

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

УТВЕРЖДАЮ

И.о. декана химического факультета,
Чл.-корр. РАН, профессор



/С.Н. Калмыков/

«20» мая 2019 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Введение в лазерную химию

Уровень высшего образования:

Специалитет

Направление подготовки (специальность):

04.05.01 Фундаментальная и прикладная химия

Направленность (профиль) ОПОП:

Лазерная химия

Форма обучения:

очная

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

Москва 2019

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

Год (годы) приема на обучение 2019/2020, 2020/2021

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

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

Компетенция	Индикатор достижения	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю)
<p>ОПК-1.С. Способен решать современные проблемы фундаментальной и прикладной химии, используя методологию научного подхода и систему фундаментальных химических понятий и законов</p>	<p>ОПК-1.С.1. Воспринимает информацию химического содержания, систематизирует и анализирует ее, оценивает актуальность и степень новизны данных</p>	<p>Уметь анализировать научную литературу с целью выбора направления и методов, применяемых в исследовании по теме выпускной квалификационной работы, Уметь: самостоятельно составлять план исследования Владеть навыками поиска, критического анализа, обобщения и систематизации научной информации, постановки целей исследования и выбора оптимальных путей и методов их достижения</p>
<p>СПК-1.С. Владеет базовыми знаниями в области взаимодействия лазерного излучения с веществом и химических реакций, индуцируемых лазерным излучением; способен использовать их при решении задач профессиональной деятельности</p>	<p>СПК-1.С.1 использует знания о химизме процессов, происходящих под воздействием лазерного излучения, при выборе методов исследования</p>	<p>Знать: теоретические основы физических и химических процессов, происходящих под воздействием лазерного излучения Уметь: выбирать методы исследования вещества с помощью лазерной спектроскопии и диагностики</p>
<p>СПК-2.С. Способен применять знание основных теоретических принципов методов лазерной спектроскопии и диагностики в практической деятельности</p>	<p>СПК-2.С.1 грамотно использует методы лазерной спектроскопии и диагностики при изучении химических объектов</p>	<p>Знать: теоретические основы методов лазерной спектроскопии и диагностики, а также их практического применения</p>
<p>СПК-3.С. Способен использовать теоретические знания основ лазерохимических методов для разработки способов решения поставленных прикладных задач</p>	<p>СПК-3.С.1 предлагает теоретическое обоснование результатам лазерохимических исследований</p>	<p>Знать: теоретические основы и принципы работы лазеров и их применения при решении прикладных задач</p>

3. Объем дисциплины 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 4 зачетных единицы, всего 144 часа, из которых 80 часов составляет контактная работа студента с преподавателем (36 часов занятия лекционного типа, 36 часов – занятия семинарского типа, 4 часа – групповые консультации, 4 часа – промежуточный контроль успеваемости), 64 часа составляет самостоятельная работа студента.

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

Обучающийся должен освоить дисциплины «Физическая химия», «Математический анализ», «Колебания и волны. Оптика», «Основы квантовой механики».

Знать: основные явления, связанные с колебательными и волновыми процессами в механических, электрических и оптических системах, а также методы их теоретического описания и способы использования в физических приборах; основные законы и закономерности, определяющие направление и результат протекания процессов в гомогенных и гетерогенных системах, способы аналитического представления этих закономерностей.

Уметь: формулировать и решать конкретные задачи на основе законов и закономерностей, освоенных в курсе физической химии; получать экспериментальные данные, проводить их математическую обработку, обобщать полученные результаты.

Владеть: знаниями о физических моделях, а также об ограничениях и границах их применимости при описании явлений, связанных с колебательными и волновыми процессами в механических, электрических и оптических системах; навыками практической работы с физическими приборами; простейшими расчетными методами решения физико-химических задач.

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

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины (модуля), форма промежуточной аттестации по дисциплине	Всего (часы)	В том числе	
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них	Самостоятельная работа обучающегося, часы из них

		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Групповые консультации	Индивидуальные консультации	Учебные занятия, направленные на проведение текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации	Всего	Выполнение домашних заданий	Подготовка рефератов и т.п..	Всего
Тема 1. Фундаментальные основы действия лазеров	25	8	8	1			17	7	1	8
Тема 2. Лазеры и химические реакции	25	8	8	1			17	7	1	8
Тема 3. Лазерная спектроскопия	29	10	10	1			21	7	1	8
Тема 4. Лазерная диагностика	29	10	10	1			21	7	1	8
Промежуточная аттестация <u>экзамен</u>	36					4	4	32		32
Итого	144	36	36	4		4	80	60	4	64

6. Образовательные технологии:

- применение компьютерных симуляторов, обработка данных на компьютерах, использование компьютерных программ, управляющих приборами;
- использование средств дистанционного сопровождения учебного процесса;
- преподавание дисциплин в форме авторских курсов по программам, составленным на основе результатов исследований научных школ МГУ.

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

Учебно-методические материалы на сайте кафедры: <https://laser.chem.msu.ru/>

8. Ресурсное обеспечение:

- Перечень основной и вспомогательной учебной литературы ко всему курсу

Со всех компьютеров МГУ организован доступ к полным текстам научных журналов и книг на русском и иностранных языках. Доступ открыт по IP-адресам, логин и пароль не требуются: <http://nbgmu.ru/>

Основная литература

1. О. Звелто. Принципы лазеров. С-Пб.: Лань, 2008
2. Индуцированные лазером химические процессы / под.ред. Дж. Стейнфелда. М.: Мир, 1984.
3. Ю.Н. Молин, В.Н. Панфилов, А.К.Петров. Инфракрасная фотохимия. Новосибирск: Наука, 1985.
4. В. Демтредер. Лазерная спектроскопия: основные принципы и техника эксперимента. М.: Наука, 1985.
5. Газовые лазеры для измерительных систем / под.ред. Е.Д. Проценко. М.: Энергоатомиздат, 1990.

Дополнительная литература

1. Laser Processing of Materials. Fundamentals, Applications and Developments. Ed. by P. Schaaf. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2010
2. И.В. Шишковский. Лазерный синтез функционально-градиентных мезоструктур и объем-ных изделий. М.: Физматлит., 2009.
3. D.L. Andrews. Lasers in chemistry. Berlin: Springer, 1990.
4. Н.В. Карлов, Н.А. Кириченко, Б.С. Лукьянчук. Лазерная термохимия : Основы и применения. М.: Центрком, 1995.
5. В.А. Кочемировский, И.А. Соколов, М.Д. Бальмаков, Л.С. Логунов, И.И. Тумкин, С.В. Сафонов Термоиндуцированное лазерное осаждение металлов из раствора. СПб.: Изд. дом С.-Петербур. гос. ун-та, 2013.

- **Материально-техническое обеспечение:** специальных требований нет, занятия проводятся в обычной аудитории, оснащенной доской и мелом (маркерами)

9. Язык преподавания – русский

10. Преподаватели:

- 10.1. Д.ф.-м..н, проф., Столяров Андрей Владиславович, кафедра лазерной химии химического факультета МГУ
- 10.2. к.х.н., доц. Попов Андрей Михайлович, кафедрв лазерной химии химического факультета МГУ

Фонды оценочных средств, необходимые для оценки результатов обучения

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

Контрольные вопросы по теме № 1

Какова природа Доплеровского уширения?

Изобразите контуры спектральных линий атомов, находящихся при разных температурах.

Является ли поглощение вынужденным процессом?

К какой схеме накачки относится фотодиссоциационный процесс создания активной среды?

Рассчитать межмодовое расстояние для резонатора длиной 10 и 100 см для излучения с длиной волны 500 нм.

Сравните характеристики лазеров, работающих в непрерывном и импульсном режимах.

Какой тип лазеров необходимо использовать, если необходимо работать с излучением, имеющим максимальную мощность?

Какую смесь веществ вы можете предложить для создания активной среды химического лазера?

Какой тип лазера необходимо использовать, если необходимо работать с излучением, длина волны которого может непрерывно перестраиваться в достаточно широкой спектральной области?

На основании структуры колебательных уровней энергии объясните возможность генерации CO₂-лазера на двух длинах волн.

Объясните роль вращательной энергии молекулы CO₂ в образовании спектра генерации лазера.

Контрольные вопросы по теме № 2

Как зависит форма линии поглощения от интенсивности падающего излучения?

Какие методы увеличения селективности вы знаете?

Различия между лазерным и тепловым возбуждением выбранного вами уровня энергии. Приведите примеры селективности по химическим связям при селективном лазерном воздействии.

В каких случаях лазерное воздействие на химическую реакцию является тепловым, а в каких - фотохимическим?

Контрольные вопросы по теме № 3

Приведите примеры однородного и неоднородного уширения спектральных линий.

Изобразите схематически потенциальную кривую двухатомной молекулы

Опишите принцип метода внутрирезонаторной лазерной спектроскопии.

Какие виды комбинационного рассеяния вам известны?

Контрольные вопросы по теме № 4

На чем основан оптоакустический метод анализа?

Какие методы анализа поверхности с помощью лазеров вы знаете?

Какие методы предпочтительнее использовать для детектирования единичных атомов и молекул?

На чем основана диагностика плазмы лазерным атомно-флуоресцентным методом?

Вопросы для экзамена:

1. Общие сведения об электромагнитном излучении видимого, ультрафиолетового и инфракрасного диапазонов длин волн. Атомы и молекулы. Квантовая природа излучения и спектры, характеристики излучения, корпускулярные и волновые свойства.

Интенсивности в спектрах. Вероятности переходов. Квантовая трактовка вероятностей процессов испускания и поглощения. Матричный элемент дипольного момента перехода для атомов и молекул. Времена жизни возбужденных состояний. Уширение спектральных линий. Контуры спектральных линий и полос.

2. Спонтанное и вынужденное испускание, поглощение. Лазерные переходы. Создание активных сред. Процессы накачки. Схемы накачки: оптическая, электрическая, химическая, газодинамическая. Накачка при резонансной передаче энергии при столкновении. Импульсные и непрерывные режимы работы лазеров.

3. Пассивные оптические резонаторы. Оптический резонатор без активной среды Плоскопараллельный резонатор. Продольные и поперечные моды. Резонансные частоты. Стабилизация частоты (погрешности в длине резонатора, влияние температуры). Спектральная чистота и монохроматичность. Использование сферических зеркал. Устойчивые и неустойчивые резонаторы. Конфокальный резонатор, перетяжка, максимальное использование объема активной среды.

4. Непрерывные и импульсные режимы работы лазеров. Порог генерации. Характеристики лазерного излучения. Энергия, монохроматичность, длительность импульса, расходимость. Режим модуляции добротности. Короткие импульсы с высокой пиковой мощностью. Гигантские импульсы. Методы: оптико-механические затворы, электрооптические затворы (Керра, Поккельса), затворы на основе насыщающихся красителей.

5. Типы и характеристики лазеров. Твердотельные, газовые лазеры. Оптическая накачка. Схемы переходов и накачки лазера. Химическая накачка. Электрическая накачка. Продольная и поперечная накачка. Поперечная накачка. Жидкостные лазеры. Лазеры на красителях. Схемы энергетических уровней молекул красителей, Оптические схемы лазеров. Перестройка длины волны генерации. Фронты импульсов накачки. Ламповая и лазерная накачки. CO₂ – лазер. Уровни колебательной и вращательной энергии многоатомных молекул. Нормальные колебания. Схемы колебательных уровней, плотность колебательно-вращательных состояний. Схема возбуждения CO₂ и лазерные переходы.

6. Нелинейные процессы. Взаимодействие мощного лазерного излучения с атомами и молекулами. Насыщение перехода. Просветление среды. Многофотонные процессы. Виртуальные уровни энергии. Ступенчатое возбуждение и ионизация. Селективность возбуждения химических частиц (атомы и молекулы). Энергия активации реакций. Локальность возбуждения. Столкновения и химические реакции. Доставка энергии активации на внутренние связи. Отличие от теплового воздействия. Акцепторы взаимодействия с возбужденной частицей. Малая расходимость и дистанционное инициирование реакции. Монохроматичность и селективность возбуждения лазером. Процессы потери селективности: Скорость реакции и скорости потери возбуждения. Потеря возбуждения при резонансных столкновениях, переход в тепло, поглощение другого фотона.

7. Многофотонное поглощение молекулами мощного импульсного ИК лазерного излучения в бесстолкновительном режиме. Мгновенная (бесстолкновительная) и запаздывающая стадии флуоресценции. Спектры флуоресценции и спектры комбинационного рассеяния образовавшейся плазмы. Механизм наблюдаемого явления. Колебательный квазиконтинуум. Миграция энергии возбуж-

дения. Различные каналы диссоциации при первичном возбуждении различных мод. Диссоциация по слабейшей связи. Горячий и холодный ансамбли молекул по колебаниям. Столкновительные релаксационные процессы. Классификация процессов. Кинетика релаксационных процессов для различных степеней свободы. Классификация методов ИК-возбуждения на основании времени возбуждения и времен релаксации. Химические реакции. Селективность по связям.

Межмолекулярная селективная химия. Колебательная температура. Разделение изотопов. Глубокая очистка веществ. Тепловая гомогенная химия.

8. Характеристики молекулярных переходов и систематика спектров. Вероятности электронных, колебательных, вращательных и электронно-колебательно-вращательных переходов. Времена жизни возбужденных состояний. Потенциальные поверхности. Адиабатические и неадиабатические приближения для описания спектров. Учет электронно-колебательного взаимодействия при интерпретации спектров. Ширины и профили спектральных линий. Однородное и неоднородное уширение. Уширение вследствие эффекта Штарка и Зеемана. Вращательные, колебательные и электронные молекулярные спектры. Лазерная индуцированная флуоресценция, методы двойного резонанса, многофотонная спектроскопия, лазерный магнитный резонанс, спектроскопия возбужденных состояний, внутривибрационная спектроскопия. Спектроскопия насыщения, использование молекулярных пучков и сверхзвуковых струй. Комбинационное рассеяние (КР). Вынужденное КР, когерентное антистоксовое КР (КАРС). КР на поверхности твердых тел. Оптико-акустическая спектроскопия. Исследование спектров промежуточных соединений. Спектроскопия сталкивающихся частиц.

9. Чувствительность и селективность методов лазерной аналитической спектроскопии. Атомно-ионизационный, термооптический, флуоресцентный, оптикоакустический методы. Микроанализ. Методы спектроскопии комбинационного рассеяния. Детектирование единичных атомов и молекул. Изучение и анализ поверхности. Лазерные методы изучения кинетики химических реакций. Дистанционные методы определения загрязнений. Зондирование атмосферы. Диагностика плазмы.

Методические материалы для проведения процедур оценивания результатов обучения

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 не-принципиального 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

РЕЗУЛЬТАТ ОБУЧЕНИЯ по дисциплине (модулю)	ФОРМА ОЦЕНИВАНИЯ
<p>Знать: теоретические основы физических и химических процессов, происходящих под воздействием лазерного излучения</p> <p>Знать: теоретические основы методов лазерной спектроскопии и диагностики, а также их практического применения</p> <p>Знать: теоретические основы и принципы работы лазеров и их применения при решении прикладных задач</p>	<p>мероприятия текущего контроля успеваемости, устный опрос на экзамене</p>
<p>Уметь: анализировать научную литературу с целью выбора направления и методов, применяемых в исследовании по теме выпускной квалификационной работы,</p> <p>Уметь: самостоятельно составлять план исследования</p> <p>Уметь: выбирать методы исследования вещества с помощью лазерной спектроскопии и диагностики</p>	<p>мероприятия текущего контроля успеваемости, устный опрос на экзамене</p>
<p>Владеть: навыками поиска, критического анализа, обобщения и систематизации научной информации, постановки целей исследования и выбора оптимальных путей и методов их достижения</p>	<p>мероприятия текущего контроля успеваемости, устный опрос на экзамене</p>