

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)**

**Воздействие лазерного излучения на вещество**

**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 дисциплине (модулю)
<b>СПК-1.С.</b> Владеет базовыми знаниями в области взаимодействия лазерного излучения с веществом и химических реакций, индуцируемых лазерным излучением. Способен использовать их при решении задач профессиональной деятельности	<b>СПК-1.С.1</b> использует знания о химизме процессов, происходящих под воздействием лазерного излучения, при выборе методов исследования	<b>Знать:</b> теоретические основы физических и химических процессов, происходящих под воздействием лазерного излучения <b>Уметь:</b> грамотно использовать теоретические знания основ лазерохимических методов при решении прикладных задач <b>Владеть:</b> навыками применения лазеров для инициирования химических реакций
<b>СПК-3.С.</b> Способен использовать теоретические знания основ лазерохимических методов для разработки способов решения поставленных прикладных задач	<b>СПК-3.С.1</b> предлагает теоретическое обоснование результатам лазерохимических исследований	<b>Знать:</b> основные закономерности взаимодействия лазерного излучения с веществом <b>Уметь:</b> грамотно выбирать схемы лазерного возбуждения для достижения поставленных задач <b>Владеть:</b> навыками управления химическими реакциями с помощью лазерного излучения

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 88 часов составляет контактная работа студента с преподавателем (36 часов – занятия лекционного типа, 36 часов – занятия семинарского типа, 12 часов – индивидуальные консультации, 4 часа – промежуточный контроль успеваемости), 56 часов составляет самостоятельная работа студента.*

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

Обучающийся должен освоить дисциплины: «Колебания и волны. Оптика», «Основы квантовой механики», «Строение молекул», «Введение в специализацию «Лазерная химия», «Лазерная спектроскопия».

**Знать:** математические и физические модели, используемые при решении типовых химических задач; физические и математические модели, используемые в лазерной спектроскопии, их возможности и ограничения; принципы работы основных лазерных систем.

**Уметь:** решать простейшие квантово-механические задачи; выбирать методы исследования вещества с помощью лазерной спектро-

скопии и диагностики; интерпретировать спектроскопические данные о физико-химических процессах, полученных методами лазерной спектроскопии.

**Владеть:** навыками работы с основными лазерными системами; навыками использования базовых физических знаний при решении химических задач.

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

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 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. Структура энергетического спектра молекул, строение молекул	18	6	6		2		14	4		4
Тема №2. Индуцированные лазером процессы селективного возбуждения	18	6	6		2		14	4		4
Тема №3. Особенности лазерного возбуждения.	18	6	6		2		14	4		4
Тема №4. Взаимодействие лазерного излучения с поверхностью твердых материалов.	18	6	6		2		14	4		4

Тема №5. Многофотонные процессы, фотодиссоциация и релаксационные процессы	18	6	6		2		14	4		4
Тема №6. Лазерохимические реакции	18	6	6		2		14	4		4
Промежуточная аттестация <i>экзамен</i>	36					4	4			32
<b>Итого</b>	<b>144</b>	<b>36</b>	<b>36</b>		<b>12</b>	<b>4</b>	<b>88</b>			<b>56</b>

#### 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):

1. База данных HITRAN по абсорбционным переходам молекул (<http://www.cfa.harvard.edu/hitran/>)
2. Спектроскопическая база данных GEISA по излучению в атмосфере (<http://ara.abct.lmd.polytechnique.fr/index.php?page=geisa-2> )
3. База данных NIST по колебательным и электронным уровням энергии молекул (<http://webbook.nist.gov/chemistry/es-ser.html> )
4. Базы данных VAMDC ([http://portal.vamdc.org/vamdc\\_portal/nodes.seam](http://portal.vamdc.org/vamdc_portal/nodes.seam) )
5. База спектральных данных NIST <https://www.nist.gov/pml/atomic-spectra-database>
6. База спектральных данных Р. Куруца <https://www.cfa.harvard.edu/amp/ampdata/kurucz23/sekur.html>
7. 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://nbmgu.ru/>

### Основная литература

1. В. С. Летохов, А. А. Макаров. Кинетика двухступенчатой селективной фододиссоциации молекул лазерным излучением. М.: АН СССР, препринт, 1972.
2. Э. Грунвальд, Д. Дивер, Ф. Кин. Мощная инфракрасная лазерохимия. М.: Мир, 1981.
3. Индуцированные лазером химические процессы / под ред. Дж. Стейнфелда. М.: Мир, 1984
4. Ю.Н. Молин, В.Н. Панфилов, А.К. Петров Инфракрасная фотохимия :Новосибирск: Наука, 1985

### Дополнительная литература

1. В. С. Летохов. Лазерно-индуцированные процессы в спектроскопии, разделение изотопов и фотофизика // УФН. 1986. Т.148, вып.1. С.123-141.
2. Laser Processing of Materials. Fundamentals, Applications and Developments/ Ed. by P. Schaaf. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2010

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., зав.кафедрой, Столяров Андрей Владиславович, кафедра лазерной химии химического факультета МГУ
- 10.2. К.х.н, доц., Попов Андрей Михайлович, кафедра лазерной химии химического факультета МГУ

### Фонды оценочных средств, необходимые для оценки результатов обучения

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

#### Контрольные вопросы по теме № 1

Приведите общие сведения о структуре энергетических уровней молекул и переходах между ними. Чем определяется вероятность оптических переходов в молекуле?

#### Контрольные вопросы по теме № 2

Какие методы увеличения селективности вы знаете? Приведите примеры селективности по химическим связям при селективном лазерном воздействии. Какие методы изучения межмолекулярной и межмодовой селективности Вы знаете?

#### Контрольные вопросы по теме № 3

Столкновения и химические реакции. Селективная доставка энергии активации на внутренние связи. Отличие от теплового воздействия. Приведите примеры нелинейных процессов поглощения лазерного излучения. Каким образом они используется на практике? Что такое насыщение оптического перехода? При каких условиях наблюдается это явление? В каких случаях наблюдается просветление среды?

#### **Контрольные вопросы по теме № 4**

Какие процессы происходят при взаимодействии лазерного излучения с поверхностью твердого тела? В чем разница между гипотезой «кулоновского взрыва» и двухтемпературной моделью? Какая из них лучше описывает результат действия фемтосекундного лазера на твердое тело (металл, диэлектрик)? Что такое порог пробоя? Сравните его значения на примере металлов, диэлектриков и полупроводников. Дайте качественное описание различий в процессе взаимодействия наносекундного и фемтосекундного импульсов твердым материалом.

#### **Контрольные вопросы по теме № 5**

Опишите процесс возбуждения через виртуальный уровень. Каковы характерные для него сечения перехода? В чем заключается эффект вращательного "узкого горла"? Опишите процесс двухступенчатой фотодиссоциации молекулы в электронно-возбужденном состоянии. Приведите классификацию столкновительных релаксационных процессов. Опишите распределение молекул в квазиконтинууме.

#### **Контрольные вопросы по теме № 6**

В чем заключается отличие лазерных реакций от фотохимических? В каких случаях лазерное воздействие на химическую реакцию является тепловым, а в каких - фотохимическим? Приведите примеры лазерно-индуцированных реакций в жидкой фазе. Для чего используют молекулярные пучки в лазерохимических реакциях. Приведите примеры лазерного твердофазного синтеза.

#### **Перечень билетов к экзамену:**

**Билет №1.** Общие сведения о строении молекул. Систематика электронно-колебательных состояний. Правила отбора. Сечения переходов между энергетическими уровнями. Матричные моменты оптических переходов. Триplet - триpletные переходы. Нелинейные эффекты при оптическом возбуждении. Времена жизни возбужденных электронных состояний.

**Билет №2.** Лазерное возбуждение молекул. Селективность возбуждения и методы ее повышения. Методология выбора схем возбуждения. Энергия активации реакций. Столкновения и химические реакции. Селективная доставка энергии активации на внутренние связи. Отличие от теплового воздействия. Нелинейные процессы. Насыщение оптического перехода. Просветление среды.

**Билет №3.** Многофотонные процессы. Многофотонные процессы. Виртуальные уровни энергии. Ступенчатое возбуждение и ионизация. Многофотонное и многоступенчатое возбуждение колебательных уровней энергии многоатомных молекул. Эффект вращательного "узкого горла".

**Билет №4.** Фотодиссоциация. Явления фотодиссоциации из основного и электронно-возбужденных состояний. Двухступенчатая фотодиссоциация молекулы в электронно-возбужденном состоянии через колебательно-возбужденные состояния основного электронного состояния.

**Билет №5.** Релаксационные процессы. Радиационная релаксация. Стохастизация энергии возбуждения. Экспериментальные методы изучения процессов стохастизации. Столкновительные релаксационные процессы. Классификация процессов (V-V, V-V', V-T, R-T и т.д.). Кинетика релаксационных процессов. Межмолекулярная и межмодовая селективность. Методы их изучения. Фемтосекундные лазеры.

**Билет №6.** Особенности лазерного возбуждения. Возбуждение молекул в квазиконтинуум. Распределение молекул в квазиконтинууме. Диссоциация молекул из основного электронного состояния. Отличие лазерных реакций от фотохимических.

**Билет №7.** Фото- и тепловая химия. Фотохимический и тепловой характер реакции. Химическая термометрия. Особенности проведения лазерных реакций. Лазерное разделение изотопов. Лазерно-сенсibilизированные реакции. "Тепловая баня" и гомогенные газофазные реакции. Реакции в жидкой фазе.

**Билет №8.** Лазерохимические реакции. Реакции в низкотемпературных матрицах. Реакции в молекулярных пучках. Энергоемкий синтез. Примеры лазерохимических реакций. Взаимодействие лазерного излучения с поверхностью твердого тела. Твердофазный синтез.

### Методические материалы для проведения процедур оценивания результатов обучения

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 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

<b>РЕЗУЛЬТАТ ОБУЧЕНИЯ по дисциплине (модулю)</b>	<b>ФОРМА ОЦЕНИВАНИЯ</b>
Знать: теоретические основы физических и химических процессов, происходящих под воздействием лазерного излучения Знать: основные закономерности взаимодействия лазерного излучения с веществом	мероприятия текущего контроля успеваемости, устный опрос на экзамене
Уметь: грамотно использовать теоретические знания основ лазерохимических методов при решении прикладных задач Уметь: грамотно выбирать схемы лазерного возбуждения для достижения поставленных задач Владеть: навыками управления химическими реакциями с помощью лазерного излучения	мероприятия текущего контроля успеваемости, устный опрос на экзамене



Владеть: навыками применения лазеров для инициирования химических реакций

мероприятия текущего контроля  
успеваемости, устный опрос на  
экзамене