

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет  
им. Н.И. Лобачевского»

Химический факультет

---

УТВЕРЖДЕНО  
решением Ученого совета ННГУ

протокол № 6 от 31.05.2023 г.

Рабочая программа дисциплины  
Введение в химию высоких энергий

---

Уровень высшего образования  
Специалитет

---

Направление подготовки / специальность  
04.05.01 - Фундаментальная и прикладная химия

---

Направленность образовательной программы  
Неорганическая химия

---

Форма обучения  
очная

---

г. Нижний Новгород  
2023 год начала подготовки

## 1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина Б1.В.03.ДВ.01.04 Введение в химию высоких энергий относится к части, формируемой участниками образовательных отношений образовательной программы.

## 2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями и индикаторами достижения компетенций)

Формируемые компетенции (код, содержание компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), в соответствии с индикатором достижения компетенции		Наименование оценочного средства	
	Индикатор достижения компетенции (код, содержание индикатора)	Результаты обучения по дисциплине	Для текущего контроля успеваемости	Для промежуточной аттестации
ПК-1-н: Способен планировать работу и выбирать адекватные методы решения научно-исследовательских задач в выбранной области химии и/или смежных с химией науках	ПК-1-н-1: Планирует отдельные стадии исследования при наличии общего плана НИР. ПК-1-н-2: Готовит элементы документации, проекты планов и программ отдельных этапов НИР. ПК-1-н-3: Выполняет стандартные операции на высокотехнологическом оборудовании для характеристики веществ и материалов.	ПК-1-н-1: Знать: основные концепции современной химии высоких энергий: механизмы взаимодействия высокоэнергетических излучений с веществом; величины, характеризующие высокоэнергетическое излучение и его взаимодействие с веществом; основные законы фотохимии; фотофизические способы дезактивации (перехода в основное состояние) возбужденных состояний молекул; особенности применения методов расчетов поверхностей потенциальной энергии в химии высоких энергий; принципы построения поверхностей потенциальной энергии молекул в различных электронных состояниях; механизмы реакций разложения веществ под действием высокоэнергетического излучения; механизмы реакций с участием молекул в возбужденных состояниях  Уметь: выбирать методы исследования в химии высоких энергий; использовать методы расчета молекул в	Задания	Экзамен: Контрольные вопросы

		<p>возбужденных состояниях методами современной квантовой химии; оценивать результаты исследований с точки зрения применений химии высоких энергий в других областях химии и химической технологии; планировать научно-исследовательские исследования в химии высоких энергий .</p> <p>Владеть приемами работы на компьютерах с современными программными комплексами, позволяющими рассчитывать свойства молекул в возбужденных состояниях; приемами работы со спектральными приборами в области химии высоких энергий; приемами расшифровки спектров поглощения и испускания.</p> <p>ПК-1-н-2: Знать об особенностях химической информации в области химии высоких энергий; какие информационные (сетевые) ресурсы существуют в фотохимии, спектроскопии и плазмохимии, фотолитографии.</p> <p>Уметь осуществлять поиск химической информации о свойствах молекул в возбужденных состояниях и их реакциях, встречающихся в химии высоких энергий; систематизировать и анализировать информацию о химии высоких энергий; использовать специализированные базы знаний и базы данных в области химии высоких энергий.</p> <p>Владеть приемами работы в</p>		
--	--	---	--	--

		<p>информационных сетях по поиску новой химической информации в области химии высоких энергий; приемами организации собственных хранилищ химической информации в области химии высоких энергий; приемами анализа результатов информационного поиска в химии высоких энергий.</p> <p>Владеть приемами работы в информационных сетях по поиску новой химической информации в области химии высоких энергий; приемами организации собственных хранилищ химической информации в области химии высоких энергий; приемами анализа результатов информационного поиска в химии высоких энергий</p> <p>ПК-1-н-3: Знать об особенностях функционирования научного и технологического оборудования в области фотохимии, спектроскопии и плазмохимии, фотолитографии.</p> <p>Уметь планировать и проводить экспериментальные и теоретические исследования в области фотохимии, спектроскопии и плазмохимии, фотолитографии.</p> <p>Владеть основными теоретическими и экспериментальными методами получения новых результатов в области фотохимии, спектроскопии и плазмохимии, фотолитографии.</p>		
--	--	---	--	--

<p><i>ПК-1-т: Способен определять способы, методы и средства решения технологических задач в рамках прикладных НИР в выбранной области химии</i></p>	<p><i>ПК-1-т-1: Предлагает использовать результаты исследований в области химии высоких энергий для решения прикладных задач</i></p> <p><i>ПК-1-т-2: Предлагает использовать результаты исследований в фотохимии для фотолитографического получения изделий микроэлектроники</i></p>	<p><i>ПК-1-т-1:</i></p> <p><i>Знать о существующих технологических задачах по применению средств химии высоких энергий для решения прикладных задач, в частности фотолитографии и плазмохимических обработок.</i></p> <p><i>Уметь применять полученные теоретические и экспериментальные знания в области химии высоких энергий для решения задач прикладной науки и технологии, например фотолитографии, научных основ создания новых резистных составов, фотополимеризующихся композиций, материалов и способов увеличения плазмохимической устойчивости материалов в различных материалах.</i></p> <p><i>ПК-1-т-2:</i></p> <p><i>Знать о существующих технологических задачах по применению средств химии высоких энергий для решения прикладных задач, в частности фотолитографии и плазмохимических обработок.</i></p> <p><i>Уметь применять полученные теоретические и экспериментальные знания в области химии высоких энергий для решения задач прикладной науки и технологии, например фотолитографии, научных основ создания новых резистных составов, фотополимеризующихся композиций, материалов и способов увеличения плазмохимической устойчивости материалов в различных материалах.</i></p>	<p><i>Задания</i></p>	<p><i>Экзамен:</i></p> <p><i>Контрольные вопросы</i></p>
--	--	---	-----------------------	--

		Владеть научными основами получения новых материалов и процессов методами химии высоких энергий		
ПК-2-н: Способен проводить информационные исследования в выбранной области химии и/или смежных с химией науках	ПК-2-н-1: Разрабатывает набор ключевых слов и выражение для поиска информации в области химии высоких энергий. ПК-2-н-2: Систематизирует информацию в области химии высоких энергий и ее применения в химических химико-технологических науках	ПК-2-н-1: Знает о поиске информации в области химии высоких энергий и особенностях описания соответственной информации при помощи ключевых слов.  Умеет определять наиболее важные понятия и объекты химии высоких энергий, создавая наборы релевантных ключевых слов и выражений.  Владеет способами эффективной работы с информационными потоками в химии высоких энергий и их адекватном хранении и представлении.  ПК-2-н-2: Знает об особенностях и основных видах информации в области химии высоких энергий и ее применений.  Умеет системно переосмысливать информацию по химии высоких энергий.  Владеет основами поиска информации по химии высоких энергий	Задания	Экзамен: Контрольные вопросы
ПК-3-н: Способен на основе критического анализа результатов НИР оценивать перспективы их практического применения и продолжения работ в выбранной	ПК-3-н-1: Выполняет стандартные операции на экспериментальном оборудовании и при помощи применения программных комплексов для проведения исследований в области химии высоких энергий. ПК-3-н-2: ПК-3-н-2.	ПК-3-н-1: Знает о наиболее перспективных областях применения фотохимически исследований экспериментального и теоретического типа, а также о перспективах их использования.	Задания	Экзамен: Контрольные вопросы

<p>области химии и/или смежных с химией науках</p>	<p>Определяет возможные направления развития работ и перспективы практического применения полученных результатов</p>	<p>Умеет проводить критический анализ результатов теоретического и экспериментального материала в химии высоких энергий.</p> <p>Владеет экспериментальными и теоретическими методами исследования в области химии высоких энергий</p> <p>ПК-3-н-2: Уметь проводить оценку результатов НИР в химии высоких энергий, с целью выявления возможности их практического применения; проводить сравнение полученных результатов НИР с литературными данными; использовать результаты НИР в химии высоких энергий в микрофотографическом изготовлении изделий микроэлектроники, микрофлюидики, модификации поверхностей, утилизации отходов производства, контроля окружающей среды; уметь определять дальнейшее направление исследований с учетом полученных в ходе НИР результатов.</p> <p>Знать способы оценки результатов НИР в области химии высоких энергий; способы компьютерного поиска результатов исследования возбужденных состояний в научно-технической и патентной литературе и информационных сетях; требования к оформлению результатов исследования в химии высоких энергий; способы изменений направлений исследований в химии высоких энергий в зависимости от полученных результатов; способы</p>		
--	--	---	--	--

		<p>вычленения из результатов исследований в химии высоких энергий для практического использования;</p> <p>способы патентования результатов НИР в химии высоких энергий.</p> <p>Владеть основами компьютерного поиска результатов исследования возбужденных состояний в научно-исследовательской и патентной литературе и информационных сетях;</p> <p>способами реализации результатов исследования в химии высоких энергий в виде научных статей, выступлений на конференциях и патентов.</p>		
--	--	--	--	--

### 3. Структура и содержание дисциплины

#### 3.1 Трудоемкость дисциплины

	очная
<b>Общая трудоемкость, з.е.</b>	<b>9</b>
<b>Часов по учебному плану</b>	<b>324</b>
в том числе	
<b>аудиторные занятия (контактная работа):</b>	
- занятия лекционного типа	<b>64</b>
- занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы)	<b>160</b>
- КСР	<b>2</b>
<b>самостоятельная работа</b>	<b>44</b>
<b>Промежуточная аттестация</b>	<b>54</b>
	<b>экзамен</b>

#### 3.2. Содержание дисциплины

(структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий)

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины	Всего (часы)	в том числе			
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них			Самостоятельная работа обучающегося, часы
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа (практические занятия/ лабора- торные	Всего	



			работы), часы		
	о ф о	о ф о	о ф о	о ф о	о ф о
Тема 1. Предмет химии высоких энергий.	12	2	8	10	2
Тема 2. Классификация процессов химии высоких энергий. Первичные и вторичные процессы в химии высоких энергий.	12	2	8	10	2
Тема 3. Генерирование возбужденных состояний под действием света.	14	2	8	10	4
Тема 4. Фотофизические процессы распада возбужденных состояний.	16	4	8	12	4
Тема 5. Метод поверхностей потенциальной энергии как основа теоретического исследования реакций химии высоких энергий.	27	8	15	23	4
Тема 6. Реакции изомеризации и перегруппировки.	20	6	12	18	2
Тема 7. Реакция замещения с участием возбужденных состояний.	20	6	10	16	4
Тема 8. Перенос атомов в химии высоких энергий.	24	4	12	16	8
Тема 9. Окислительно-восстановительные реакции в химии высоких энергий.	27	6	17	23	4
Тема 10. Реакции фотохимического присоединения и фотополимеризации.	20	6	10	16	4
Тема 11. Роль радикальных и бирадикальных частиц в химии высоких энергий.	18	4	12	16	2
Тема 12. Литография как раздел химии высоких энергий.	32	10	20	30	2
Тема 13. Перспективные направления химии высоких энергий.	26	4	20	24	2
Аттестация	54				
КСР	2			2	
Итого	324	64	160	226	44

Практические занятия /лабораторные работы организуются, в том числе, в форме практической подготовки, которая предусматривает участие обучающихся в выполнении отдельных элементов работ, связанных с будущей профессиональной деятельностью.

На проведение практических занятий / лабораторных работ в форме практической подготовки отводится: очная форма обучения - 48 ч.

#### **4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся**

Зеленцов С.В., Зеленцова Н.В. Современная фотолитография: Учебно-методический материал по программе повышения квалификации «Новые материалы электроники и оптоэлектроники для информационно-телекоммуникационных систем». - Нижний Новгород, ННГУ, 2006. - 56 с.

#### **5. Фонд оценочных средств для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)**

##### **5.1 Типовые задания, необходимые для оценки результатов обучения при проведении текущего контроля успеваемости с указанием критериев их оценивания:**

##### **5.1.1 Типовые задания (оценочное средство - Задания) для оценки сформированности компетенции ПК-1-н**

Задание 1. Опишите научные основы плазмохимического получения неорганических материалов.

Задание 2. Опишите механизмы фотоокисления при облучении кристаллических оксидов.

Задание 3. Опишите механизмы, лежащие в основе применения халькогенидных пленок в качестве фоторезистов.

Задание 4. Опишите механизмы образования изображения в галогенсеребрянных материалах.

### **5.1.2 Типовые задания (оценочное средство - Задания) для оценки сформированности компетенции ПК-1-т**

Задание 1. Охарактеризуйте фотолитографические процессы на основе привитой полимеризации.

Задание 2. Опишите способы увеличения плазмостойкости резистных масок фоторезистов.

Задание 3. Опишите наиболее актуальные проблемы современной фотолитографии.

Задание 4. Опишите наиболее актуальные проблемы современной электронной литографии.

### **5.1.3 Типовые задания (оценочное средство - Задания) для оценки сформированности компетенции ПК-2-н**

1. Опишите поглощение и испускание высокоэнергетического излучения
2. Сформулируйте закон Бугера-Ламберта-Бера в интегральной и дифференциальной форме. Назовите границы применимости этого закона.
3. Что такое сечение захвата излучения в химии высоких энергий?
4. Сформулируйте закон Гроткуса-Дрепера. Опишите его методологическую роль в химии высоких энергий.
5. Дайте определение квантового выхода в химии высоких энергий. Покажите, как он может применяться в фотохимии.
6. Сформулируйте закон Штарка-Эйнштейна. В чем состоит его значение для современной фотохимии.
7. Сформулируйте закон Бунзена-Роско.
8. Методологическое значение закона Эйнштейна.
9. Диаграмма Яблонского. Временные характеристики основных физических процессов распада возбужденных состояний молекул.
10. Уравнения Штерна-Фольмера.
11. Понятие о теории излучения Эйнштейна.
12. Безызлучательные процессы дезактивации возбужденных состояний. Внутренняя конверсия, колебательная релаксация интеркомбинационная конверсия.
13. Нестационарная теория возмущений как методологическая основа для описания взаимодействия света с веществом.
14. Понятие о дипольном моменте электронного перехода. Коэффициенты Эйнштейна А и В.
15. Квантово-механическая теория правил отбора электронных переходов.

#### 16. Экситоны как возбужденные состояния. Ридберговы возбужденные состояния.

Задание 1. Опишите физико-химические основы получения изображения в позитивных фоторезистах.

Задание 2. Опишите физико-химические основы получения изображения в негативных фоторезистах.

Задание 3. Опишите механизмы отрыва атома водорода возбужденными молекулами.

Задание 4. Опишите методы фотостабилизации полимерных материалов.

Задание 5. Опишите формализм фотохимической кинетики с использованием дифференциальной формы закона Бугера-Ламберта-Бера в приближении ограниченной подвижности реагентов.

Задание 6. В чем состоит значение квантово-химических исследований для плазмохимии.

Задание 7. В чем состоит значение квантовой химии в фотохимии.

Задание 8. Опишите стратегию поиска переходных состояний в химии высоких энергий при помощи методов квантовой химии.

#### **5.1.4 Типовые задания (оценочное средство - Задания) для оценки сформированности компетенции ПК-3-н**

1. Фотофизические процессы распада возбужденных состояний в химии высоких энергий.

2. Испускание света атомами и молекулами. Флуоресценция и фосфоресценция.

3. Перенос энергии возбуждения. Фотосенсибилизация. Метод фотосенсибилизации для определения энергий в возбужденных состояниях.

4. Правило запрета по мультиплетности. Синглет-синглетные, триплет-триплетные и синглет-триплетные переходы. Эффект тяжелого атома.

5. Возбужденные состояния с переносом заряда.

Задание 1. Изучите механизмы фотохимического инициирования образования полимерных материалов.

Задание 2. Опишите механизм плазмохимического образования полимеров из паров мономеров.

Задание 3. Предложите алгоритм проведения квантово-химических исследований в химии высоких энергий.

Задание 4. Оцените роль синглетного кислорода в реакциях фотоокисления органических веществ.

#### Критерии оценивания (оценочное средство - Задания)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Задание выполнено полностью, студент выполнил задание и показал знание теоретического материала для его выполнения
не зачтено	Студент не выполнил задание и не знает теоретического материала для его выполнения и способов его использования

#### 5.2. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине при промежуточной аттестации

##### Шкала оценивания сформированности компетенций

Уровень сформированности компетенций (индикатора достижения компетенций)	плохо	неудовлетворительно	удовлетворительно	хорошо	очень хорошо	отлично	превосходно
	не зачтено		зачтено				
<u>Знания</u>	Отсутствие знаний теоретического материала. Невозможность оценить полноту знаний вследствие отказа обучающегося от ответа	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки	Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько несущественных ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Ошибок нет.	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки.

<u>Умения</u>	Отсутствие минимальных умений. Невозможность оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки	Продемонстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, но не в полном объеме	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с отдельным и несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов
<u>Навыки</u>	Отсутствие базовых навыков. Невозможность оценить наличие навыков вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки. Имели место грубые ошибки	Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторыми и недочетами	Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми и недочетами	Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов	Продемонстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов	Продемонстрирован творческий подход к решению нестандартных задач

### Шкала оценивания при промежуточной аттестации

Оценка		Уровень подготовки
зачтено	<b>превосходно</b>	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно», продемонстрированы знания, умения, владения по соответствующим компетенциям на уровне выше предусмотренного программой
	<b>отлично</b>	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично».
	<b>очень хорошо</b>	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо»
	<b>хорошо</b>	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо».
	<b>удовлетворительно</b>	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «удовлетворительно», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «удовлетворительно»
не зачтено	<b>неудовлетворительно</b>	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно».
	<b>плохо</b>	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

### 5.3 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения на промежуточной аттестации

#### 5.3.1 Типовые задания, выносимые на промежуточную аттестацию:

##### Оценочное средство - Контрольные вопросы

##### Экзамен

##### Критерии оценивания (Контрольные вопросы - Экзамен)

Оценка	Критерии оценивания
превосходно	Уровень знаний и умений в объеме, превышающем программу подготовки. Владение знаниями и умениями
отлично	Уровень знаний и умений в объеме, соответствующем программе подготовки, без ошибок.
очень хорошо	Уровень знаний и умений в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько несущественных ошибок
хорошо	Уровень знаний и умений в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок
удовлетворительно	Минимально допустимый уровень знаний и умений. Допущено много негрубых ошибки.
неудовлетворительно	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки.
плохо	Отсутствие знаний теоретического материала. Невозможность оценить полноту знаний вследствие отказа обучающегося от ответа.

**Типовые задания (Контрольные вопросы - Экзамен) для оценки сформированности компетенции ПК-1-н (Способен планировать работу и выбирать адекватные методы решения научно-исследовательских задач в выбранной области химии и/или смежных с химией науках)**

1. Предмет химии высоких энергий. Общая характеристика фотохимии, радиационной химии и плазмохимии.
2. Что такое первичные и вторичные процессы в химии высоких энергий?
3. Что такое сечение захвата излучения в химии высоких энергий
- 4 Сформулируйте закон Гроткуса-Дрепера. Опишите его методологическую роль в химии высоких энергий.
5. Дайте определение квантового выхода в химии высоких энергий. Покажите, как он может применяться в фотохимии.
6. Сформулируйте закон Штарка-Энштейна. В чем состоит его значение для современной фотохимии.

**Типовые задания (Контрольные вопросы - Экзамен) для оценки сформированности компетенции ПК-1-т (Способен определять способы, методы и средства решения технологических задач в рамках прикладных НИР в выбранной области химии)**

1. Основы формальной фотохимической кинетики.
2. Механизмы химической диссоциации в возбужденных состояниях. Механизм термического действия света. Механизм оптической диссоциации. Механизм диссоциации в диссоциативном возбужденном состоянии. Механизм преддиссоциации. Фотоионизация.
3. Реакция замещения с участием возбужденных состояний. Классификация механизмов замещения в химии высоких энергий.
4. Роль окислительно-восстановительных реакций в химии высоких энергий.
5. Плазмохимическое окисление как способ синтеза новых соединений и модификации поверхностей материалов.
6. Механизм формирования резистного изображения в электронных резистах.
7. Решение уравнений фотохимической кинетики для систем с ограниченной подвижностью реагентов.
8. Уравнения Дилла в моделировании процессов фотолитографии.
9. Применение флюоресценции и фосфоресценции в химии высоких энергий, химии, биологии, аналитической химии и медицинской химии.
10. Эффект вынужденного излучения. Лазеры.
11. Особенности фотохимической диссоциации в конденсированных средах. Фотография.
12. Диссоциация в ( $n, \pi^*$ )-возбужденном состоянии. Роль неподеленной электронной пары гетероатома. Фотохимические реакции в альдегидах и кетонах. Механизм распада по Норришу I и II. Фотохимические реакции азотсодержащих соединений.
13. Фотохимический распад орто-нафтохинондиазидов – основы позитивных фоторезистов.
14. Твердофазные реакции цис-транс-изомеризации. Использование систем, способных к цис-транс-изомеризации в качестве структурных зондов.
15. Явление фотохромизма.
16. Фотохимическое окисление органических соединений. Фотохимическое окисление органических соединений с участием синглетного кислорода.
17. Плазмохимический синтез полимерных пленок – путь к получению электронных резистов нового поколения. Плазмохимический синтез халькогенидных стекол.
18. Механизмы образования изображения в электронных резистах на основе полимерных пленок. Электронная литография как важнейшее применение химии высоких энергий.
19. Литография как раздел химии высоких энергий.
20. Основные стадии литографического процесса.
21. Резисты и их функциональные свойства. Чувствительность резиста к действию высокоэнергетического излучения. Разрешающая способность. Контраст фоторезиста. Стойкость к химическому и плазмохимическому травлению. Адгезия резистов.
22. Увеличение-уменьшение адгезии резистов при помощи плазмохимических обработок.
23. Механизмы формирования изображения в позитивных фоторезистах.
24. Механизмы формирования изображения в негативных фоторезистах.
26. Механизм формирования резистного изображения в электронных резистах.
25. Характеристика современной литографии как основной стадии микроэлектронной технологии.

**Типовые задания (Контрольные вопросы - Экзамен) для оценки сформированности компетенции ПК-2-н (Способен проводить информационные исследования в выбранной области химии и/или смежных с химией науках)**





1. Опишите поглощение и испускание высокоэнергетического излучения.
2. Сформулируйте закон Бугера-Ламберта-Бера в интегральной и дифференциальной форме.
3. Что такое сечение захвата излучения в химии высоких энергий.
4. Сформулируйте закон Гротгуса-Дрепера. Опишите его методологическое значение для химии высоких энергий.
5. Дайте определение квантового выхода в химии высоких энергий. Покажите, как он может применяться в фотохимии.
6. Сформулируйте закон Штерна-Эйнштейна. В чем состоит его значение для современной фотохимии.
7. Сформулируйте закон Бунзена-Роско.
8. Методологическое значение закона Эйнштейна.
9. Диаграмма Яблонского. Временные характеристики основных физических процессов распада возбужденных состояний молекул.
10. Уравнения Штерна-Фольмера.
11. Безызлучательные процессы дезактивации возбужденных состояний. Внутренняя конверсия, колебательная релаксация интеркомбинационная конверсия.
12. Понятие о теории излучения Эйнштейна.
13. Нестационарная теория возмущений как методологическая основа для описания взаимодействия света с веществом.
14. Понятие о дипольном моменте электронного перехода. Коэффициенты Эйнштейна A и B.
15. Квантово-механическая теория правил отбора электронных переходов.
16. Номенклатура Каша возбужденных состояний.
17. Принцип Франка-Кондона и его нарушение.
18. Распределение электронной плотности в молекулах, находящихся в возбужденных состояниях. Кислотно-основные свойства в возбужденных состояниях.
19. Принцип Борна-Оппенгеймера. Концепция поверхностей потенциальной энергии как методологическая основа химии высоких энергий.
20. Классификация точек на поверхности потенциальной энергии. Область исходных веществ, область переходного состояния, область продуктов реакции. Понятие о реакционном пути. Неоднозначность с определением пути реакции.
21. Адиабатические и неадиабатические процессы в химии высоких энергий.
22. Описание диссоциативных процессов при помощи метода поверхностей потенциальной энергии. Проблема выбора метода расчета поверхностей потенциальной энергии.
23. Правила корреляции при фотохимической диссоциации.
24. Диссоциация в ( $\sigma, \sigma^*$ )- возбужденном состоянии. Фотохимия насыщенных углеводородов.
25. Диссоциация в ( $\pi, \pi^*$ )-возбужденном состоянии. Фотохимия олефинов.
26. Циклизация возбужденных состояний. Реакция Циммермана. Реакция циклизации по Янгу.
27. Внутримолекулярный перенос атомов. Фототаутомерия.
28. Расщепление молекулы на радикалы и их последующая рекомбинация без выхода в реакционный объем.
29. Фотоиндуцированное радикальное замещение. Цепное радикальное фотохимическое замещение. Фотохимическое радикальное внутримолекулярное замещение.
30. Гетеролитическое фотохимическое замещение в ароматических соединениях.
31. Фотохимическое замещение в комплексных соединениях металлов.

32. Внутримолекулярный и межмолекулярный перенос атома водорода молекулами в ( $n, \pi^*$ )-возбужденных состояниях. Роль триплетного состояния. Отрыв атома водорода возбужденными молекулами в состояниях ( $\pi, \pi^*$ )- типа.
33. Роль отрыва атома водорода радикальными частицами в химии высоких энергий.
34. Механизмы процессов переноса атомов водорода. Одностадийный перенос атома водорода. Перенос электрона, сопряженный с переносом протона. Туннельный перенос атомов водорода.
35. Электронный перенос как стадия окислительно-восстановительных реакций. Теория Маркуса.
36. Фотохимическое восстановление химических соединений.
37. Фотохимическое окисление с участием неорганических оксидов.
38. Классификация реакций фотоприсоединения. Присоединение типа  $\pi + \sigma$ . Присоединение типа  $\pi + \pi$  (циклоприсоединение).
39. Фотохимическое присоединение в твердом состоянии. Правило Шмидта.
40. Плазмохимические реакции присоединения.
41. Общая характеристика химических реакций, типичных для радикалов в химии высоких энергий. Реакции рекомбинации. Реакции диспропорционирования. Реакция элиминирования малых молекул радикалами.
42. Экситоны как возбужденные состояния. Ридберговы возбужденные состояния.

**Типовые задания (Контрольные вопросы - Экзамен) для оценки сформированности компетенции ПК-3-н** (Способен на основе критического анализа результатов НИР оценивать перспективы их практического применения и продолжения работ в выбранной области химии и/или смежных с химией науках)

1. Фотофизические процессы распада возбужденных состояний в химии высоких энергий.
2. Испускание света атомами и молекулами. Флуоресценция и фосфоресценция.
3. Перенос энергии возбуждения. Фотосенсибилизация. Метод фотосенсибилизации для определения энергий в возбужденных состояниях.
4. Правило запрета по мультиплетности. Синглет-синглетные, триплет-триплетные и синглет-триплетные переходы. Эффект тяжелого атома.
5. Возбужденные состояния с переносом заряда.
6. Диссоциация в ( $n, \sigma^*$ )- возбужденном состоянии. Фотохимические реакции галоген-содержащих соединений. Роль неподеленной электронной пары гетероатома. Фотохимические реакции азотсодержащих соединений. Фотохимическая диссоциация кислородсодержащих соединений. Фотохимическая диссоциация серосодержащих соединений.
7. Механизмы реакций изомеризации и перегруппировок молекул в возбужденных состояниях с точки зрения поверхностей потенциальной энергии. Классификация по механизму реакционного акта.
8. Цис-транс-изомеризация в возбужденных состояниях.
9. Реакция валентная изомеризация молекул в возбужденных состояниях.
10. Роль переноса атома водорода в инициировании радикальной полимеризации.

#### **6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)**

Основная литература:

1. Зеленцов Сергей Васильевич. Введение в фотохимию : учебное пособие / ННГУ. - Н. Новгород : Изд-во Нижегород. гос. ун-та, 2006. - 183 с. - В надзаг.: Национальный проект "Образование". Инновационная образовательная программа Нижегород. ун-та. - ISBN 5-85746-930-9 : 27-00., 2 экз.

2. Зеленцов С. В. Фотохимические реакции органических соединений : учеб. пособие / Нижегородский государственный университет им. Н. И. Лобачевского. - Н. Новгород : Изд-во ННГУ, 2007. - 188 с. - 26.00., 2 экз.
3. Уэйн Ричард. Основы и применение фотохимии / пер. с англ. Л. Н. Верещагиной, А. П. Разживина ; под ред. Д. Н. Никогосяна. - М. : Мир, 1991. - 304 с. : ил. - 12.80., 1 экз.
4. Введение в фотохимию органических соединений / под ред. Г. О. Беккера ; пер. с нем. Э. Р. Захса и В. С. Кузнецова ; под ред. А. В. Ельцова. - Л. : Химия, Ленингр. отд-ние, 1976. - 379 с. : ил. - 2.46., 2 экз.
5. Барлтроп Дж. Возбужденные состояния в органической химии / пер. с англ. М. В. Козьменко, Н. А. Садовского ; под ред. М. Г. Кузьмина. - М. : Мир, 1978. - 446 с. : ил. - 2.80., 1 экз.
6. Бугаенко Ленар Тимофеевич. Химия высоких энергий / под общ. ред. Л. С. Полака. - М. : Химия, 1988. - 364, [1] с. : ил. - ISBN 5-7245-0101-5 (в пер.) : 3.90., 1 экз.

#### Дополнительная литература:

1. Окабе Х. Фотохимия малых молекул / пер. с англ. М. В. Козьменко, Н. А. Садовского ; под ред. М. Г. Кузьмина. - М. : Мир, 1981. - 500 с. : ил. - 4.20., 1 экз.
2. Барачевский Валерий Александрович. Фотохромизм и его применение. - М. : Химия, 1977. - 279 с. : ил. - 3.40., 1 экз.
3. Фотохимические процессы в слоях / под ред. А. В. Ельцова. - Л. : Химия, Ленингр. отд-ние, 1978. - 232 с. : с граф. - 2.80., 1 экз.

Программное обеспечение и Интернет-ресурсы (в соответствии с содержанием дисциплины):

Программный комплекс NWChem 6.8, Gaussian 03.

<http://www.chem.msu.su/rus/teaching/kinetics-exp/photochem/photochem.pdf>

<http://www.photonics.ru/common/history.aspx>

<https://edu.epfl.ch/coursebook/en/photochemistry>

<https://www.degruyter.com/downloadpdf/>

#### **7. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)**

Учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных образовательной программой, оснащены мультимедийным оборудованием (проектор, экран), техническими средствами обучения, компьютерами, специализированным оборудованием: реактивы и химическая посуда кварцевые реакторы источники облучения УФ сетом УФ спектрофотометр ИК-Фурье сектрофотометр Установка плазмохимической обработки диодные источники света установка для определения квантового выхода набор светофильтров

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечены доступом в электронную информационно-образовательную среду.

Программа составлена в соответствии с требованиями ОС ННГУ по специальности 04.05.01 - Фундаментальная и прикладная химия.

Автор(ы): Зеленцов Сергей Васильевич, доктор химических наук, доцент.

Заведующий кафедрой: Маркин Алексей Владимирович, доктор химических наук.

Программа одобрена на заседании методической комиссии от 25.05.2023 г., протокол № 7.