

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО НАУЧНЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ

**Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Новосибирский институт органической химии им. Н.Н. Ворожцова
Сибирского отделения
Российской академии наук (НИОХ СО РАН)**

УТВЕРЖДАЮ

Врио директора НИОХ СО РАН,
д.ф.-м.н., проф.

_____ Е.Г. Багрянская

«_____» _____ 201__ г.

ФОТОХИМИЯ

Программа лекционного курса и самостоятельной работы аспирантов

Направление подготовки 04.06.01 «Химические науки»

Учебно-методический комплекс

Учебно-методический комплекс предназначен для аспирантов Новосибирского института органической химии им. Н.Н. Ворожцова Сибирского отделения Российской академии наук, направление подготовки 04.06.01 «Химические науки». В состав пособия включены: программа курса лекций, структура курса. Кроме того, приведен набор задач для самостоятельной работы аспирантов с использованием учебной литературы и даны примеры вариантов задач, предлагаемых на экзаменах в прошлые годы.

Составитель: доц., д.х.н. Сорокин Н.И.

Аннотация рабочей программы

Дисциплина «Фотохимия» относится к вариативной части (профильные дисциплины) высшего профессионального образования (аспирантура) по направлению подготовки 04.06.01 «Химические науки» (Исследователь. Преподаватель-исследователь). Данная дисциплина реализуется в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Новосибирском институте органической химии им. Н.Н. Ворожцова Сибирского отделения Российской академии наук (НИОХ СО РАН).

Содержание дисциплины охватывает круг вопросов, связанных со взаимодействием света с веществом, превращениями электронно-возбужденных состояний, взаимосвязи кинетических и динамических процессов.

Дисциплина нацелена на формирование у выпускника, освоившего программу аспирантуры, универсальных компетенций УК-1, УК-2, УК-3, УК-4, УК-5, общепрофессиональных компетенций ОПК-1, ОПК-2, ОПК-3.

Преподавание дисциплины предусматривает следующие формы организации учебного процесса: лекции, самостоятельная работа аспиранта, консультации, сдача экзамена.

Программой дисциплины предусмотрены следующие виды контроля:

Текущий контроль: Посещение лекций, консультации.

Итоговый контроль. Итоговую оценку за семестр аспирант может получить на устном экзамене в конце семестра.

Общая трудоемкость дисциплины составляет 2 зачетные единицы, 72 академических часа. Программой дисциплины предусмотрены 32 лекционных часа и 36 часов самостоятельной работы аспирантов. Остальное время (4 часа) – контроль в форме экзамена.

1. Цели освоения дисциплины

Дисциплина «Фотохимия» направлена на изучение и усвоение аспирантами теоретической фотохимии, фотохимии конкретных систем, а также ее экспериментальных методов фотохимии, необходимых для научно-исследовательской работы.

Одной из целей курса является демонстрация подводных камней как теоретической фотохимии, так и экспериментальных методик.

Основной целью освоения дисциплины является усвоение аспирантами основных положений теоретической фотохимии, умение пользоваться ими и на этой основе – понимания аспирантами сложных химических превращений происходящих в живом организме.

Аспирант обязан твердо усвоить основные представления современной фотохимии, возникшие в шестидесятые–семидесятые годы прошедшего столетия, и, прежде всего, о том, что направление и скорость первичного фотохимического акта зависят от соотношения когерентной ширины возбуждающего света и ширины спектра поглощения вещества. Аспирант должен усвоить, что фотохимический процесс, в зависимости от параметров задачи, может управляться как динамическими, так и кинетическими закономерностями. Аспирант обязан знать границы применимости моделей и те приближения, которые положены в их основу.

2. Место дисциплины в структуре ОПОП ВО

Дисциплина «Фотохимия» относится к вариативной части блока 1 структуры программы аспирантуры по направлению подготовки 04.06.01 «Химические науки» (Исследователь. Преподаватель-исследователь).

Дисциплина «Фотохимия» опирается на следующие дисциплины:

- Строение вещества (в том числе спектроскопия).
- Физика;
- Математический анализ;
- Высшая алгебра;
- Теоретическая электрохимия и инструментальные методы анализа.

Аспирант должен уверенно владеть методами квантовой механики – в первую очередь теорией возмущений. Должен иметь представления об операторных методах решения дифференциальных уравнений, иметь представления о теории вычетов. Аспирант должен иметь твердые представления о моделях, излагаемых в курсе «Строение вещества» – одноэлектронном приближении (для анализа направления фотохимических процессов), методах Вудворда-Хоффмана и других. В совершенстве знать электронную спектроскопию.

Курс содержит вводную часть – излагаются решения уравнения Максвелла для диполя, анализируется структура поля излучения (на уровне книг Гайтлера «Квантовая теория излучения» и Беккера «Электронная теория»).

Результаты освоения дисциплины «Фотохимия» используются в следующих дисциплинах:

- Научно-исследовательская практика.
- Итоговая государственная аттестация.

3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины:

Универсальные компетенции:

- способность к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерирование новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях (УК-1);
- способность проектировать и осуществлять комплексные исследования, в том числе междисциплинарные, на основе целостного системного научного мировоззрения с использованием знаний в области истории и философии науки (УК-2);
- готовность участвовать в работе российских и международных исследовательских коллективов по решению научных и научно-образовательных задач (УК-3);
- готовность использовать современные методы и технологии научной коммуникации на государственном и иностранном языках (УК-4);
- способность планировать и решать задачи собственного профессионального и личного развития (УК-5).

Общепрофессиональные компетенции:

- способность самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий (ОПК-1);
- готовность организовать работу исследовательского коллектива в области химии и смежных наук (ОПК-2);
- готовность к преподавательской деятельности по основным образовательным программам высшего образования (ОПК-3).

В результате освоения дисциплины обучающийся должен:

иметь представление:

- о механизме дипольных переходов и структуре поля излучения точечного диполя;
- о механизмах уширения линий излучения и о влиянии уширения на процесс взаимодействия излучения с веществом;
- о причинах появления необратимости в безызлучательных переходах;
- о фотохимии атомов, двухатомных молекул, а также основных классов химических соединений

знать:

- основы теорий, описывающих безызлучательные процессы;
- основные экспериментальные приемы фотохимических исследований;

уметь:

- решать задачи оценочного типа;

- порождать новые идеи.
- анализировать информацию в данном разделе химической физики и адаптироваться к изменению научного профиля своей профессиональной деятельности.

4. Структура и содержание дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 2 зачетные единицы, всего 72 академических часа.

Раздел дисциплины	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу аспирантов и трудоемкость (в часах)			Контроль
	Лекция	Самост. работа	Экзамен	
Дипольные переходы	6	3		Домашнее задание
Форма контура линий поглощения	4	2		Домашнее задание
Общие вопросы теории безызлучательных переходов	10	5		Домашнее задание
Реакции возбужденных атомов и фотохимия двухатомных молекул	6	3		Домашнее задание
Фотохимия малых молекул и классов органических соединений	4	2		Домашнее задание
Экспериментальные методы фотохимии	2	1		Домашнее задание
		20	4	Экзамен
Итого за семестр	32	36	4	

Содержание курса

Программа курса лекций

Тема 1. Дипольные переходы

Излучение диполя. Волновая и продольная зоны. Взаимодействие излучения с веществом. Дипольное приближение. Расчет вероятности перехода. Интерпретация дипольных переходов. Свойства суперпозиционных состояний. Теория излучения Эйнштейна. Соотношение между излучательным временем жизни и интегральным поглощением.

Тема 2. Форма контура линий поглощения

Принцип неопределенности для пакетов. Ширина состояния. Затухающий осциллятор. Форма линии и естественная ширина. Допплеровское и столкновительное уширения. Контур Фойгхта. Основные законы фотохимии. Закон Ламберта-Бэра. Самообращение и самопоглощение спектральных линий. Следствия.

Приближение Борна-Оппенгеймера. Точность приближения. Кривые потенциальной энергии (Морзе, Гульберта-Гиршфельдера, Дэнгема). Экспериментальное определение. Излучательные переходы в двухатомных молекулах. Принцип Франка-Кондона. Форма спектра поглощения при возбуждении в континуум.

Тема 3. Общие вопросы теории безызлучательных переходов

Приготовление когерентного состояния. Выключение взаимодействия в момент перехода. Критерий необратимости Фрида-Джортнера. Модель Биксона-Джортнера. Большие, малые и промежуточные молекулы. Метод матрицы плотности. Двухуровневая система. Импульсный случай. Стационарный случай. Зависимость квантовых выходов от параметров задачи. Антипересечения. Отклонения от линейности зависимостей Штерна-Фольмера в областях антипересечений.

Тема 4. Реакции возбужденных атомов и фотохимия двухатомных молекул.

Реакции возбужденных атомов: Hg, O, N. Образование и тушение возбужденных атомов кислорода и азота в атмосфере.

Двухатомные молекулы. Экимеры. Типы нижних кривых потенциальной энергии двухатомных молекул. Формы спектров флуоресценции экимерных молекул. Термы экимеров благородных газов. Лазеры. Основные реакции в разряде.

Преддиссоциация. Классификация и спектроскопические проявления. Электронная и вращательная преддиссоциация.

Тема 5. Фотохимия малых молекул и классов органических соединений

Фотохимия малых молекул: CS₂, NO₂, O₃, SO₂, H₂CO. Вращательный вклад в преддиссоциацию. Колебательная преддиссоциация. Фотохимия классов органических соединений. Правила корреляции.

Тема 6. Экспериментальные методы фотохимии

Источники света. Источники сплошного и линейчатого спектра. Ртутные лампы. Переходы в атоме ртути. Лазеры. Трехуровневая и четырехуровневая схемы. Сверхлюминесценция. Модовая структура лазерного луча. Лазеры на красителях. Светофильтры: Серые, селективные; абсорбционные, интерференционные; стеклянные, жидкостные, газовые. Старение фильтров. Приемники света. ФЭУ. Вольт-амперная характеристика. Влияние температуры и электростатического потенциала на темновой ток. Экранирование от магнитного поля Земли.

5. Образовательные технологии

Виды/формы образовательных технологий.

Курс ориентирован на подготовку специалистов-химиков, занимающихся как фундаментальными, так и ориентированными фундаментальными исследованиями в области фотохимии, атмосферной химии и химической кинетики. Методика преподавания дисциплины является классической и предполагает подробный вывод всех основных уравнений и детальный разбор теоретических схем. Основой является способ, именуемый методом мела и доски. Курс является естественным объектом применения знаний аспирантов, накопленных в математических и естественнонаучных дисциплинах. Для усвоения материала применяется поэтапный и детальный подход и только в этом случае достигается глубокое проникновение обучающимся в суть предмета. Каждое лекционное занятие содержит элементы диалога преподавателя с аспирантами, поскольку каждый из участников – аспиранты или преподаватель имеют право задавать вопросы в ходе решения проблемы или задачи и участвовать в ее разборе. Таким образом, на лекциях реализуется интерактивная форма обучения. Диалог и подробные ответы на вопросы слушателей создают базис, достаточно прочный для дальнейшего развития и изучения темы.

Как показывает практика, аспирант, прослушавший курс и выдержавший пристрастный диалог на экзамене, способен включиться за рубежом в изучение динамических процессов, происходящих в аттосекундном диапазоне времен (динамика электронного возбуждения).

Насколько известно автору, подобного курса фотохимии для химиков в стране нет. Стоит отметить, что преподаватель курса является действующим специалистом в области фотохимии. Ряд лекций читается на основе полученных автором результатов, в том числе, неопубликованных.

6. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы аспирантов. Оценочные средства для контроля успеваемости

Перечень теоретических вопросов к экзамену и домашние задания

6.1. Образцы вопросов для самостоятельной работы и подготовки к экзамену

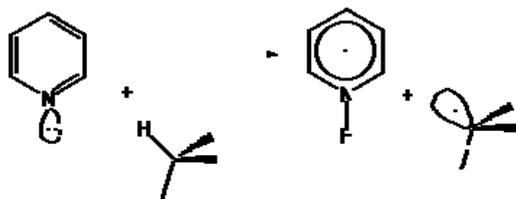
- 6.1.1. Особенности суперпозиционных состояний, зависящих от времени. Физический смысл недиагонального матричного элемента дипольного момента системы как амплитуды дипольного момента нестационарного состояния.
- 6.1.2. Классификация источников света. Источники сплошного и линейчатого спектра. Ртутные лампы: типы, спектр, условия эксплуатации и стабильность.
- 6.1.3. Рассмотреть фотохимию альдегидов, кетонов и кислот. Привести примеры их спектров поглощения и указать характерные величины коэффициентов экстинкции в основных областях поглощения. Перечислить основные продукты фотолиза и привести порядки квантовых выходов.
- 6.1.4. Сделать анализ правил корреляции Вудворда-Хоффмана. Указать пределы их применимости и обосновать необходимость корреляции состояний с сохранением числа узлов волновых функций.
- 6.1.5. Рассмотреть фотохимию бензола и его фторзамещенных, а также указать условия образования структур типа бензола Дьюара.
- 6.1.6. Получить вероятность перехода между состояниями, используя теорию возмущений, зависящих от времени.
- 6.1.7. Привести примеры свойств нестационарных состояний. Рассмотреть приготовление когерентного состояния. Определить, что такое «выключение взаимодействия в момент перехода» и каковы условия этого процесса. Что такое когерентная ширина?
- 6.1.8. Рассмотреть образование эксимеров галогенидов благородных газов и привести типы нижних кривых потенциальной энергии для них, указать виды переходов из нижнего возбужденного состояния и условия возникновения генерации излучения.
- 6.1.9. Перечислить наиболее часто встречающиеся формы контуров спектральных линий. Что такое ядро и крылья линии? Рассмотреть комбинацию естественного и доплеровского уширения (контур Фойгхта). При каких условиях ядро линии близко к доплеровскому контуру, а крылья – лорентцевы?
- 6.1.10. Применить метод матрицы плотности для определения интенсивности излучения двухуровневой системы при импульсном возбуждении. Решить задачу для резонансного случая.
- 6.1.11. Рассмотреть когерентное возбуждение флуоресценции двух связанных состояний в стационарном случае. Исследовать зависимость квантовых выходов флуоресценции и фотохимической реакции от параметров задачи.
- 6.1.12. Рассмотреть импульсное когерентное возбуждение двух связанных состояний методом матрицы плотности для нерезонансного случая. Рассмотреть варианты: скорость релаксации превышает величину матричного элемента взаимодействия между состояниями, равна ему и меньше него.
- 6.1.13. Найти отношение констант тушения флуоресценции при малых давлениях и больших давлениях, если константа релаксации возмущающего спектра в столкновениях в 7 раз больше таковой для основного спектра?
- 6.1.14. Интенсивность параллельного пучка света равна $10^{14} \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1}$, давление газа – 1 тор, коэффициент экстинкции – $6 \text{ л} \cdot \text{моль}^{-1} \text{ см}^{-1}$. Какая доля частиц распадется за 10 с в кювете длиной 10 см и диаметром 1 см?
- 6.1.15. Решить задачу об излучении затухающего осциллятора. Определить форму линии излучения и ширину.
- 6.1.16. Решить задачу об уширении Доплера.
- 6.1.17. Решить задачу об уширении линии излучения в столкновениях.
- 6.1.18. Перечислить приемники света, применяемые в рутинных измерениях. Изобразить принципиальную схему фотоэлектронного умножителя. Для фотоэлектронных умножителей рассмотреть: вольт-амперную характеристику и пробой, влияние температуры и электростатического потенциала на темновой ток. Как произвести экранирование ФЭУ от магнитного поля Земли и какие материалы использовать?

- 6.1.19. Светофильтры: серые, селективные; абсорбционные, интерференционные; стеклянные, жидкостные, газовые. Старение фильтров, способы восстановления пропускания и требования к эксплуатации. Влияние температуры на спектры пропускания фильтров.
- 6.1.20. В кювете какого диаметра будут наблюдаться эффекты когерентные в смысле Биксона-Джортнера при исследовании флуоресценции при давлении 10^{-4} тора? Плотность состояний возмущающего спектра $3 \cdot 10^{-1} \text{ 1/см}^{-1}$.
- 6.1.21. Предсказать продукты изомеризации бензола при возбуждении молекулы в полосах V_{2u} и V_{1u} .
- 6.1.22. Рассказать о следствиях полного поглощения. Что такое самообращение и самопоглощение спектральных линий? Рассмотреть случаи однородной излучающей среды, а также излучающего шнура, окруженного газом поглощающих атомов.
- 6.1.23. Привести типы электронных структур, в которых возникает лазерная генерация. Что такое сверхлюминесценция? Какой может быть поперечная и продольная модовая структура лазерного луча?
- 6.1.24. Оценить время жизни атома водорода, влетевшего в конденсатор в $2s$ состоянии?
- 6.1.25. Сформулировать критерий необратимости Фрида-Джортнера. Изложить модель Биксона-Джортнера. Дать фотофизическую классификацию молекул по критерию $\nu\rho$. Выделить особенности поведения больших и малых молекул, а также молекул, относящихся к промежуточному случаю.
- 6.1.26. Предсказать механизм и продукты распада метил-н-пропилкетона в области пл^* поглощения.
- 6.1.27. Дать классификацию типов преддиссоциации и описать ее спектроскопические проявления в поглощении и испускании.
- 6.1.28. При какой длительности импульса возбуждения можно наблюдать квантовые биения флуоресценции состояний сверхтонкой структуры и синглет-триплетных смешанных состояний в малых молекулах?
- 6.1.29. Определить условия пересечений и антипересечений поверхностей потенциальной энергии. Рассмотреть отклонения от линейности зависимостей Штерна-Фольмера в областях антипересечений. Обсудить причины невыполнения кинетического закона действующих масс в областях с сильным по сравнению с распадом взаимодействием.
- 6.1.30. Вывести соотношение между излучательным временем жизни и интегральным поглощением (соотношение Ладенбурга). Описать проявления эффекта Дугласа и дать возможные объяснения.
- 6.1.31. Предсказать продукты распада молекулы формальдегида из основного электронного состояния. Разрешен ли распад из первого электронного состояния?
- 6.1.32. Найти отношение скоростей фотодиссоциации в спектральном интервале 1 гц на частотах ν_1 и ν_2 , если $\nu_1/\nu_2 = 2$ и они соответствуют симметричным точкам нижней гауссовой кривой. Указания: верхний терм является линейным и наблюдается прямая фотодиссоциация при переходе на него из нижнего колебательного уровня основного электронного состояния, спектр источника постоянен.

6.2. Примеры задач на экзамене:

- 6.2.1. Как изменится интегральная интенсивность свечения паров атомов натрия в D_1 и D_2 линиях при помещении кюветы с парами в продольное магнитное поле. Рассмотреть как случаи линейности кривой роста, так и сильных отклонений.
- 6.2.2. Как можно приближенно определить спектр поглощения вещества, используя отсекающие фильтры?
- 6.2.3. Анодный ток ФЭУ равен $16 \cdot 10^{-9}$ А. Коэффициент усиления – 10^6 . Оценить поток света в $[\text{см}^{-2}\text{с}^{-1}]$, падающего на ФЭУ, если выход фотоэлектронов равен 1, а диаметр фотокатода 3 см.
- 6.2.4. Как будет выглядеть зависимость ϕ_{NO} от давления в кювете при фотолизе NO_2 области 4358 \AA . $\tau_0 = 3 \cdot 10^{-4}$ с, диаметр кюветы 5 мм. Давлением N_2O_4 пренебречь.

6.2.5. Пойдет ли реакция под действием света:



6.2.6. При каком давлении H_2CO интенсивность флуоресценции упадет в 2 раза, если $k_Q = 10^6 \text{ тор}^{-1}\text{с}^{-1}$, $\tau_0 = 10^{-6} \text{ с}$. Считать соотношение Штерна-Фольмера выполняющимся.

6.2.7. Качественно рассмотреть поле статического диполя, выделив продольную и поперечную составляющие. Решить задачу Герца для излучения диполя. Изобразить волновую и продольную зоны в сферических координатах. Рассчитать поток излучения.

7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

Предполагается высокая самостоятельность аспирантов при изучении курса «Фотохимия». Настоятельно рекомендуется повторить соответствующие разделы квантовой механики, электродинамики, ТФКП, решения дифференциальных уравнений, в том числе с частными производными.

Рекомендованная литература

Основная:

1. Дж. Макомбер//Динамика спектроскопических переходов. М.:Мир, 1979.-347 с.
2. A. Mitchell, M. Zemznsky//Resonance radiation and excited atoms. Cambridge, 2009, -338 p. (repr. 1934).
3. W. Demtroder//Laser spectroscopy. Basic concepts add instrumentation. 3 edition. Springer, 2003. – 987 p.
4. Х. Окабе//Фотохимия малых молекул.-М.:Мир, 1981. -500 с.
5. Э.С. Медведев, В.И. Ошеров//Теория безызлучательных переходов в многоатомных молекулах. М.:Наука, 1983. -280 с.
6. G. Herzberg//Molecular spectra and molecular structure. I. Spectra of diatomic molecules. D. van Nostrand company, Inc. Toronto, London, New York. 1957. - 658 p.
7. J. Jortner, S.A. Rice, R.M. Hochstrasser// Radiationless transition in photochemistry. - Advances in photochemistry. V.7. 1969. p.149-309.
8. K.F. Freed//Energy dependence of electronic relaxation processes in polyatomic molecules in radiationless processes in molecules and condensed phases. Editor Fong, Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg-New York,1979. P. 23-168.
9. Н.И. Сорокин//Исследование механизма фотолиза формальдегида. Влияние магнитного поля. Канд.дисс. Новосибирск, 1980.- 208 с.
10. Эксимерные лазеры. Под ред. Ч. Роуза. Проблемы прикладной физики.-М.:Мир, 1981.- 445 с.
11. Г. Герцберг//Электронные спектры и строение многоатомных молекул.- М.:Мир,1969. -772 с.
12. Дж. Калверт, Дж. Питтс//Фотохимия. -М.:Мир, 1968.- 671 с.
13. Я. Рабек//Экспериментальные методы в фотохимии и фотофизике. Т.1,2. -М.:Мир, 1982.-1150 с.

Дополнительная:

1. Handbook of photochemistry. – CRP, 2006, Boca Raton, London, New York. –633 p.
2. В. Гайтлер//Квантовая теория излучения. - М.:Мир, 1956. -491 с.
3. М. Abraham,К.Becker//The Classical theory of electricity and magnetism, London, Glasgo, 1946.-286 p.
4. Д.Н. Клышко//Физические основы квантовой электроники.-М.:Наука. 1986.-296 с.
5. В.Л. Гинзбург//О природе спонтанного излучения. УФН. 1983 140,N4. С. 687 - 698.

6. А. Гейдон//Энергии диссоциации и спектры двухатомных молекул. М.: ИЛ, 1949.-302 с.
7. И.И. Собельман//Введение в теорию атомных спектров. М.:Наука, 1977.-319 с.
8. С. Michel//Couplage singlet-triplet et relaxation electronique de l'etat 1A_1 du glyoxal. These. Orsay L'Universte de Paris-Sud, 1980.-154 p.
9. Н.Г. Преображенский//Спектроскопия оптически плотной плазмы. Новосибирск: Наука, 1971.-178 с.
10. В.С. Летохов, В.П.Чеботаев//Принципы нелинейной лазерной спектроскопии. М.:Наука, 1975,-280 с.
11. К. Блум//Теория матрицы плотности и ее приложения. -М.: Мир,1983.-248 с.
12. Р. Пирсон//Правила симметрии в химических реакциях. - М.:Мир, 1979.-592 с.
13. Одноэлектронные фотоприемники.// С.С. Ветохин, И.Р. Гулаков, А.Н. Перцев и др.- М.:Энергоатомиздат,1986.-160 с.
14. А.Н. Зайдель, Г.В. Островская, Ю.И. Островский//Техника и практика спектроскопии. - М.:Наука, 1972. -375 с.

Наиболее продвинутым аспирантам рекомендован интернет-ресурс MIT: <http://ocw.mit.edu/courses/chemistry/5-80-small-molecule-spectroscopy-and-dynamics-fall-2008/>.

8. Материально-техническое обеспечение дисциплины

- Мел и доска.
- Дополнительные материалы по просьбе аспирантов – копии требуемых разделов редких изданий.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО, принятым в ФГБУН Новосибирском институте органической химии им. Н.Н. Ворожцова Сибирского отделения Российской академии наук (НИОХ СО РАН), с учётом рекомендаций ОПОП ВО по направлению подготовки 04.06.01 «Химические науки» (Исследователь. Преподаватель-исследователь).

Автор:
доц., д.х.н. Николай Иванович Сорокин

Программа одобрена на заседании Ученого совета "19" сентября 2014 г.