

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)**

**Методы диагностики лазерной плазмы**

**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.

<b>Компетенция</b>	<b>Индикатор достижения</b>	<b>Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю)</b>
<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 100 часов составляет контактная работа студента с преподавателем (72 часа – занятия лекционного типа, 24 часа – индивидуальные консультации, 4 часа – промежуточный контроль успеваемости), 44 часа составляет самостоятельная работа студента.*

4. 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 спектроскопии 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. Понятие плазмы и ее термодинамическое описание.	9	6			2		8	1		1
Тема №2. Принцип детального равновесия.	9	6			2		8	1		1
Тема №3. Случаи отклонения плазмы от равновесного состояния.	9	6			2		8	1		1

Тема №4. Особенности лазерно-индуцированной плазмы, ее типичные свойства.	9	6			2		8	1		1
Тема №5. Применение зондов для измерений электрических и магнитных полей плазмы.	9	6			2		8	1		1
Тема №6. Лазерная интерферометрия.	9	6			2		8	1		1
Тема №7. Упругое и неупругое рассеяние излучения как способ диагностики плазмы.	9	6			2		8	1		1
Тема №8. Методы пассивной диагностики плазмы: эмиссионные методы.	9	6			2		8	1		1
Тема №9. Контур спектральной линии.	9	6			2		8	1		1
Тема №10. Механизмы уширения, сдвига и асимметрии спектральных линий.	9	6			2		8	1		1
Тема №11. Методы исследования неоднородности лазерной плазмы.	9	6			2		8	1		1
Тема №12. Дистанционные методы измерения электрических, магнитных полей плазмы.	9	6			2		8	1		1
Промежуточная аттестация <u>экзамен</u>	36					4	4	32		32

<b>Итого</b>	<b>144</b>	<b>72</b>			<b>24</b>	<b>4</b>	<b>100</b>	<b>44</b>		<b>44</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):

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. Демтредер. Лазерная спектроскопия: основные принципы и техника эксперимента. М.: Наука, 1985.
2. И. А. Семиохин. Элементарные процессы в низкотемпературной плазме. – М.: Изд-в Моск. ун-та, 1988.
3. Г. Грим. Спектроскопия плазмы. М.: Атомиздат, 1969.
4. Методы исследования плазмы. Спектроскопия, лазеры, зонды. / Под. ред. В. Лохте-Хольтгревена, - М.: Мир, 1971.

#### Дополнительная литература

1. В. Н. Очкин. Спектроскопия низкотемпературной плазмы. - М.: Физматлит, 2006.
2. I. N. Hutchinson, Principles of Plasma Diagnostics, Cambridge: Cambridge University Press, 2002.
3. Г. Грим. Уширение спектральных линий в плазме. - М.: Мир, 1978.
4. J.A.M. van der Mullen. Excitation equilibria in plasmas: a classification // Physics Reports, 1990, V.191, P.109-220.

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

## 9. Язык преподавания – русский

### 10. Преподаватели:

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 - экзамена. На экзамене проверяется достижение промежуточных индикаторов компетенций, перечисленных в п.2.

#### **Контрольные вопросы к коллоквиуму:**

Что характеризует дебаевский радиус? Выведите уравнение состояния идеальной плазмы.

Какие термодинамические параметры характеризуют состояние плазмы?

В чем суть принципов детального и статистического равновесия?

В чем отличие полного, локального и частично локального термодинамического равновесия?

Какие модели описания плазмы в неравновесных условиях существуют?

Основные характеристики лазерно-индуцированной плазмы: как быстро они эволюционируют?

Какие параметры плазмы можно определить с помощью зонда Ленгмюра?

Какие виды рассеяния используют для диагностики лазерной плазмы? Приведите примеры.

Для чего нужна теневая фотография плазмы?

Назовите основные параметры профилей спектральных линий, используемых для диагностики лазерной плазмы.

Какие механизмы ответственны за уширение (сужение), асимметрию и сдвиг спектральных линий?

Какие существуют методы проверки самопоглощения спектральных линий?

#### **Перечень билетов к экзамену:**

**БИЛЕТ № 1.** Понятие плазмы. Термодинамическое описание плазмы: Дебаевский радиус экранирования, плазменная частота, средняя длина свободного пробега, уравнение состояния идеальной плазмы. Идеальная и неидеальная плазма: параметр неидеальности плазмы. Основные термодинамические параметры плазмы.

**БИЛЕТ № 2.** Термодинамическое равновесие в плазме. Равновесные функции распределения: закон Планка, закон Кирхгоффа, распределение Максвелла, распределение Больцмана, распределение Саха. Равновесная и неравновесная плазма. Особенности их использования: понижение потенциала ионизации, проблемы расчета статистических сумм по состояниям.

**БИЛЕТ № 3.** Отклонение плазмы от равновесного состояния: понятия ЛТР и частичного ЛТР. Причины отклонения состояния плазмы от ЛТР. Критерии оценки равновесного состояния плазмы. Учет отклонения от равновесного состояния в функциях распределения. Стационарная и нестационарная плазма.

**БИЛЕТ № 4.** Типичные примеры плазмы и их параметры. Понятие вырожденной плазмы. Характеристики лазерной плазмы: образование и эволюция, пространственная неоднородность, магнитные и электрические свойства, типичные параметры лазерной плазмы,

влияние атмосферы на эти параметры.

**БИЛЕТ № 5.** Основы эмиссионной спектроскопии: спектры испускания, спектральные диапазоны – рентген, вакуумный УФ, оптический диапазон, ИК. Вероятности переходов, правила отбора для атомных линий в дипольном приближении. Относительные интенсивности спектральных линий, связь с температурой и количеством частиц.

**БИЛЕТ № 6.** Контур спектральной линии: ширина, центр, асимметрия. Классическое описание контура, полуклассический подход и квантовомеханическое описание. Автокорреляционная функция для описания контура линий. Однородное и неоднородное уширение: дисперсионный контур, Гауссов контур, контур Фойгта.

**БИЛЕТ № 7.** Естественное уширение: причины, контур. Допплеровское уширение: причины, контур, причины асимметрии и сдвига, определение температуры. Ударное уширение: столкновительное, резонансное, Ван-дер-Ваальса. Причины, контур, причины асимметрии и сдвига, определение температуры, давления, числа частиц.

**БИЛЕТ № 8.** Уширение за счет заряженных частиц: линейный и квадратичный эффект Штарка. Распределение поля в плазме: распределение Хольцмарка, влияние других заряженных частиц. Контур, причины асимметрии и сдвига: влияние неоднородности и временной эволюции лазерной плазмы. Закономерности для разрешенных переходов внутри мультиплета, супермультиплета и серий, изоэлектронные последовательности.

**БИЛЕТ №9.** Неоднородность лазерной плазмы – как причина появления самопоглощения. Способы обнаружения самопоглощения: отношение линий в мультиплете ( $LS$ -связь), метод кривых роста, другие экспериментальные методы. Восстановление профиля неоднородности плазмы: инверсия Абея, преобразования Радона, сложности их использования для лазерной плазмы. Применение для диагностики лазерной плазмы.

**БИЛЕТ №10.** Спектроскопические методы измерения магнитных полей плазмы: Фарадеево вращение плоскости поляризации, применение эффекта Зеемана. Фотографирование лазерной плазмы: техника, исследование размеров, неоднородности плазмы, ее положения и перемещения в ходе развития. Оптическая пирометрия для определения температуры лазерной плазмы.

**БИЛЕТ №11.** Зондовые измерения электрических полей. Зонд Ленгмюра: основные принципы, техника измерений, определение температуры и плотности электронов, функции распределения электронов по энергиям, взаимодействие зонда с плазмой. Зондовые измерения магнитного поля: магнитные зонды, гальваномагнитные зонды, взаимодействие зонда с плазмой. Примеры использования зондов для диагностики лазерной плазмы.

**БИЛЕТ №12.** Лазерная интерферометрия: шлирен- и теневой методы, основные принципы, техника измерений, определение числа частиц, исследование сверхплотной плазмы, исследование ударных волн, определение размеров и неоднородностей в плазме.

**БИЛЕТ №13.** Рассеяние света плазмой: рассеяние на свободных электронах (Томсоновское рассеяние); рассеяние на связанных электронах; рассеяние на плазменных колебаниях; рассеяние на полностью ионизованной плазме и на частично ионизованной плазме. Границы применимости, учет корреляции между рассеивающимися электронами. Техника измерений, определение температуры, электронной плотности, примеры использования для лазерной плазмы.

**БИЛЕТ №14.** Комбинационное рассеяние света для диагностики лазерной плазмы: основные принципы, техника измерений, пространственное распределение возбужденных частиц. Спектроскопия поглощения: основные принципы, техника, «обращение» линий для определения температуры плазмы. Лазерно-индуцированная флуоресценция для определения числа частиц. Оптико-гальваническая спектроскопия для диагностики плазмы. Микроволновая диагностика лазерной плазмы: взаимодействие микроволнового излучения с плаз-



мой.

**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 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

<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 при сдаче задачи и на экзамене
Уметь: грамотно использовать теоретические знания основ лазерохимических методов при решении прикладных задач Уметь: грамотно выбирать схемы лазерного возбуждения для достижения поставленных задач	мероприятия текущего контроля успеваемости, устный опрос при сдаче задачи и на экзамене
Владеть: навыками применения лазеров для инициирования химических реакций Владеть: навыками управления химическими реакциями с помощью лазерного излучения	мероприятия текущего контроля успеваемости, устный опрос при сдаче задачи и на экзамене