

# БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

УТВЕРЖДАЮ

Ректор Белорусского  
государственного университета

А.Д.Король

15 июля 2024 г.

Регистрационный №УД- 13393/уч.



## СПЕКТРОСКОПИЯ ОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ

Учебная программа учреждения образования по учебной дисциплине для  
специальности:

**1-31 05 03 Химия высоких энергий**

**1-31 05 04 Фундаментальная химия**

2024 г.

Учебная программа составлена на основе ОСВО 1-31 05 03-2023, ОСВО 1-31 05 04-2023; учебных планов БГУ № G31-1009/уч., № G31-1-010/уч. от 25.05.2021.

**СОСТАВИТЕЛИ:**

**Д.М. Зубрицкий**, старший преподаватель кафедры органической химии химического факультета Белорусского государственного университета, кандидат химических наук.

**РЕЦЕНЗЕНТЫ:**

**А.В. Барановский**, заведующий лабораторией физико-химических методов исследования Института биоорганической химии НАН Беларуси, доктор химических наук;

**РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:**

Кафедрой органической химии БГУ  
(протокол № 11 от 31.05.2024);

Научно-методическим советом БГУ  
(протокол № 9 от 28.06.2024).

Декан химического факультета \_\_\_\_\_



А.В.Зураев

## ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

### Цели и задачи учебной дисциплины

**Цель** учебной дисциплины – дать студентам знание ИК- и ЯМР-спектроскопии в объеме, необходимом для самостоятельного выполнения квалификационных курсовых и дипломных работ, а также занятиям экспериментальными научными исследованиями в рамках СНО и СНИЛ. Научить студентов понимать, обсуждать, корректно интерпретировать и представлять свои научные результаты в части анализа соединений, с которыми имеют дело.

### Задачи учебной дисциплины:

1. Рассмотреть теоретические основы методов ИК- и ЯМР-спектроскопии;
2. Рассмотреть методы пробоподготовки в указанных методах исследования;
3. Научить решать типовые расчетные задачи с использованием спектроскопических данных.
4. Научить грамотно анализировать и составлять описание спектральных данных чистых веществ и их смесей, определять и подтверждать структуры соединений.

Место учебной дисциплины в системе подготовки специалиста с высшим образованием.

Учебная дисциплина относится к модулю «Методы исследования структуры вещества» компонента учреждения высшего образования.

Связи с другими учебными дисциплинами, включая учебные дисциплины компонента учреждения высшего образования, дисциплины специализации и др. отсутствуют.

### Требования к компетенциям

Освоение учебной дисциплины «Спектроскопия органических соединений» должно обеспечить формирование следующих компетенций:

#### *Специализированные компетенции:*

Оценивать возможности и ограничения масс-спектрометрических, магнито-химических и электрооптических методов, методов электронной, колебательной и вращательной спектроскопии для исследования химических соединений, проблемы получения, регистрации и интерпретации спектров.

В результате освоения учебной дисциплины студент должен:

#### **знать:**

– теоретические основы и закономерности ИК-, а также ЯМР-спектроскопии на ядрах  $^1\text{H}$ ,  $^{13}\text{C}$ , методики DEPT, HMQC, HMBC, COSY, NOESY, TOCSY.

– практические аспекты ИК- и ЯМР-спектроскопии: технику эксперимента, методы пробоподготовки, устройство ЯМР спектрометра.

#### **уметь:**

– предсказывать спектры  $^1\text{H}$ ,  $^{13}\text{C}$  ЯМР несложных органических соединений.

– совместно интерпретировать и составлять описание ИК,  $^1\text{H}$ ,  $^{13}\text{C}$  спектров с привлечением данных DEPT, HMQC, HMBC, COSY, NOESY, TOCSY

спектров.

– решать типовые расчетные задачи с использованием спектроскопических данных.

**владеть:**

– навыком обработки и анализа экспериментальных спектров.

### **Структура учебной дисциплины**

Дисциплина изучается в 7 семестре. Всего на изучение учебной дисциплины «Спектроскопия органических соединений» отведено:

– для очной формы получения высшего образования: 102 часа, в том числе 50 аудиторных часов, из них: лекции – 30 часов, семинарские занятия – 6 часов, лабораторные занятия – 12 часов, управляемая самостоятельная работа (УСР) – 2 часа.

Трудоемкость учебной дисциплины составляет 3 зачетные единицы.

Форма промежуточной аттестации – зачет.

# СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

## Раздел 1 Инфракрасная спектроскопия

### *Тема 1.1 Теоретические основы ИК спектроскопии.*

Природа возникновения инфракрасного спектра. Спектральная область инфракрасного поглощения органическими соединениями. Связь ИК спектра вещества с механическими колебаниями атомов и связей молекул, образующих вещество. Модель гармонического и ангармонического осцилляторов. Разрешенные переходы. Число колебаний. Интенсивность полос поглощения. Представление инфракрасного спектра как функции оптической плотности или процентов пропускания ИК-излучения от длины волны в микрометрах, или обратных сантиметрах. Понятие о характеристичных частотах, приближении групповых колебаний. Достоинства концепции групповых колебаний.

### *Тема 1.2 Экспериментальные аспекты ИК спектроскопии.*

Алгоритм подбора вида регистрации спектра в зависимости от агрегатного состояния и природы образца. Характеристика и особенности методов пробоподготовки для регистрации ИК-спектра: запись в растворе, тонкой пленке, прессованной таблетке, пасте в вазелиновом масле, пиролиз, нарушенное полное внутреннее отражение.

### *Тема 1.3 Характеристичные частоты и типы колебаний в спектрах важнейших классов органических соединений.*

Насыщенные углеводороды, алкены и алкины, арены, спирты, карбонильные соединения, карбоновые кислоты и их производные (сложные эфиры, ангидриды, амиды), простые эфиры, амины, галогенуглеводороды.

## Раздел 2 Спектроскопия ядерного магнитного резонанса

### *Тема 2.1 Введение в ЯМР спектроскопию. Возникновение спектров ядерного магнитного резонанса.*

История развития спектроскопии ЯМР. Магнитные свойства ядер. Угловой момент вращающегося заряда ядра. Спиновые квантовые числа  $I$ . Ядерный магнитный момент  $\mu$ . Гиромагнитное отношение  $\gamma$ . Угловая скорость прецессии магнитного ядра. Электрический квадрупольный момент. Поведение магнитного момента ядра в отсутствие и в присутствии внешнего магнитного поля. Эффект Зеемана. Число ориентаций спина во внешнем однородном магнитном поле. Природа возникновения спектра ЯМР. Основное уравнение ЯМР.

### *Тема 2.2 Заселенность различных уровней, релаксационные процессы. Устройство ЯМР-спектрометра. Способы регистрации спектров ЯМР.*

Заселенность различных уровней. Распределение Больцмана. Понятие о релаксации и времени релаксации ( $T_1$ ,  $T_2$ ). Сравнение по величине времен релаксации между собой. Природа спин-решеточной (продольной) и спин-спиновой (поперечной) релаксации. Время корреляции  $\tau$ . Влияние на скорость релаксации размеров исследуемых молекул, агрегатного состояния и вязкости образца, присутствия примесей, остаточной неоднородности магнитного поля,

динамических процессов в системе. Связь релаксации с шириной линии в спектре и внешним видом кривой спада свободной индукции.

Способы регистрации спектров ЯМР. Устройство спектрометра ЯМР с непрерывной разверткой и с Фурье-преобразованием. Достоинства метода регистрации с Фурье-преобразованием.

***Тема 2.3 Некоторые современные методики регистрации спектров ЯМР и предоставляемые ими возможности.***

Двумерная гетеро- и гомокорреляционная спектроскопия ЯМР: НМРС, НМВС, COSY. Методики NOESY, TOCSY. Анализ двумерных корреляций совместно со спектрами  $^1\text{H}$ ,  $^{13}\text{C}$ , DEPT и инфракрасными спектрами.

***Тема 2.4 Техника эксперимента ЯМР и пробоподготовка.***

Техника приготовления образцов на анализ. Стандарты в ЯМР. Растворители, применяемые для записи спектров ЯМР. Требования к образцам на анализ. Ампулы для регистрации спектров и объем образца. Фильтрация образца. Мойка, сушка, хранение, ремонт ампул ЯМР. Регенерация растворителей.

***Тема 2.5 Интегральная интенсивность сигналов в спектрах ЯМР.***

Сущность интегральной интенсивности и особенности интегральной интенсивности для спектров чистых индивидуальных веществ и для смесей веществ. Составление описания спектров ЯМР для индивидуальных веществ и смесей веществ. Количественные расчеты по спектрам ЯМР  $^1\text{H}$ .

***Тема 2.6 Химический сдвиг и его закономерности.***

Сущность и природа возникновения химического сдвига. Константа экранирования. Эталонные вещества для записи спектров. Химические сдвиги сигналов протонов в различных классах соединений (алканы, алкены, алкины, арены, карбоновые кислоты, альдегиды, спирты, амины, амиды, фенолы, силильные производные). Влияние на химический сдвиг электроотрицательности атомов, диамагнитной анизотропии, водородной связи.

***Тема 2.7 Спин-спиновое взаимодействие.***

Понятие о спин-спиновом взаимодействии и спиновых системах. Константы спин-спинового взаимодействия (КССВ). Геминальные, вицинальные, дальние КССВ. Кривая Карплуса-Конроя. Спектры первого порядка. Треугольник Паскаля. Номенклатура Попла для спиновых систем. Двух- и трехкомпонентные спиновые системы ( $\text{AX}$ ,  $\text{AX}_2$ ,  $\text{A}_2\text{B}$ ,  $\text{AMX}$ ,  $\text{ABX}$ ,  $\text{AX}_3$ ,  $\text{A}_2\text{X}_2$ ,  $\text{A}_2\text{X}_3$ ,  $\text{AX}_6$ ). Химическая и магнитная эквивалентность ядер. Гомотопные, диастереотопные, энантиотопные атомы. Анализ молекулы с позиций симметрии и эквивалентности атомов и групп атомов. Описание составных сигналов, содержащих несколько КССВ.

***Тема 2.8 Методы упрощения сложных спектров ЯМР.***

Регистрация спектров на спектрометрах с магнитами различной мощности. Использование различных растворителей, селективного дейтерирования, шифт-реагентов, подавление спин-спиновых взаимодействий, эксперимент по двойному резонансу.

### ***Тема 2.9 Спектроскопия ЯМР на ядрах $^{13}\text{C}$ .***

Характеристика ядра  $^{13}\text{C}$ : распространенность в природе, гиромагнитное отношение. Особенности регистрации углеродных спектров ЯМР, в сравнении с протонными. Подавление спин-спинового взаимодействия в спектрах  $^{13}\text{C}$  ЯМР (широкополосная развязка). Ядерный эффект Оверхаузера (NOE). Примеры практического применения NOE в структурном анализе. Определение мультиплетности сигналов в  $^{13}\text{C}\{^1\text{H}\}$  ЯМР спектрах: внерезонансная развязка, DEPT. Характерные области сигналов атомов углерода в  $^{13}\text{C}$  ЯМР спектрах различных классов органических соединений (карбоновые кислоты, сложные эфиры, ангидриды, амиды, карбонильные соединения, алканы, алкены, алкины, арены, силильные производные).

### ***Тема 2.10 Динамические эффекты в спектрах ЯМР.***

Особенность регистрации динамических процессов в спектроскопии ЯМР. Примеры динамических процессов. Межмолекулярный обмен. Обмен протонов между положениями с различными резонансными частотами. Вращение вокруг химических связей. Инверсия в молекулах. Температурная зависимость формы линий.

## УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Очная (дневная) форма получения высшего образования с применением дистанционных образовательных технологий  
(ДОТ)

Номер раздела, темы	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов					Количество часов УСП	Форма контроля
		Лекции	Практические занятия	Семинарские занятия	Лабораторные занятия	Иное		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
<b>1</b>	<b>Инфракрасная спектроскопия</b>							
1.1	Теоретические основы ИК спектроскопии	2					1	контрольная работа
1.2	Экспериментальные аспекты ИК спектроскопии	1						
1.3	Характеристичные частоты и типы колебаний в спектрах важнейших классов органических соединений	2						
<b>2</b>	<b>Спектроскопия ядерного магнитного резонанса</b>							
2.1	Введение в ЯМР спектроскопию. Возникновение спектров ядерного магнитного резонанса	3					1	контрольная работа
2.2	Заселенность различных уровней, релаксационные процессы. Устройство ЯМР-спектрометра. Способы регистрации спектров ЯМР	4						

2.3	Некоторые современные методики регистрации спектров ЯМР и предоставляемые ими возможности	1		2	2			
2.4	Техника эксперимента ЯМР и пробоподготовка	3						
2.5	Интегральная интенсивность сигналов в спектрах ЯМР	1			2			
2.6	Химический сдвиг и его закономерности	3		1	2			
2.7	Спин-спиновое взаимодействие	6		2	2			
2.8	Методы упрощения сложных спектров ЯМР	1			2			
2.9	Спектроскопия ЯМР на ядрах $^{13}\text{C}$	2		1	2			
2.10	Динамические эффекты в спектрах ЯМР	1						

## ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

### Основная литература

1. Основы ядерного магнитного резонанса: учебное пособие / М.П. Евстигнеев, А.О. Лантушенко, В.В. Костюков, В.К. Воронов, А.В. Подоплелов – Москва : Вузовский учебник: ИНФРА-М, 2022. – 247 с.
2. Полулях, С.Н. Введение в ядерный магнитный резонанс и магнитную релаксацию : учебное пособие / С.Н. Полулях. – Москва : ИНФРА-М, 2021. – 163 с.
3. Брыляков, К.П. Основы и применение спектроскопии ЭПР и ЯМР в химических исследованиях : учебное пособие / К.П. Брыляков, И.Е. Сошников, Е.П. Талзи. – Долгопрудный : Издательский Дом «Интеллект», 2023.
4. Современная инфракрасная спектроскопия: основы, методы, приборная база / А. И. Ефимова, В. Б. Зайцев, Д. В. Казанцев, Н. Ю. Болдырев. – Санкт-Петербург: Лань, 2023. – 356 с.

### Дополнительная литература

5. Спектроскопия ядерного магнитного резонанса для химиков / Ю.М. Воловенко, В.Г. Карцев, И.В. Комаров и др. – Москва: МБФНП, 2011. – 704 с.
6. Порхун, В. И. Введение в теорию и практику спектроскопии ядерного магнитного резонанса: учебник / В.И. Порхун, И.Л. Гоник, Ю.В. Аристова; ВолгГТУ. – Волгоград, 2015. – 212 с.
7. Бельская, Н.П. Ядерный магнитный резонанс. Теория и практика. В 3 ч. Ч. 2 [Электронный ресурс]: учебное пособие / Н.П. Бельская, О.С. Ельцов. — 2-е изд., стер. — М. : ФЛИНТА : Изд-во Урал. ун-та, 2018. – 124 с.
8. Ядерный магнитный резонанс. Теория и практика. Часть 1: Учебное пособие по курсам «Учебно-исследовательская работа студентов», «Основы научных исследований» и «Химическая технология органических красителей», «Спектроскопия ЯМР». / Н.П. Бельская, О.С. Ельцов, М.Г. Понизовский. – Екатеринбург: Изд-во УрФУ, 2011. – 105 с.
9. Устынюк, Ю. А. Лекции по спектроскопии ядерного магнитного резонанса. Часть 1 (вводный курс) Москва: ТЕХНОСФЕРА, 2016. – 288 с.
10. Преч, Э. Определение строения органических соединений. Таблицы спектральных данных / Э. Преч, Ф. Бюльманн, К. Аффольтер; пер. с англ. Б.Н. Тарасевича. – Москва: Мир; БИНОМ. Лаборатория знаний, 2006. – 438 с.
11. Сильверстейн, Р. Спектрометрическая идентификация органических соединений / Р. Сильверстейн, Ф. Вебстер, Д. Кимл; пер. с англ. Н.М. Сергеева и Б.Н. Тарасевича. – Москва: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2014. – 557 с.
12. Самсонова, Л.Г. Применение ИК и ПМР спектроскопии при изучении строения органических молекул: учебно-методическое пособие / Л.Г. Самсонова. – Томск: Издат. дом Национального исследовательского Томского государственного университета, 2016. – 60 с.

13. Хребтова, С.Б. Физические методы исследования вещества: Задания для самостоятельной работы студентов. Часть 1. Спектроскопия ЯМР и ЭПР / С.Б. Хребтова, А.Т. Телешев, Н.Г. Ярышев. – Москва: МПГУ, 2015. – 20 с.
14. Jacobsen, N. E. NMR Data Interpretation Explained: Understanding 1D and 2D NMR Spectra of Organic Compounds and Natural Products. – Wiley: 2017. – 648 p.
15. Modern NMR Approaches to the Structure Elucidation of Natural Products: Volume 2: Data Acquisition and Applications to Compound Classes / Edited by A. J. Williams, G. E. Martin, D. Rovnyak. – The Royal Society of Chemistry, 2017. – 516 p.
16. Organic Structures from 2D NMR Spectra / L.D. Field, H.L. Li and A.M. Magill. – Wiley: 2015. – 310 p.
17. Solving Problems with NMR Spectroscopy (2nd Ed.) / Atta-ur-Rahman, M. I. Choudhary, Atia-tul-Wahab – Elsevier: 2015. – 534 p.
18. Simpson, J.H. Organic Structure Determination Using 2-D NMR Spectroscopy, Second Edition: A Problem-Based Approach (2nd Ed.). – Elsevier: 2012. – 540 p.
19. Jacobsen, N.E. NMR Spectroscopy Explained: Simplified Theory, Applications and Examples for Organic Chemistry and Structural Biology. – Wiley: 2007. – 688 p.
20. Findeisen, M. 50 and More Essential NMR Experiments: A Detailed Guide. – Wiley: 2013. – 316 p.
21. Thompson, J. M. Infrared Spectroscopy - Pan Stanford: 2018. – 195 p.
22. Stuart, B. Infrared Spectroscopy: Fundamentals and Applications. – Wiley: 2004. – 224 p.

### **Перечень рекомендуемых средств диагностики и методика формирования итоговой отметки**

При оценивании знаний студентов на зачете учитывается текущая аттестация, отраженная в контрольной работе, полнота и правильность ответов на заданные вопросы, умение студентов решать практические задачи (см. требования из пояснительной записки к настоящей программе, что студенты должны «знать», «уметь» и какой «иметь навык» по результатам освоения учебной дисциплины).

Формой промежуточной аттестации по дисциплине «Спектроскопия органических соединений» учебным планом предусмотрен зачет.

Для формирования итоговой отметки по учебной дисциплине используется модульно-рейтинговая система оценки знаний студента, дающая возможность проследить и оценить динамику процесса достижения целей обучения. Рейтинговая система предусматривает использование весовых коэффициентов для текущей и промежуточной аттестации студентов по учебной дисциплине.

Формирование итоговой отметки в ходе проведения контрольных мероприятий текущей аттестации (примерные весовые коэффициенты,

определяющие вклад текущей аттестации в отметку при прохождении промежуточной аттестации):

- контрольная работа – 100 %;

Итоговая отметка по дисциплине рассчитывается на основе итоговой отметки текущей аттестации (рейтинговой системы оценки знаний) 60 % и отметки на зачете 40 %.

### **Примерный перечень заданий для управляемой самостоятельной работы**

#### ***Раздел 1. Инфракрасная спектроскопия (1 ч)***

Расскажите о природе возникновения инфракрасных спектров.

По представленному ИК-спектру определите функциональные группы в соединении.

(Форма контроля – контрольная работа).

#### ***Раздел 2. Спектроскопия ядерного магнитного резонанса (1 ч)***

Расскажите о релаксационных процессах в спектроскопии ЯМР.

Опишите способы регистрации спектров ЯМР, их достоинства и недостатки.

(Форма контроля – контрольная работа).

### **Примерный перечень лабораторных занятий**

1. Знакомство со спектрометром ядерного магнитного резонанса Bruker Avance 400. Изучение методов пробоподготовки для спектроскопии ИК.

2. Решение задач экспериментального характера на установление строения органических соединений с использованием комплекса спектральных данных: ИК,  $^1\text{H}$ ,  $^{13}\text{C}$  ЯМР, HMQC, HMBC, DEPT, COSY, NOESY, TOCSY в разном сочетании.

### **Примерная тематика семинарских занятий**

1. Решение простейших задач на определение строения соединений по одному-двум спектрам и выявление присутствия ключевых фрагментов, функциональных групп в молекуле.

2. Составление корректного описания спектральных данных органических соединений.

3. Решение типовых расчетных задач с использованием спектроскопии ЯМР.

### **Описание инновационных подходов и методов к преподаванию учебной дисциплины**

При организации образовательного процесса используется **практико-ориентированный подход**, который предполагает:

- освоение содержание образования через решения практических задач;
- приобретение навыков эффективного выполнения разных видов профессиональной деятельности;
- ориентацию на генерирование идей, реализацию групповых студенческих проектов, развитие предпринимательской культуры;
- использованию процедур, способов оценивания, фиксирующих сформированность профессиональных компетенций.

### **Методические рекомендации по организации самостоятельной работы**

Для самостоятельной работы студентам следует изучать рекомендованную литературу для закрепления полученных знаний в соответствии с методическими указаниями ниже.

Темы 1.1-1.3 программы представлены в источниках [4, 10-12, 21, 22], тема 2.1 изложена в книгах [1-3, 5, 6, 8, 9, 11, 12]. Тему 2.2 можно изучить по литературе [1-3, 5, 6, 8, 9, 11]. Тема 2.3 освещается в источниках [1, 3, 5, 11], тема 2.4 описана в книгах [5, 8, 11], тема 2.5 описана в литературе [8, 12], тема 2.6 – в литературе [1, 3, 5, 6, 8-12], тему 2.7 можно изучить по книгам [1-3, 5-12], тема 2.8 изложена в источниках [3, 5-7, 9], тема 2.9 – в пособиях [3, 5-7, 9-11] и тема 2.10 представлена в литературе [5, 6, 9, 11].

После изучения тем следует проверять полученные знания, отвечая на вопросы и задания для самоподготовки и самоконтроля, которые представлены на образовательном портале (<https://educhem.bsu.by/course/view.php?id=281>).

### **Примерный перечень вопросов к зачету**

1. Теоретические основы ИК-спектроскопии.
2. Пробоподготовка в ИК-спектроскопии.
3. Характеристичные частоты и типы колебаний в спектрах важнейших классов органических соединений.
4. Магнитные свойства ядер, возникновение магнитного диполя ядер. Угловой момент вращающегося заряда ядра. Спиновые квантовые числа. Гиромагнитное отношение. Связь между квантовым числом  $I$  и собственными спинами протонов и нейтронов, входящих в ядро. Электрический квадрупольный момент. Эффект Зеемана. Возможные ориентации спина во внешнем однородном магнитном поле. Число ориентаций спина. Основное уравнение ЯМР. Природа спектров ЯМР.
5. Заселенность различных энергетических уровней в спектроскопии ЯМР. Релаксационные процессы. Связь с формой линии в спектрах ЯМР и с техникой приготовления образцов. Особенности релаксационных процессов в молекулах веществ в разных агрегатных состояниях, разных размеров и молекулярных масс.
6. Способы регистрации спектров ЯМР, их достоинства и недостатки. Устройство современного спектрометра ЯМР.
7. Экспериментальные аспекты спектроскопии ЯМР. Растворители,

применяемые для записи спектров ЯМР, и требования к ним. Правила пользования ЯМР-ампулами, техника приготовления образцов на анализ  $^1\text{H}$ ,  $^{13}\text{C}$ . Требования к образцам. Критерий качества записанных спектров  $^1\text{H}$ ,  $^{13}\text{C}$ .

8. Химический сдвиг и его закономерности. Природа химического сдвига. Эталонные вещества для записи спектров. Химические сдвиги сигналов протонов в различных классах соединений. Диамагнитная анизотропия связей.

6. Спин-спиновое взаимодействие. Мультиплетность сигналов и природа ее возникновения. Понятие спиновой системы и классификация спиновых систем. Константы спин-спинового взаимодействия (КССВ). Спектры первого порядка и высших порядков. Способы упрощения ЯМР спектров.

7. Анализ мультиплетности простых и составных сигналов

8. Спектроскопия на ядрах  $^{13}\text{C}$ . Сравнительные особенности спектроскопии  $^1\text{H}$  и  $^{13}\text{C}$  ЯМР. Особенности регистрации спектров  $^{13}\text{C}$  ЯМР и требования к образцам. Эффект NOE. Характерные области сигналов атомов углерода в  $^{13}\text{C}$ -спектрах различных классов органических соединений (карбонильные соединения, алкены, арены, алкины, алканы, силильные производные). Способы определения мультиплетности сигналов в спектроскопии  $^{13}\text{C}$  ЯМР.

9. Исследование динамических явлений методом спектроскопии ЯМР.

## ПРОТОКОЛ СОГЛАСОВАНИЯ УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЫ УО

Название учебной дисциплины, с которой требуется согласование	Название кафедры	Предложения об изменениях в содержании учебной программы учреждения высшего образования по учебной дисциплине	Решение, принятое кафедрой, разработавшей учебную программу (с указанием даты и номера протокола)
Учебная дисциплина не требует согласования			

Декан химического факультета \_\_\_\_\_

А.В.Зураев

31.05.2024 г.

**ДОПОЛНЕНИЯ И ИЗМЕНЕНИЯ К УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЕ ПО  
ИЗУЧАЕМОЙ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ**

на \_\_\_\_ / \_\_\_\_ учебный год

№ п/п	Дополнения и изменения	Основание

Учебная программа пересмотрена и одобрена на заседании кафедры  
\_\_\_\_\_ (протокол № \_\_\_\_ от \_\_\_\_\_ 202\_ г.)  
(название кафедры)

Заведующий кафедрой

\_\_\_\_\_  
(ученая степень, ученое звание)

\_\_\_\_\_  
(И.О.Фамилия)

УТВЕРЖДАЮ  
Декан факультета

\_\_\_\_\_  
(ученая степень, ученое звание)

\_\_\_\_\_  
(И.О.Фамилия)