

**МИНОБРНАУКИ РОССИИ**  
**Федеральное государственное бюджетное образовательное**  
**учреждение высшего образования**  
**«Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова»**

Институт фундаментальной и прикладной химии

УТВЕРЖДАЮ  
Декан факультета  
биологии и экологии



О.А. Маракаев

«19» мая 2023 г.

**Рабочая программа дисциплины**

«Химия свободных радикалов»

программы подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре  
по научной специальности 1.4.4 Физическая химия

Форма обучения очная

Программа одобрена на заседании института  
фундаментальной и прикладной химии  
протокол № 7 от «17» апреля 2023 года

Ярославль

### 1. Цели освоения дисциплины

Целями освоения дисциплины «Химия свободных радикалов» являются формирование у аспирантов представлений о строении и свойствах свободных радикалов, а также основных закономерностей химических процессов с участием свободных радикалов.

### 2. Место дисциплины в структуре программы аспирантуры

Данная дисциплина является дисциплиной по выбору.

### 3. Планируемые результаты освоения дисциплины

В результате освоения дисциплины аспирант должен:

Знать:

- взаимосвязь структуры и свойств свободных радикалов;
- механизмы химических процессов с участием свободных радикалов.

Уметь:

- идентифицировать свободные радикалы;
- проводить кинетический анализ химических процессов с участием свободных радикалов.

Владеть:

- кинетическими приемами и методами исследования элементарных реакций свободных радикалов.

### 4. Объем, структура и содержание дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 зачетные единицы, 108 акад. часов.

№ п/п	Темы (разделы) дисциплины, их содержание	Семестр	Виды учебных занятий и их трудоемкость (в академических часах)					Формы текущего контроля успеваемости Форма промежуточной аттестации (по семестрам)
			лекции	практические	лабораторные	консультации	самостоятельная работа	
1.	Введение. Современные представления химии радикалов.	2	1				20	Собеседование, реферат
2.	Пространственная структура и физические свойства свободных радикалов.	2	2			1	20	Собеседование, реферат
3.	Реакции атомов и свободных радикалов в газовой фазе и растворе.	2	2			1	30	Собеседование, реферат
4.	Свободные радикалы как катализаторы. Реакции свободных радикалов с металлами.	2	1				20	Собеседование, контрольная работа, реферат
							<b>10</b>	<b>Зачет</b>
	<b>Всего</b>		<b>6</b>			<b>2</b>	<b>100</b>	<b>Зачет</b>

## Содержание разделов дисциплины

1. *Введение. Современные представления химии радикалов.*
  - 1.1. Введение. История открытия свободных радикалов.
  - 1.2. Открытие атомарного водорода. Открытие алкильных радикалов.
  - 1.3. Современные представления химии радикалов.
  - 1.4. Общие методы получения радикалов.
2. *Пространственная структура и физические свойства свободных радикалов.*
  - 2.1. Алкильные и циклоалкильные радикалы.
  - 2.2. Бициклоалкильные и мостиковые радикалы.
  - 2.3. Аллильные и винильные радикалы.
  - 2.4. Гетерорадикалы: силильные, азотсодержащие и фосфорсодержащие.
  - 2.5. Атомный магнетизм и магнитная восприимчивость свободных радикалов.
3. *Реакции атомов и свободных радикалов в газовой фазе и растворе.*
  - 3.1. Реакции атомарного водорода и кислорода.
  - 3.2. Реакции атомарных галогенов. Галогенирование углеводородов.
  - 3.3. Реакции атомарного натрия.
  - 3.4. Реакции рекомбинации и диспропорционирования алкильных радикалов.
  - 3.5. Реакции присоединения алкильных радикалов.
  - 3.6. Реакции отщепления алкильными радикалами.
  - 3.7. Радикальные реакции окисления и восстановления.
  - 3.8. Реакции свободных арильных радикалов.
  - 3.9. Реакции гетерорадикалов.
4. *Свободные радикалы как катализаторы. Реакции свободных радикалов с металлами.*
  - 4.1. Реакции, инициируемые атомами галогенов.
  - 4.2. Перекиси как катализаторы.
  - 4.3. Реакции радикалов на поверхности металлов.
  - 4.4. Электродные реакции с участием радикалов.

## **5. Образовательные технологии, в том числе технологии электронного обучения и дистанционные образовательные технологии, используемые при осуществлении образовательного процесса по дисциплине**

В процессе обучения используются следующие образовательные технологии:

**Вводная лекция** – дает первое целостное представление о дисциплине и ориентирует студента в системе изучения данной дисциплины. Дается краткий обзор курса, история развития науки и практики, достижения в этой сфере, имена известных ученых, излагаются перспективные направления исследований. На этой лекции высказываются методические и организационные особенности работы в рамках данной дисциплины, а также дается анализ рекомендуемой литературы.

**Академическая лекция с элементами лекции-беседы** – последовательное изложение материала, осуществляемое преимущественно в виде монолога преподавателя. Элементы лекции-беседы обеспечивают контакт преподавателя с аудиторией, что позволяет привлекать внимание аспирантов к наиболее важным темам дисциплины, активно вовлекать их в учебный процесс, контролировать темп изложения учебного материала в зависимости от уровня его восприятия.

**Проблемная лекция** – изложение материала, предполагающее постановку проблемных и дискуссионных вопросов, освещение различных научных подходов, связанные с различными моделями интерпретации изучаемого материала. Проблемная лекция начинается с вопросов, с постановки проблемы, которую в ходе изложения материала необходимо решить. В лекции сочетаются проблемные и информационные начала. При этом процесс познания аспирантом в сотрудничестве и диалоге с преподавателем приближается к поисковой, исследовательской деятельности.

**Консультации** – вид учебных занятий, являющийся одной из форм контроля самостоятельной работы аспирантов. На консультациях по просьбе аспирантов рассматриваются наиболее сложные разделы дисциплины, преподаватель отвечает на вопросы аспирантов, которые возникают у них в процессе самостоятельной работы.

В процессе обучения используются следующие технологии электронного обучения и дистанционные образовательные технологии:

**Электронный учебный курс «Химия свободных радикалов» в LMS Электронный университет Moodle ЯрГУ**, в котором:

- представлены задания для самостоятельной работы аспирантов по темам дисциплины;
- представлен список литературы, рекомендуемой для освоения дисциплины;
- представлена информация о форме и времени проведения консультаций по дисциплине в случае их проведения в дистанционном формате в режиме онлайн.

## **6. Перечень основной и дополнительной литературы, ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет» (при необходимости), рекомендуемых для освоения дисциплины**

### **а) основная литература**

1. Плисс Е.М., Денисов Е.Т. Кинетика гомолитических жидкофазных реакций: учеб. пособие. – Ярославль: ЯрГУ, 2015. – 310 с.  
<http://www.lib.uniyar.ac.ru/edocs/iuni/20150304.pdf>
2. Черепанов В.А., Аксенова Т.В. Химическая кинетика : учебное пособие для вузов. – Москва: Издательство Юрайт, 2021. – 130 с. <https://urait.ru/bcode/473812>

### **б) дополнительная литература**

1. Бажин Н.М., Салихов К.М. ЭПР. Релаксация свободных радикалов в жидкостях: (спецкурс для студентов-химиков и физиков). – Новосибирск: Новосибирский гос. ун-т., 1973. – 128 с. [http://lib.uniyar.ac.ru/opac/bk\\_cat\\_card.php?rec\\_id=1535954&cat\\_cd=YARSU](http://lib.uniyar.ac.ru/opac/bk_cat_card.php?rec_id=1535954&cat_cd=YARSU)
2. Нонхибел Д., Уолтон Дж. Химия свободных радикалов: структура и механизм реакций. / пер. с англ. М. Г. Гольдфельда; под ред. И. П. Белецкой – М.: Мир, 1977. – 606 с. [http://lib.uniyar.ac.ru/opac/bk\\_cat\\_card.php?rec\\_id=1570733&cat\\_cd=YARSU](http://lib.uniyar.ac.ru/opac/bk_cat_card.php?rec_id=1570733&cat_cd=YARSU)
3. Свободные радикалы в биологии: в 2 т. / ред. У. Прайор. Т. 1. – М.: Мир, 1979. – 318 с. [http://lib.uniyar.ac.ru/opac/bk\\_cat\\_card.php?rec\\_id=1900030&cat\\_cd=YARSU](http://lib.uniyar.ac.ru/opac/bk_cat_card.php?rec_id=1900030&cat_cd=YARSU)
4. Денисов Е. Т. Константы скорости гомолитических жидкофазных реакций. – М.: Наука, 1971. – 712 с. [http://lib.uniyar.ac.ru/opac/bk\\_cat\\_card.php?rec\\_id=1590134&cat\\_cd=YARSU](http://lib.uniyar.ac.ru/opac/bk_cat_card.php?rec_id=1590134&cat_cd=YARSU)

### **в) ресурсы сети «Интернет»**

1. Автоматизированная библиотечно-информационная система «БУКИ-NEXT»  
[http://www.lib.uniyar.ac.ru/opac/bk\\_cat\\_find.php](http://www.lib.uniyar.ac.ru/opac/bk_cat_find.php)

## **7. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине**

Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине включает в свой состав следующие помещения:

- учебные аудитории для проведения лекций;
- учебные аудитории для проведения групповых и индивидуальных консультаций;
- учебные аудитории для проведения промежуточной аттестации;
- помещения для самостоятельной работы.

Помещения для самостоятельной работы оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду ЯрГУ.

Автор:

Профессор, директор ИФиПХ, д.х.н.



Плисс Е.М.

**Приложение № 1 к рабочей программе дисциплины  
«Химия свободных радикалов»**

**Оценочные средства для проведения текущей и/или промежуточной аттестации  
аспирантов по дисциплине**

**1. Контрольные задания и (или) иные материалы,  
используемые в процессе текущего контроля успеваемости**

Текущий контроль осуществляется путем собеседования (проводится в соответствии с перечнем вопросов к зачету) и контрольной работы. Также для самостоятельной работы аспирантам предлагается написание реферата по одной из тем.

**Темы рефератов**

1. Открытие атомарного водорода
2. Открытие свободных алкильных радикалов
3. Семихиноны: образование и реакции в растворе.
4. Свободнорадикальное замещение в органической химии.
5. Анион-радикалы: методы получения и свойства.
6. Реакции атомов галогенов.
7. Процессы перегруппировки и изомеризации свободных радикалов.
8. Реакции рекомбинации и диспропорционирования свободных радикалов.
9. Реакции гетерорадикалов.
10. Процессы фрагментации свободных радикалов.
11. Процессы циклизации свободных радикалов.
12. Электрохимические процессы с участием свободных радикалов.

**Примеры вопросов к контрольной работе**

1. Какие радикалы образуются при отрыве атома водорода от олеиновой и линолевой кислот (в процессе перекисного окисления)? Какие процессы приводят в последнем случае к образованию диеновых конъюгатов?

2. Напишите механизм реакции хлорирования пропана. Выведите кинетическое уравнение для данного процесса. Как можно определить соотношение констант скорости отрыва атома водорода от первичного и вторичного атомов углерода из соотношения концентраций продуктов реакции?

**Правила выставления оценки по результатам собеседования**

- *Отлично* выставляется, если продемонстрированы знание вопроса и самостоятельность мышления, ответ соответствует требованиям правильности, полноты и аргументированности.
- *Хорошо* выставляется при неполном, недостаточно четком и убедительном, но в целом правильном ответе.
- *Удовлетворительно* выставляется, если обучающийся отвечает неконкретно, слабо аргументировано и не убедительно, хотя и имеется какое-то представление о вопросе.
- *Неудовлетворительно* выставляется, если обучающийся отвечает неправильно, нечетко и неубедительно, дает неверные формулировки, в ответе отсутствует какое-либо представление о вопросе.

**Правила выставления оценки за контрольную работу**

- *Отлично* выставляется, если обучающийся выполнил работу (общий процент выполнения заданий не менее 90%), демонстрирует знания теоретического и практического материала по теме работы, даёт правильный алгоритм решения.
- *Хорошо* выставляется, если обучающийся выполнил работу с небольшими недочетами

(общий процент выполнения заданий не менее 70%), демонстрирует знания теоретического и практического материала по теме работы, допуская незначительные неточности при их применении и выборе алгоритма решения.

- *Удовлетворительно* выставляется, если обучающийся в целом выполнил работу (общий процент выполнения заданий не менее 50%), допуская существенные недочеты, в том числе при выборе алгоритма решения.

- *Неудовлетворительно* выставляется, если обучающийся не справился с выполнением задания (общий процент выполнения заданий менее 50%), не смог выбрать алгоритм его решения, продемонстрировав существенные пробелы в знаниях основного учебного материала.

### **Правила оценивания реферата**

- *Отлично* выставляется, если реферат оформлен с учётом всех требований, подготовлен кратко, научно, логично, в дискуссии по реферату обучающийся может ответить на все вопросы оппонентов.

- *Хорошо* выставляется, если реферат оформлен с учётом всех требований, имеются замечания по подготовке доклада к реферату, в дискуссии по реферату обучающийся ответил на часть вопросов оппонентов.

- *Удовлетворительно* выставляется, если реферат оформлен с замечаниями по требованиям, имеются замечания по подготовке доклада к реферату, в дискуссии по реферату обучающийся не ответил на вопросы оппонентов.

- *Неудовлетворительно* выставляется, если реферат оформлен с замечаниями по требованиям, имеются замечания по подготовке доклада к реферату, либо доклад отсутствует, в дискуссии по реферату обучающийся не ответил на вопросы оппонентов, либо отказался участвовать в дискуссии, реферат отсутствует.

## **2. Список вопросов и (или) заданий для проведения промежуточной аттестации**

### **Список вопросов к зачету:**

1. Современные представления химии радикалов.
2. Методы идентификации свободных радикалов.
3. Пространственная структура свободных радикалов.
4. Идентификация свободных алкильных радикалов.
5. Общие методы получения свободных радикалов.
6. Физические свойства свободных радикалов.
7. Атомный магнетизм.
8. Магнитная восприимчивость.
9. Стабильность свободных радикалов.
10. Характеристика реакций, идущих через свободные нейтральные радикалы.
11. Диссоциация в электрическом разряде и спектральный анализ.
12. Атомарный водород. Реакции атомарного водорода.
13. Атомарный кислород. Реакции атомарного кислорода.
14. Атомарный хлор. Реакции атомарного хлора.
15. Реакции атомарного натрия.
16. Фотохимическое разложение. Общая теория. Фотосенсибилизация.
17. Газовые реакции свободных алкильных радикалов.
18. Катализ и отрицательный катализ при термическом разложении.
19. Реакции свободных алкильных радикалов в растворе.
20. Разложение азо- и diaзосоединений.
21. Реакция Зандмейера.
22. Разложение металлоорганических соединений.
23. Другие реакции термического разложения.

24. Получение арильных радикалов при электролизе.
25. Реакции, инициируемые атомами галогенов.
26. Перекиси как катализаторы.
27. Цепная полимеризация олефинов.
28. Реакции щелочных металлов.
29. Каталитическое действие поверхности металлов.
30. Электродные реакции радикалов.

## 2.1 Описание процедуры выставления оценки

По итогам зачета выставляется одна из оценок: «зачтено», «незачтено».

Правила выставления оценки на зачете:

Устный ответ студента на зачете оценивается по 2-х балльной системе.

Отметка «зачтено» ставится, если:

- знания отличаются глубиной и содержательностью, дается полный исчерпывающий ответ, как на основные вопросы к зачету, так и на дополнительные;
- аспирант свободно владеет научной терминологией;
- ответ аспиранта структурирован, содержит анализ существующих теорий, научных школ, направлений и их авторов;
- ответ аспиранта логично и доказательно раскрывает проблему, предложенную для решения;
- ответ аспиранта характеризуется глубиной, полнотой и не содержит фактических ошибок;
- ответ аспиранта иллюстрируется примерами, в том числе из собственной научно-исследовательской деятельности;
- аспирант демонстрирует умение аргументировано вести диалог и научную дискуссию;
- аспирант демонстрирует навыки поиска и обработки научной информации и экспериментальных данных.

Отметка «незачтено» ставится, если:

- ответ аспиранта обнаружил незнание или непонимание сущностной части дисциплины;
- содержание вопросов не раскрыто, допускаются существенные фактические ошибки, которые аспирант не может исправить самостоятельно;
- на большую часть дополнительных вопросов по содержанию зачета аспирант затрудняется дать ответ или не дает верных ответов;
- аспирант не демонстрирует навыки поиска и обработки научной информации и экспериментальных данных.