</b>	36	36	-	6	6	<b>90</b>			<b>18</b>

N раздела	Наименование раздела	Трудоёмкость (академических часов) и содержание занятий				Форма текущего контроля
		Аудиторная работа		Самостоятельная работа		
		Лекции	Семинары			
1	Лазерная аналитика	№1. 2 часа. Введение	№1. 2 часа. Принципы действия лазеров. Свойства лазерного излучения. Классификация лазеров.	1 час. Работа с лекционным материалом. Подготовка ответов на контрольные вопросы по теме лекции.	ДЗ, КР	
		№2. 2 часа Методы измерения параметров лазерного излучения.	№2. 2 часа. Взаимодействие лазерного излучения с веществом.	1 час. Работа с лекционным материалом. Подготовка ответов на контрольные вопросы по теме лекции.		
		№3. 2 часа Лазерный микрозонд	№3. 2 часа. Лазерная абляция твердых тел.	1 час. Работа с лекционным материалом. Подготовка ответов на контрольные вопросы по теме лекции.		
		№4. 2 часа. Лазерный пробоотбор	№4. 2 часа. Аналитические применения лазерного испарения.	1 час. Работа с лекционным материалом. Подготовка ответов на контрольные вопросы по теме лекции.		
		№5. 2 часа	№5. 2 часа.	1 час.		

	Лазерная внутривибрационная спектроскопия (ВРЛС)	Преимущества и ограничения метода ВРЛС.	Работа с лекционным материалом. Подготовка ответов на контрольные вопросы по теме лекции.
	№6. 2 часа. Лазерная атомно-флуоресцентная спектрометрия (ЛАФС)	№6. 2 часа. Атомизаторы в методе ЛАФС.	1 час. Работа с лекционным материалом. Подготовка ответов на контрольные вопросы по теме лекции.
	№7. 2 часа. Лазерная молекулярная флуориметрия (ЛМФ)	№7. 2 часа. Низкотемпературная ЛМФ	1 час. Работа с лекционным материалом. Подготовка ответов на контрольные вопросы по теме лекции.
	№8. 2 часа. Опτικο-акустическая спектроскопия (ОАС)	№8. 2 часа. Использование ОАС в хроматографии	1 час. Работа с лекционным материалом. Подготовка ответов на контрольные вопросы по теме лекции.
	№9. 2 часа. Лазерные оптико-рефрактометрические методы	№9. 2 часа. Применение термолинзовой спектрометрии в потоке	1 час. Работа с лекционным материалом. Подготовка ответов на контрольные вопросы по теме лекции.
	№10. 2 часа. Лазерная атомно-ионизационная спектрометрия (ЛАИС)	№10. 2 часа. Атомизаторы в методе ЛАИС	1 час. Работа с лекционным материалом. Подготовка ответов на контрольные вопросы по теме лекции.
	№11. 2 часа. Резонансная ионизационная спектроскопия (РИС)	№11. 2 часа. Механизмы ионизации. Сравнение атомизации при атмосфер-	1 час. Работа с лекционным материалом. Подготовка ответов

			ном давления и в вакууме.	на контрольные вопросы по теме лекции.	
		№12. 2 часа. Методы MALDI и SALDI.	№12. 2 часа. Принципиальные схемы лазерной десорбции и ионизации.	1 час. Работа с лекционным материалом. Подготовка ответов на контрольные вопросы по теме лекции.	
		№13. 2 часа. Лазерная резонансно-ионизационная масс-спектрометрия.	№13. 2 часа. Сравнение чувствительности и селективности с другими методами лазерной спектроскопии.	1 час. Работа с лекционным материалом. Подготовка ответов на контрольные вопросы по теме лекции.	
		№14. 2 часа. Спектроскопия комбинационного рассеяния (КР)	№14. 2 часа. КР на поверхности (метод SERS)	1 час. Работа с лекционным материалом. Подготовка ответов на контрольные вопросы по теме лекции.	
2	Лазерная диагностика	№15. 2 часа. Лазерная диагностика пламен и плазм.	№15. 2 часа. Сравнение лазерных и долазерных методов диагностики	1 час. Работа с лекционным материалом. Подготовка ответов на контрольные вопросы по теме лекции.	ДЗ, КР
		№16. 2 часа. Лазерная диагностика окружающей среды.	№16. 2 часа. Диагностика аэрозольных загрязнений атмосферы	1 час. Работа с лекционным материалом. Подготовка ответов на контрольные вопросы по теме лекции.	
		№17. 2 часа. Лидары.	№17. 2 часа. Сравнение стационарных и мобильных датчиков для контроля окружающей среды.	1 час. Работа с лекционным материалом. Подготовка ответов на контрольные вопросы по теме лекции.	

		№18. 2 часа. Достижения в области лазерных источников света.	№18. 2 часа. Новые методы лазерной аналитической спектроскопии (по материалам новых научных публикаций)	1 час. Работа с лекционным материалом. Подготовка ответов на контрольные вопросы по теме лекции.	
--	--	---	--	---	--

10. Учебно-методические материалы для самостоятельной работы аспирантов.

11. Ресурсное обеспечение:

- Перечень основной и дополнительной учебной литературы

#### **Основная литература**

1. О. Звелто. Принципы лазеров. С-Пб.: Лань, 2008
2. Аналитическая лазерная спектроскопия / под.ред. Н. Оменетто. М.:Мир, 1982.
3. Лазерная аналитическая спектроскопия / под.ред. В.С.Летохова.М.: Наука, 1986.
4. Д. Кремерс, Л. Радziemски. Лазерно-искровая эмиссионная спектроскопия. М.: Техносфера, 2009.
5. Сверхчувствительная лазерная спектроскопия / под.ред.Д. Клайджера. М.: Мир, 1986.
6. Ю.Я. Кузяков, К.А. Семенов, Н.Б. Зоров. Методы спектрального анализа. М.: МГУ, 1990.
7. W.Demtroder. Laser spectroscopy. Berlin: Springer Verlag, 2008

#### **Вспомогательная литература**

1. Н.Б. Зоров, Ю.Я. Кузяков, О.А. Новодворский, В.И. Чаплыгин. Оптогальванический эффект в пламенах атмосферного давления // Химия плазмы / Под ред. Б.М. Смирнова.М.: Энергоатомиздат, 1987., вып.13. С.131-163.
2. В. И. Гришко, В. П. Гришко, И. Г. Юделевич. Лазерная аналитическая термооптическая спектрометрия. Новосибирск: ИНХ СО РАН, 1992.
3. В. И. Козинцев, М. Л. Белов, В. А. Городничев, Ю. В. Федотов. Лазерный оптико-акустический анализ многокомпонентных газовых смесей.М.: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2003
4. Р. Р. Агишев. Лидарный мониторинг атмосферы. М.: Физматлит. 2009.
5. Я. Рабек. Экспериментальные методы в фотохимии и фотофизике. М.: Мир, 1985.

#### **Интернет-ресурсы**

1. База данных NIST по атомным линиям и вероятностям переходов NIST Atomic Spectra Database (<http://www.nist.gov/pml/data/asd.cfm>)



- Описание материально-технической базы.

Лекционные занятия проводятся в любой аудитории, оснащенной розеткой электропитания, имеется переносной компьютер (ноутбук), мультимедийный проектор, экран.

12. Язык преподавания - русский

13. Автор курса, лектор:

Доцент, кандидат химических наук **ГОРБАТЕНКО АЛЕКСАНДР АНАТОЛЬЕВИЧ**, E-mail [gorby@laser.chem.msu.ru](mailto:gorby@laser.chem.msu.ru), тел: 8(495)9391287

#### **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

#### **Общие вопросы**

Характеристики электромагнитного излучения. Длина волны, частота, волновое число. Спонтанное и вынужденное испускание, поглощение. Времена жизни возбужденных состояний. Принципы действия лазеров. Активная среда. Резонаторы. Накачка. Порог генерации. Свойства лазерного излучения. Направленность. Монохроматичность. Пространственная и временная когерентность. Спектральная яркость. Типы лазеров. Твердотельные, жидкостные и газовые лазеры. Химические, полупроводниковые, эксимерные лазеры. Непрерывные и импульсные лазеры. Характеристики рассматриваемых лазеров. Взаимодействие лазерного излучения с веществом. Резонансные переходы. Коэффициенты поглощения и сечения переходов. Ширина спектральных линий. Однородное и неоднородное уширение. Оптическое насыщение перехода. Просветление среды. Зависимость насыщения от времени жизни возбужденного состояния. Процессы диссипации возбуждения. Селективность возбуждения и потеря селективности.

#### **Лазерное испарение**

Взаимодействие лазерного излучения с твердыми веществами. Образование кратеров в различных материалах. Лазерный факел. Спектры поглощения и испускания пробы при лазерной атомизации. Лазерный пробоотбор и его сочетание со спектроскопическими методами анализа. Аналитические применения: локальный анализ, анализ поверхностей и микропроб, послойный анализ, лазерная искра. Лазерная десорбция в масс-спектрометрии. Преимущества и недостатки лазерной атомизации. Помехи, области применения.

#### **Лазерная атомная флуоресценция**

Основы метода. Аппаратура. Атомизация в пламенах, печах и в плазме. Лазерное испарение пробы. Регистрация флуоресцентного сигнала. Помехи в атомно-флуоресцентном анализе. Метрологические характеристики. Области применения лазерной атомно-флуоресцентной спектроскопии: определение следов элементов, определение фундаментальных спектроскопических параметров атомов, применение для дистанционного локального зондирования атмосферы (лидары), диагностика пламен и плазмы.

#### **Лазерная молекулярная флуоресценция**

Оптическое возбуждение молекул. Аппаратура. Области применения лазерной молекулярной флуориметрии: определение следов органических соединений, детекторы для хроматографии, контроль за чистотой окружающей среды.

#### **Оптико-акустическая спектроскопия**

Принцип и схема метода. Оптико-акустическая спектроскопия газов и жидкостей. Особенности аппаратного оформления. Детектирование примесей. Сочетание лазерного оптико-акустического детектирования с хроматографическим разделением. Аналитическое применение и метрологические характеристики.

#### **Лазерные оптико-рефрактометрические методы**

Метод термолинзовой спектрометрии. Физические основы. Оптическая схема термолинзовых измерений. Факторы, влияющие на аналитический сигнал. Аналитическое применение термолинзы в статических условиях и в потоке. Метрологические характеристики.

#### **Лазерная атомно-ионизационная спектрометрия**

Физические основы метода. Аппаратура. Природа атомно-ионизационного сигнала. Механизмы ионизации возбужденных атомов. Области применения: определение следов элементов, диагностика процессов горения, детекторы фотонов. Преимущества и недостатки атомизаторов атмосферного давления. Метрологические характеристики. Резонансная ионизационная спектроскопия с атомизацией пробы в вакууме. Детектирование единичных атомов и солнечных нейтрино. Аппаратура. Анализ объектов. Лазерная резонансно-ионизационная масс-спектрометрия. Процессы испарения и атомизации пробы, сепарация ионов и их детектирование. Аналитические приложения.

#### **Применение лазеров в масс-спектрометрии**

Основы масс-спектрометрии. Основные типы масс-спектрометров и их устройство. Лазерная десорбция и ионизация в масс-спектрометрии. Преимущества и недостатки лазерного испарения. Области применения. Лазерная резонансно-ионизационная масс-спектрометрия. Процессы испарения и атомизации пробы, сепарация ионов и их детектирование. Аналитические приложения.

#### **Спектроскопия комбинационного рассеяния**

Основы метода. Аппаратура. Регистрация аналитического сигнала КР. Мешающие влияния. Области применения спектроскопии КР: определение следов элементов и органических веществ, определение фундаментальных спектроскопических параметров молекул,

применение для дистанционного локального зондирования атмосферы (лидары), комбинационное рассеяние на поверхности (SERS). Метрологические характеристики.

### **Методы лазерного дистанционного зондирования**

Основы методов дистанционного лазерного зондирования: рассеяние (рэлеевское, Ми-, комбинационное и резонансное), флуоресценция, поглощение, дифференциальное поглощение и рассеяние. Основные элементы лазерного датчика параметров окружающей среды. Примеры лазерного дистанционного зондирования объектов окружающей среды.

#### Примеры ПКЗ.

Задание 1.

- 1) Назовите основные преимущества и недостатки лазерных атомизаторов.
- 2) В каких аналитических методах спектроскопии может найти эффективное применение лазерный пробоотбор?
- 3) Как связаны используемый аналитический метод и оптимальные параметры лазерного излучения, используемого для пробоотбора?

Задание 2.

Опишите основы метода лазерной атомно-флуоресцентной спектрометрии

- 1) какие атомизаторы используют в этом методе,
- 2) перечислите основные процессы, протекающие при взаимодействии лазерного излучения с атомами,
- 3) какие факторы влияют на аналитический сигнал при атомизации пробы в пламени.

Задание 3.

- 1) Дайте характеристику основным методам дистанционного лазерного зондирования.
- 2) Какие два основных типа конфигурации лазерного сенсора вам известны?
- 3) Какой тип лазерного сенсора лучше подходит для установки на летательный аппарат?

#### **Основные типы контроля знаний:**

- тестирование;
- индивидуальное собеседование,
- письменные ответы на вопросы.

**Основной тип контроля умений и владений** - практические контрольные задания (ПКЗ), включающих одну или несколько задач (вопросов) в виде краткой формулировки действий (комплекса действий), которые следует выполнить, или описание результата, который нужно получить.

Виды практических контрольных заданий:

- задания на установление правильной последовательности, взаимосвязанности действий, выяснения влияния различных факторов на результаты выполнения задания;
- установление последовательности (описать алгоритм выполнения действия),
- нахождение ошибок в последовательности (определить правильный вариант последовательности действий);
- указать возможное влияние факторов на последствия реализации умения и т.д.
- задания на принятие решения в нестандартной ситуации (ситуации выбора, многоальтернативности решений, проблемной ситуации);
- задания на оценку последствий принятых решений;
- задания на оценку эффективности выполнения действия
- т.п.

#### 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)

<b>ШКАЛА И КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТА ОБУЧЕНИЯ по дисциплине (модулю)</b>				
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 непринципиального характера)	Успешное и систематическое умение
Навыки (владения)	Отсутствие навыков	Наличие отдельных навыков	В целом, сформированные навыки, но не в активной форме	Сформированные навыки, применяемые при решении задач

