

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Кубанский государственный университет»  
Факультет химии и высоких технологий

УТВЕРЖДАЮ:

Проректор по учебной работе,  
качеству образования – первый  
проректор



Иванов А.Г.

«27» \_\_\_\_\_ 2017 г.

## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

### Б1.В.ДВ.04.01 Радиоспектральные методы исследования в химии

Направление подготовки	04.03.01 Химия
Профиль подготовки	Аналитическая химия
Программа подготовки	прикладной бакалавриат
Форма обучения	очная
Квалификация выпускника	бакалавр

Краснодар 2017

Рабочая программа дисциплины «Радиоспектральные методы исследования в химии» составлена в соответствии с федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования (ФГОС ВО) по направлению подготовки 04.03.01 Химия

Программу составил:

В. В. Доценко, д.х.н., заведующий кафедрой органической химии и технологий



Рабочая программа утверждена на заседании кафедры органической химии и технологий протокол №17 «07» июня 2017 г.

Заведующий кафедрой (разработчика) Доценко В.В.



Рабочая программа обсуждена на заседании кафедры аналитической химии протокол № 9 «07» июня 2017 г.

Заведующий кафедрой аналитической химии, д.х.н. З.А. Темердашев



Утверждена на заседании учебно-методической комиссии факультета химии и высоких технологий протокол № 5 «27» июня 2017 г.

Председатель УМК факультета

Стороженко Т.П.



Рецензенты:

Дядюченко Л.В., к.х.н., ведущий научный сотрудник лаборатории регуляторов роста растений ФБГНУ ВНИИБЗР

Буков Н.Н., д.х.н., заведующий кафедрой общей, неорганической химии и информационно-вычислительных технологий в химии КубГУ

## 1 Цели и задачи изучения дисциплины

### 1.1 Цель дисциплины

Целью освоения дисциплины «Радиоспектральные методы исследования в химии» является изучение основных радиоспектральных методов установления структуры органических соединений, получение знаний и систематизация представлений о радиоспектральных методах исследования (ЯМР, ЭПР-спектроскопия).

**1.2 Задачи дисциплины** состоят в освоении профессиональных знаний и получении профессиональных навыков в области структурного анализа сложных органических веществ радиоспектральными методами. Студенты должны научиться интерпретировать простейшие ЯМР спектры. Обобщение и систематизация знаний по спектроскопии ЯМР на ядрах  $^1\text{H}$  и  $^{13}\text{C}$ .

### 1.3 Место дисциплины (модуля) в структуре образовательной программы

Курс «Радиоспектральные методы исследования в химии» входит в Блок 1 Вариативная часть – дисциплины по выбору. Освоению данной дисциплины предшествует изучение дисциплин «Неорганическая химия», «Физика», «Органическая химия».

### 1.4 Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы

Изучение данной учебной дисциплины направлено на формирование у обучающихся следующих компетенций:

№ п.п.	Индекс компетенции	Содержание компетенции (или её части)	В результате изучения учебной дисциплины обучающиеся должны		
			знать	уметь	владеть
1.	ОПК-1	Способностью использовать полученные знания теоретических основ фундаментальных разделов химии при решении профессиональных задач	физико-химические основы радиоспектральных методов, причины возникновения и формы проявления регистрируемых явлений	определять по спектральным данным функциональные группировки и заместители, входящие в состав молекулы	навыками самостоятельной интерпретации спектральных результатов
2.	ОПК-3	Способностью использовать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности	Явления, лежащие в основе радиоспектральных методов исследования	Использовать радиоспектральные методы для анализа химических объектов	навыками самостоятельной интерпретации спектральных результатов
3.	ПК-2	Владением базовыми навыками	физико-химические	использовать современные	Программным и средствами

№ п.п.	Индекс компетенции	Содержание компетенции (или её части)	В результате изучения учебной дисциплины обучающиеся должны		
			знать	уметь	владеть
		использования современной аппаратуры при проведении научных исследований	основы работы спектрометров радиочастотного диапазона	методы обработки спектральных данных	обработки спектров

## 2. Структура и содержание дисциплины

### 2.1 Распределение трудоёмкости дисциплины по видам работ

Общая трудоёмкость дисциплины составляет 4 зач. ед. (144 часа), их распределение по видам работ представлено в таблице.

Вид учебной работы	Всего часов	Семестры	
		7	
<b>Контактная работа, в том числе:</b>			
<b>Аудиторные занятия (всего):</b>	76,3	76,3	
Занятия лекционного типа	36	36	
Занятия семинарского типа (семинары, практические занятия, практикумы, лабораторные работы, коллоквиумы и иные аналогичные занятия)	36	36	
<b>Иная контактная работа:</b>			
Контроль самостоятельной работы (КСР)	4	4	
Промежуточная аттестация (ИКР)	0,3	0,3	
<b>Самостоятельная работа (всего), в том числе:</b>	41	41	
Изучение теоретического материала	10	10	
Решение задач	18	18	
Подготовка к текущему контролю	13	13	
<b>Контроль:</b>	26,7	26,7	
Подготовка к экзамену	26,7	26,7	
Вид промежуточной аттестации (зачет, экзамен)		Зачет, экзамен	
<b>Общая трудоемкость</b>	<b>час.</b>	<b>144</b>	<b>144</b>
	<b>в том числе контактная работа</b>	<b>76,3</b>	<b>76,3</b>
	<b>зач. ед.</b>	<b>4</b>	<b>4</b>

### 2.2 Структура дисциплины:

Распределение видов учебной работы и их трудоемкости по разделам дисциплины.

Разделы дисциплины, изучаемые в 7 семестре

№ раздела	Наименование разделов	Количество часов				
		Всего	Аудиторная работа			Внеаудиторная работа
			Л	ПЗ	ЛР	
СРС	3	4	5	6	7	
1	2	3	4	5	6	7

1.	Введение в курс ЯМР спектроскопии	18	6		6	6
2.	Общий анализ ЯМР-спектров	18	6		6	6
3.	Константы спин-спинового взаимодействия	18	6		6	6
4.	Специальные методы спектроскопии ЯМР.	18	6		6	6
5.	Интерпретация ЯМР спектров	26	6		6	14
6.	Основы ЭПР спектроскопии.	15	6		6	3
	<b>Итого по дисциплине:</b>		36		36	41

## 2.3 Содержание разделов дисциплины:

### 2.3.1 Занятия лекционного типа

№	Наименование раздела	Содержание раздела	Форма текущего контроля
1	2	3	4
1.	Введение в курс ЯМР спектроскопии	ЯМР спектроскопия и её место среди физических методов изучения вещества. Теоретические аспекты явления ЯМР. История развития ЯМР спектроскопии. Спиновые числа и магнитный момент атомов. Условия магнитного резонанса. Устройство приборов ЯМР. Возможности метода.	Устный опрос
2.	Общий анализ ЯМР-спектров	Растворители, внутренний и внешний стандарты. Параметры спектров ЯМР. Ширина и интенсивность линии ЯМР. Вид резонансных сигналов. Интегрирование. Химический сдвиг. Химические сдвиги ядер $^1\text{H}$ и $^{13}\text{C}$ органических молекул. Понятие о тонкой структуре спектров ЯМР $^1\text{H}$ и $^{13}\text{C}$ , КССВ.	Устный опрос
3.	Константы спин-спинового взаимодействия	Зависимость величины КССВ $^1\text{H}$ - $^1\text{H}$ от взаимного расположения взаимодействующих протонов. Дальние константы. Характерные КССВ ( <i>цис</i> -, <i>транс</i> -алкены, ароматические протоны). Типы спиновых систем ( $\text{AB}_2$ , $\text{ABX}$ ).	Устный опрос

		Уравнения Карплуса, Гарбиша, Диеза-Альтоны-Дондерса	
4.	Специальные методы спектроскопии ЯМР.	Специальные методы спектроскопии ЯМР. Двумерные методики COSY. Ядерный эффект Оверхаузера. Теоретические основы и вид спектров ЯЭО. Возможности современных методик спектроскопии ЯМР $^1\text{H}$ и $^{13}\text{C}$ в установлении структуры сложных органических соединений. DEPT, HSQC, HMBC, APT, INADEQUATE	Устный опрос, контрольная работа
5.	Интерпретация ЯМР спектров	Характеристичные сигналы в протонных и углеродных спектрах алкенов, алкинов, аренов, карбоновых кислот и карбонильных соединений. Их использование для установления структуры.	Устный опрос
6.	Основы ЭПР спектроскопии.	Основы ЭПР спектроскопии. Физические основы спектроскопии ЭПР. Магнитный диполь во внешнем поле. Квантование магнитного момента. Эффект Зеемана. Основное уравнение ЭПР. Понятие о g-факторе.	Устный опрос, контрольная работа

### 2.3.2 Занятия семинарского типа – не предусмотрены

### 2.3.3 Лабораторные занятия

№	Наименование раздела	Наименование лабораторных работ	Форма текущего контроля
1	2	3	4
1.	Введение в курс ЯМР спектроскопии	Общий анализ $^1\text{H}$ ЯМР спектра соединения	Устный опрос, решение задач
2	Общий анализ ЯМР-спектров	Анализ ЯМР спектра сложной молекулы	Устный опрос, решение задач

3	Константы спин-спинового взаимодействия	Анализ $^{13}\text{C}$ спектра соединения	Устный опрос, решение задач
4	Специальные методы спектроскопии ЯМР.	Анализ двумерного COSY спектра соединения	Устный опрос, решение задач
5	Интерпретация ЯМР спектров	Анализ двумерного HSQC спектра соединения	Устный опрос, решение задач
6	Основы ЭПР спектроскопии.	Анализ двумерного HMBC спектра соединения	Устный опрос, решение задач

**2.3.4 Примерная тематика курсовых работ (проектов) – не предусмотрены**

**2.4 Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине (модулю)**

№	Вид СРС	Перечень учебно-методического обеспечения дисциплины по выполнению самостоятельной работы
1	2	3
1.	Изучение теоретического материала	<p>1. Устынюк, Ю. А. Лекции по спектроскопии ядерного магнитного резонанса [Электронный ресурс] . Ч. 1 : Вводный курс / Устынюк Ю. А. - М. : Техносфера, 2016. - <a href="https://biblioclub.ru/index.php?page=book_red&amp;id=444862&amp;sr=1">https://biblioclub.ru/index.php?page=book_red&amp;id=444862&amp;sr=1</a>.</p> <p>2. Методические рекомендации к организации аудиторной и внеаудиторной (самостоятельной) работы студентов: методические указания / сост. Т.П. Стороженко, Т.Б. Починок, А.В. Беспалов, Н.В. Лоза. – Краснодар: Кубанский гос. ун-т, 2018. - 89 с.</p> <p>3. Спектроскопия / Беккер, Юрген ; Ю. Беккер ; пер. с нем. Л. Н. Казанцевой под ред. А. А. Пупышева, М. В. Поляковой. - М. : Техносфера, 2009. - 527 с. : ил. - (Мир химии). - Библиогр. : с. 507-522. - ISBN 9785948362205.</p>
2.	Решение задач	<p>1. Устынюк, Ю. А. Лекции по спектроскопии ядерного магнитного резонанса [Электронный ресурс] . Ч. 1 : Вводный курс / Устынюк Ю. А. - М. : Техносфера, 2016. - <a href="https://biblioclub.ru/index.php?page=book_red&amp;id=444862&amp;sr=1">https://biblioclub.ru/index.php?page=book_red&amp;id=444862&amp;sr=1</a>.</p> <p>2. Методические рекомендации к организации аудиторной и внеаудиторной (самостоятельной) работы студентов: методические указания / сост. Т.П. Стороженко, Т.Б. Починок, А.В. Беспалов, Н.В. Лоза. – Краснодар: Кубанский</p>

		<p>гос. ун-т, 2018. - 89 с.</p> <p>3. Спектроскопия / Беккер, Юрген ; Ю. Беккер ; пер. с нем. Л. Н. Казанцевой под ред. А. А. Пупышева, М. В. Поляковой. - М. : Техносфера, 2009. - 527 с. : ил. - (Мир химии). - Библиогр. : с. 507-522. - ISBN 9785948362205.</p>
3.	Подготовка к текущему контролю	<p>1. Устынюк, Ю. А. Лекции по спектроскопии ядерного магнитного резонанса [Электронный ресурс] . Ч. 1 : Вводный курс / Устынюк Ю. А. - М. : Техносфера, 2016. - <a href="https://biblioclub.ru/index.php?page=book_red&amp;id=444862&amp;sr=1">https://biblioclub.ru/index.php?page=book_red&amp;id=444862&amp;sr=1</a>.</p> <p>2. Методические рекомендации к организации аудиторной и внеаудиторной (самостоятельной) работы студентов: методические указания / сост. Т.П. Стороженко, Т.Б. Починок, А.В. Беспалов, Н.В. Лоза. – Краснодар: Кубанский гос. ун-т, 2018. - 89 с.</p> <p>3. Спектроскопия / Беккер, Юрген ; Ю. Беккер ; пер. с нем. Л. Н. Казанцевой под ред. А. А. Пупышева, М. В. Поляковой. - М. : Техносфера, 2009. - 527 с. : ил. - (Мир химии). - Библиогр. : с. 507-522. - ISBN 9785948362205.</p>

Учебно-методические материалы для самостоятельной работы обучающихся из числа инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья (ОВЗ) предоставляются в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья и восприятия информации:

Для лиц с нарушениями зрения:

- в печатной форме увеличенным шрифтом,
- в форме электронного документа.

Для лиц с нарушениями слуха:

- в печатной форме,
- в форме электронного документа.

Для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата:

- в печатной форме,
- в форме электронного документа.

### 3. Образовательные технологии

Организация изучения материала курса «Радиоспектральные методы исследования в химии» осуществляется на основе системно-деятельностного подхода и рекомендаций теории поэтапного формирования умственных действий. Лекции носят мотивационно-познавательный характер, дают установки к формированию определенных действий. Этим требованиям отвечает отбор изучаемого материала, учет его значимости для практической деятельности специалиста-химика, формирование четкого представления о месте предмета в системе других естественных наук. Лабораторные занятия призваны формировать действия в материализованном виде и в речи обучаемых. Для повышения их эффективности используются как традиционные и давно оправдавшие себя приемы работы, так и нетрадиционные методы: конференции, метод малых групп. Для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья используются образовательные технологии, позволяющие полностью индивидуализировать содержание, методы и темпы учебной

деятельности, вносить вовремя необходимые коррективы как в деятельность студента-инвалида, так и в деятельность преподавателя.

Семестр	Вид занятия (Л, ПР, ЛР)	Используемые интерактивные образовательные технологии	Количество часов
7	ЛР	Беседы, занятия – конференции, работа в малых группах	24
<i>Итого:</i>			24

#### 4. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации

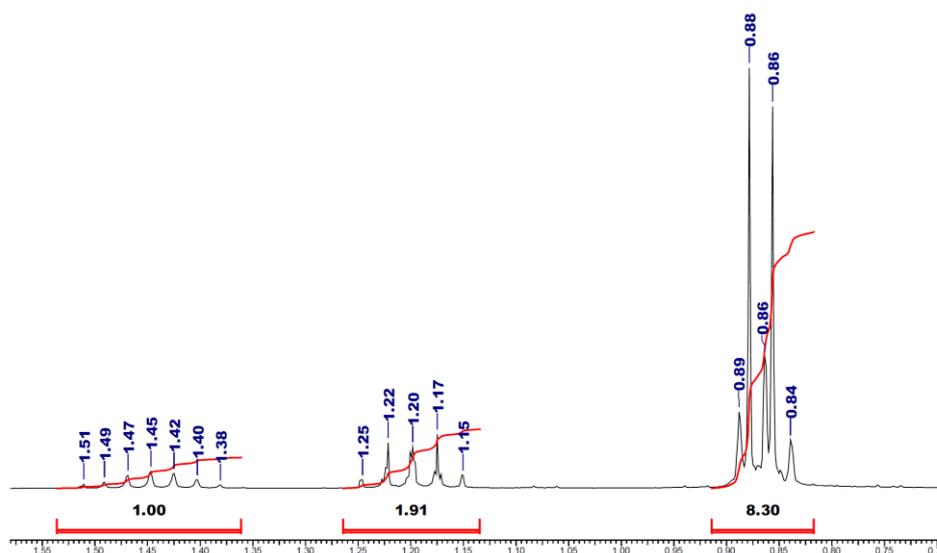
##### 4.1 Фонд оценочных средств для проведения текущей аттестации

##### 4.1 Фонд оценочных средств для проведения текущей аттестации

Текущий контроль осуществляется преподавателем, ведущим лекционные и практические занятия на основе выполнения студентами контрольных работ, лабораторного практикума, и участия в устном опросе. Для проведения текущего контроля используются следующие формы контроля: устный опрос, контрольные работы.

Пример заданий для контрольных работ:

1. Определить строение соединения состава  $C_5H_{12}$ .



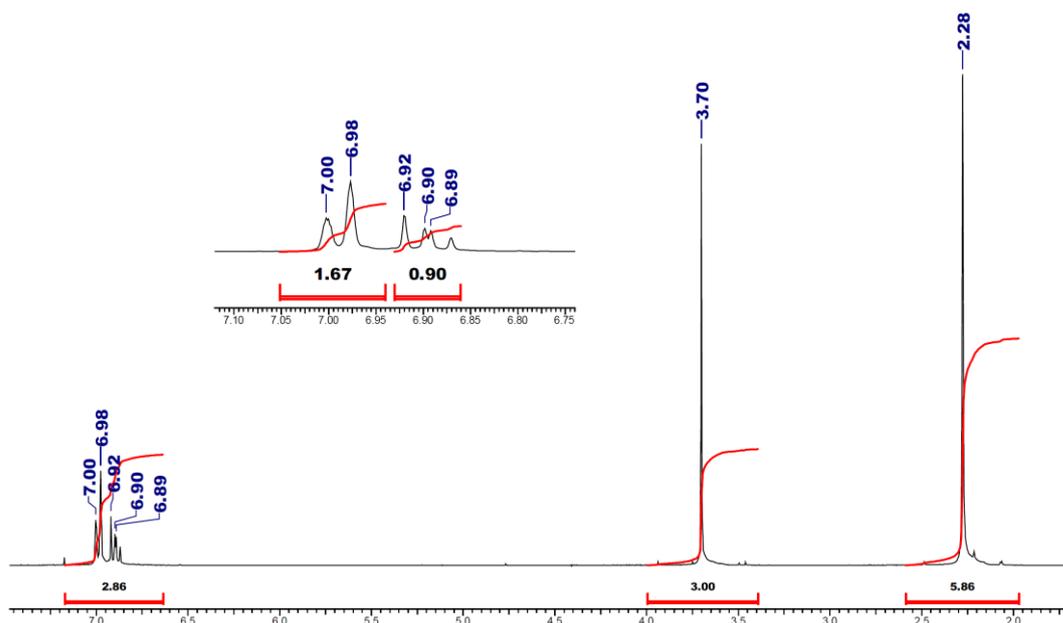
Решение

Из состава и диапазона спектра мы видим, что имеем дело с алифатическим соединением. Сигнал на 0,85 м.д. относится, скорее всего, к метильным группам  $CH_3$ , а оставшиеся два сигнала расположены в области, характерной для метиленов. Анализируя величину интегралов, получаем, что в нашем соединении присутствует одна группа  $CH_2$ , одна группа  $CH$  и три группы  $CH_3$ . Такой расклад полностью соответствует брутто-формуле, предложенной в задаче. Отклонение величины интеграла от 9 является допустимым и

может быть вызвано как некорректным выбором диапазона интегрирования, так и неполной релаксацией метильных протонов в ходе эксперимента. Анализ сигнала на 0,85 м.д. показывает, что данный сигнал представляет собой перекрытие нескольких сигналов: {триплет и дублет} либо {триплет, синглет, синглет}. Триплет может образоваться при расщеплении на двух протонах, т. е. имеем фрагмент  $\text{CH}_3\text{-CH}_2$ . При этом метиленовая группа, расщепляющаяся на метильной, будет давать кватрлет. В нашем же случае мы видим в сигнале  $\text{CH}_2$  не четыре, а пять линий, причем не соответствующих треугольнику Паскаля. Таким образом, мы можем предположить, что это два кватрета, наложившихся друг на друга, что возможно в случае фрагмента  $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-CH}$ . И действительно, никакую другую группу сюда не присоединить. В результате получается соединение 2-метилбутан ( $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-CH}(\text{CH}_3)_2$ ).

Ответ: 2-метилбутан ( $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-CH}(\text{CH}_3)_2$ ).

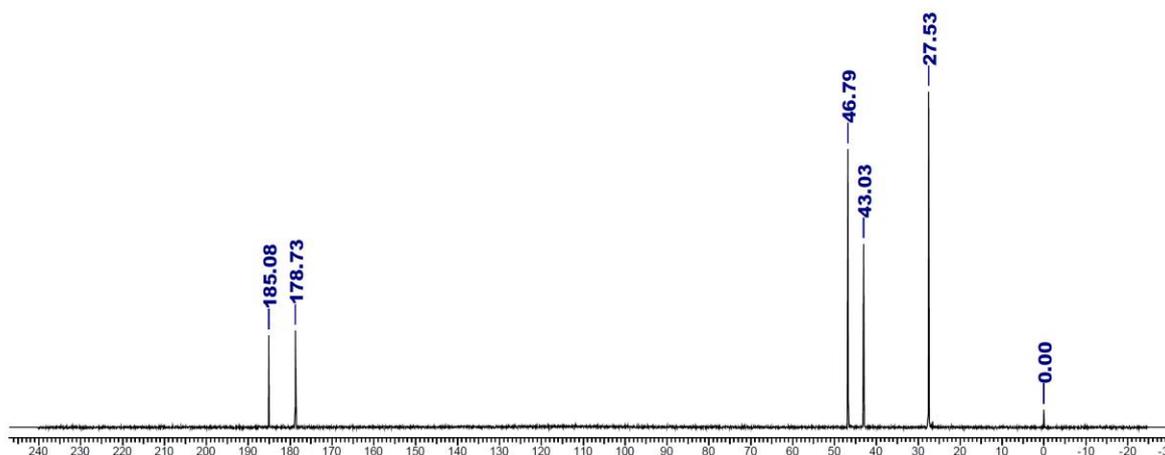
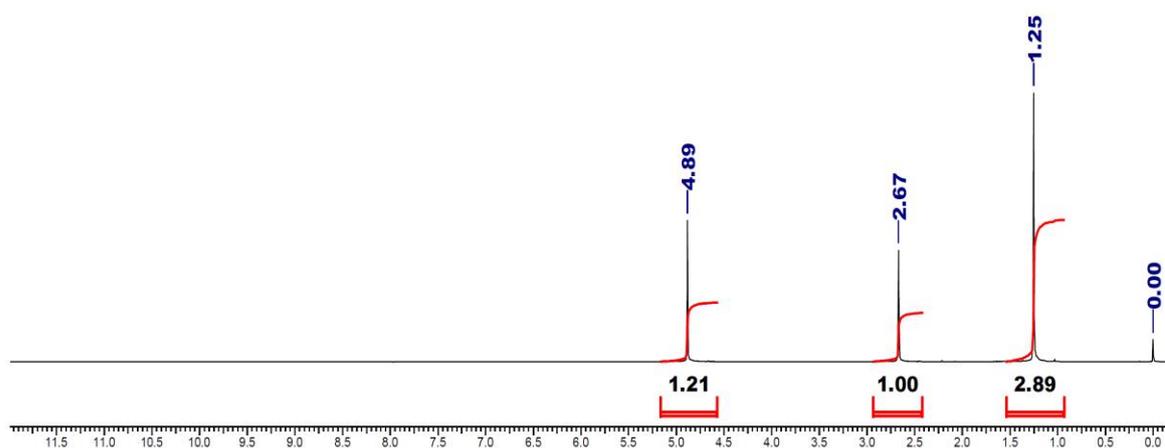
2. Определить строение соединения состава  $\text{C}_9\text{H}_{12}\text{O}$ .



*Решение.* Анализируя спектр, видим, что соединение включает в себя ароматическую область (в районе 7 м.д.) и алифатическую (2,3 и 3,7 м.д.). Причем область в диапазоне 3,5–4,5 м.д. характерна для протонов метильных и метиленовых групп, непосредственно связанных с атомом кислорода, а значение 2,3 м.д. – для метильных групп, присоединенных к ароматической системе (например, толуол). Интегральная интенсивность показывает, что три протона содержатся в ароматическом кольце, три протона находятся в группе, связанной с атомом кислорода, и шесть протонов – в группе, соответствующей сигналу на 2,3 м.д. Таким образом, получается набор фрагментов:  $\text{C}_6\text{H}_3$ - (ароматика),  $\text{CH}_3\text{-O-}$ ,  $2 \times \text{CH}_3$ -, что полностью соответствует брутто-формуле. Осталось определить характер и по-рядок замещения бензольного кольца. В ароматической области мы видим сильносвязанную обменную систему трех протонов типа АВ2 (вставка в спектре). Об этом свидетельствует сильный «эффект крыши». Этот факт и расщепление сигналов на дублет (7,0 м.д.) и дублет дублетов (6,9 м.д.) показывает,

что перед нами 1,2,3-замещенное кольцо. Совпадение сигналов метильных групп на 2,3 м.д. говорит о том, что перед нами симметричная структура. Таким образом, мы получаем 2,6-диметиланизол. Ответ: 2,6-диметиланизол.

3. На полке с реактивами стояла старая банка с каким-то белым порошком. На потерянной этикетке значилась загадочная надпись «...овая кислота». На основании спектров ЯМР определите, что это за кислота. Температура плавления – 139–142 °С.

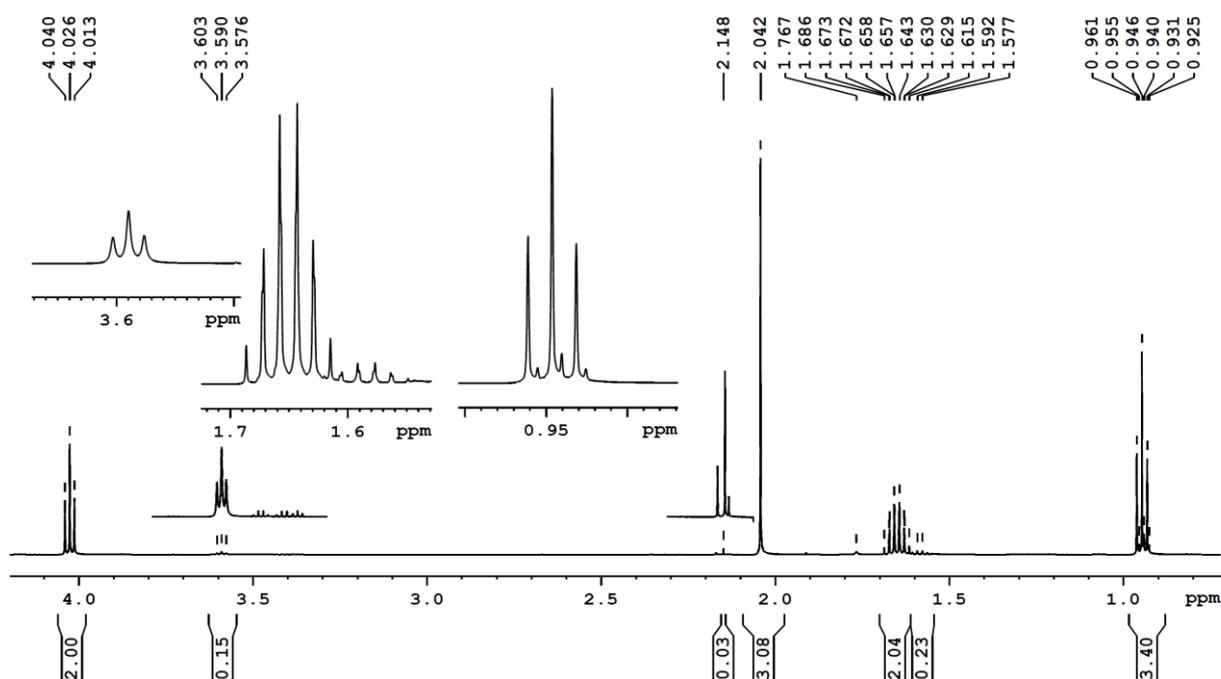


Решение. В представленной задаче два спектра: спектр на ядре  $^1\text{H}$  и спектр на ядре  $^{13}\text{C}$ . Из протонного спектра видно, что это алифатическая кислота, содержащая  $\text{CH}_3$ -группу (1,25 м.д.). Отсутствие расщепления на сигналах говорит о том, что взаимодействия между протонами в этой кислоте нет, т. е. все протонсодержащие группы расположены далеко (минимум через атом) друг от друга. Сигнал в области 2,67 может принадлежать группе  $\text{CH}_2$  или  $\text{CH}$ . Область в районе 5 м.д. характерна для протонов при  $\text{sp}^2$ -гибризованном атоме углерода либо для «подвижных» протонов  $\text{OH}$ -групп. Анализ углеродного спектра показывает, что в соединении присутствуют две неэквивалентные карбоксильные группы (область 180 м.д.), а также еще три типа атомов углерода в алифатической области. Увеличивая вдвое значения интегралов в протонном спектре, мы получаем две

неэквивалентные карбоксильные группы (в протонном спектре они дают один сигнал, так как протоны находятся в обмене между собой и протонами воды), одна  $\text{CH}_2$ -группа и две эквивалентные метильные группы. Суммируя это с данными углеродного спектра, получаем:  $2 \times \text{-COOH}$ ,  $2 \times \text{-CH}_3$ ,  $\text{-CH}_2\text{-}$ ,  $\text{-C-}$ . Собирая все воедино, получаем, что кислота на полке – 2,2-диметилянтарная.

Ответ: 2,2-диметилянтарная кислота.

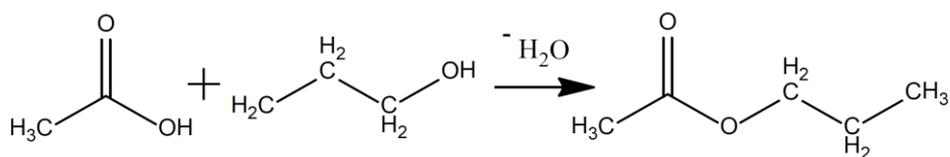
4. Определить состав реакционной смеси, полученной в ходе синтеза пропилацетата. Растворитель –  $\text{CDCl}_3$ .



В представленном спектре видим четыре интенсивных сигнала, Соотнесем их по интегральной интенсивности и мультиплетности:

- 0,94 м.д. – триплет от  $\text{CH}_3$ -группы пропильного фрагмента;
- 1,65 м.д. – мультиплет от  $\text{CH}_3\text{-CH}_2$ -группы;
- 2,04 м.д. – синглет от группы  $\text{CH}_3\text{-COO}$ ;
- 4,02 м.д. – триплет от группы  $\text{-CH}_2\text{-OCO}$ .

По увеличенным фрагментам спектра видно, что присутствуют еще сигналы примеси, причем они сопутствуют сигналам пропильного фрагмента. Соответственно, представляя реакцию получения сложного эфира, можем предположить наличие н-пропанола.



Сигнал от уксусной кислоты в хлороформе проявляется при 2,10 м.д. (прил. 2.6) и в спектре не наблюдается. Таким образом, качественный состав смеси определен. Для того, чтобы определить количество н-пропанола в смеси, проанализируем интегральные интенсивности сигналов. Интенсивности метильных групп сравнить не удастся ввиду их перекрывания. Можно только оценить долю следующим образом. Суммарный интеграл составляет 3,40, тогда как вклад метильной группы эфира должен быть равен 3,00. Таким образом, доля примеси  $\omega = 0,40/3,40 = 0,12$ . Аналогично анализируем остальные сигналы:

$$I(-\text{CH}_2-\text{OCO}) : I(-\text{CH}_2-\text{OH}) = 2,00 : 0,15; \omega = 0,07;$$

$$I(\text{CH}_3-\text{CH}_2-) : I(\text{CH}_3-\text{CH}_2-) = 2,04 : 0,23; \omega = 0,10.$$

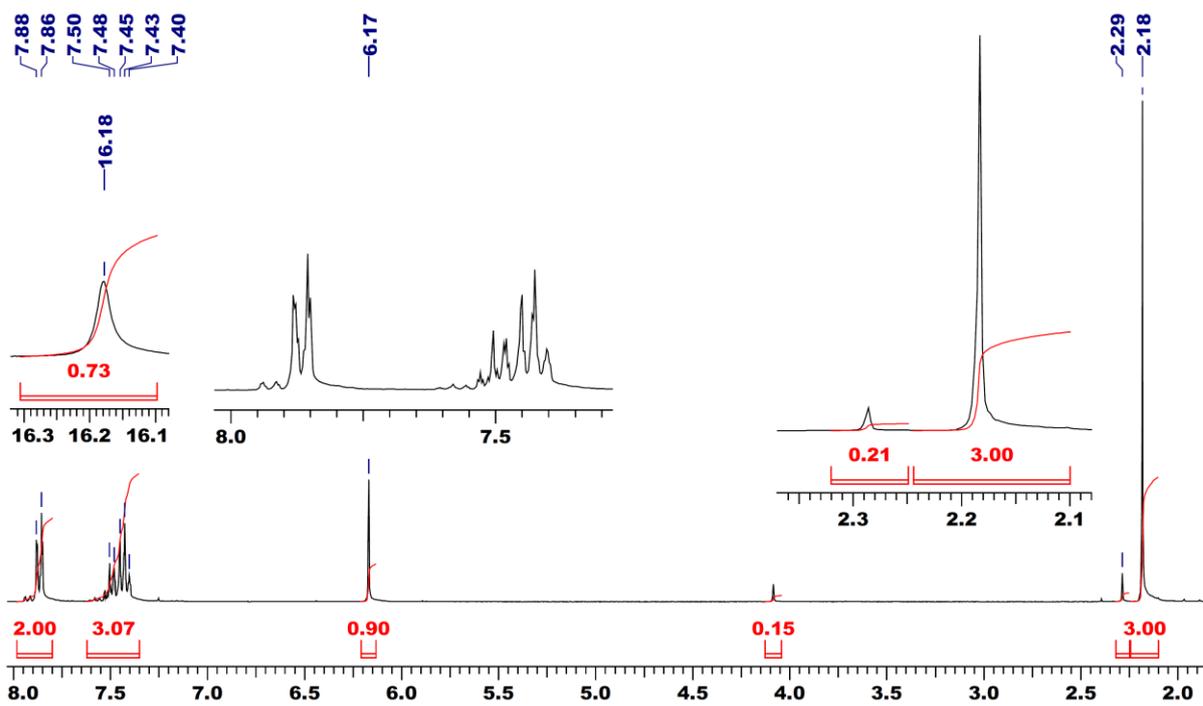
Получается, что количество примеси составляет около 10 %.

При решении подобных задач стоит помнить следующее.

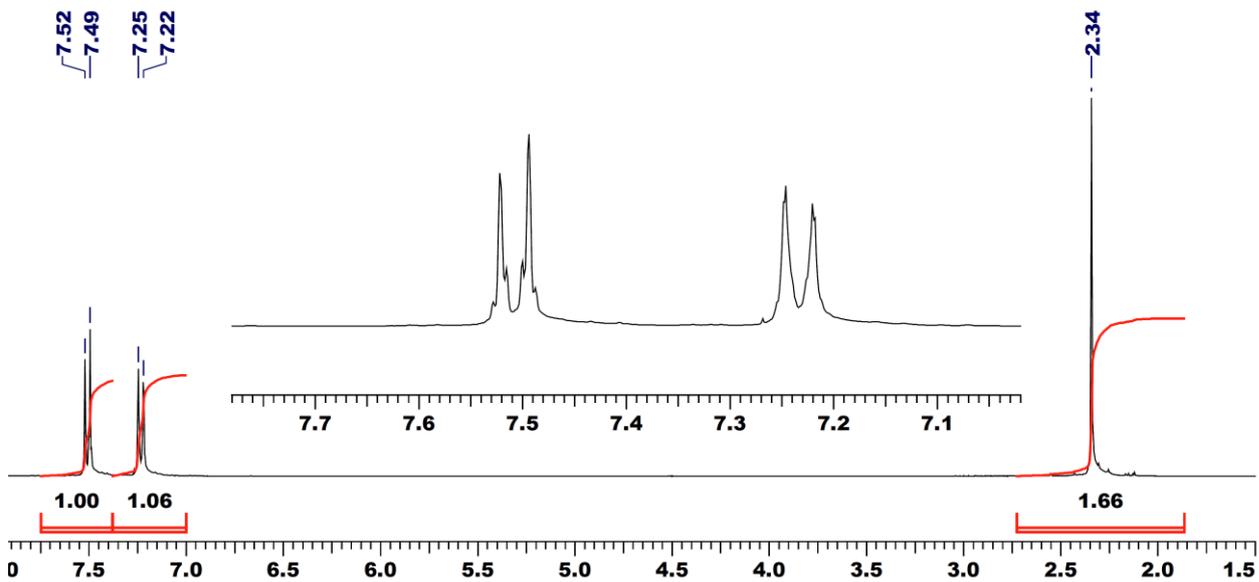
1. Необходимо сравнивать интегральную интенсивность, приходящуюся на ОДИН протон, т. е.  $I(-\text{CH}_2-) : I(-\text{CH}-) = 2 : 1$  означает равное количество групп (в молях), так как количество протонов в них отличается также вдвое, т. е.  $\omega = 0,5$ .
2. Протоны, относящиеся к разным группам (например, метильные и альдегидные протоны), могут иметь различное время релаксации. В результате, если релаксационная задержка была выбрана неверно, может быть существенное расхождение между интенсивностями сигналов.
3. Интегральная величина сигнала сильно зависит от того, насколько качественно выполнена обработка спектра, в частности коррекция фазы и базовой линии.

Ответ: пропилацетат (90 %), н-пропанол (10 %).

Задание 7. Для соединения с брутто-формулой  $C_{10}H_{10}O_2$  определить строение, основную таутомерную форму и ее долю (в %).

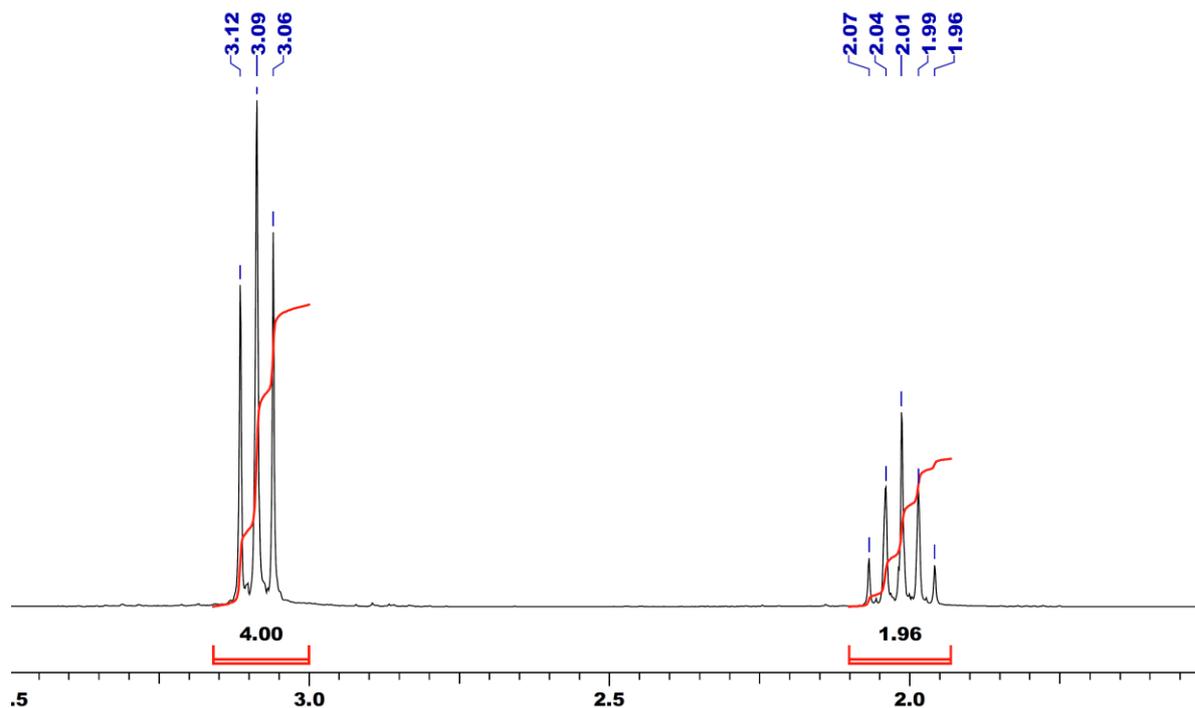


Задание 8. Определить строение соединения с брутто-формулой  $C_{14}H_{14}OS$ .

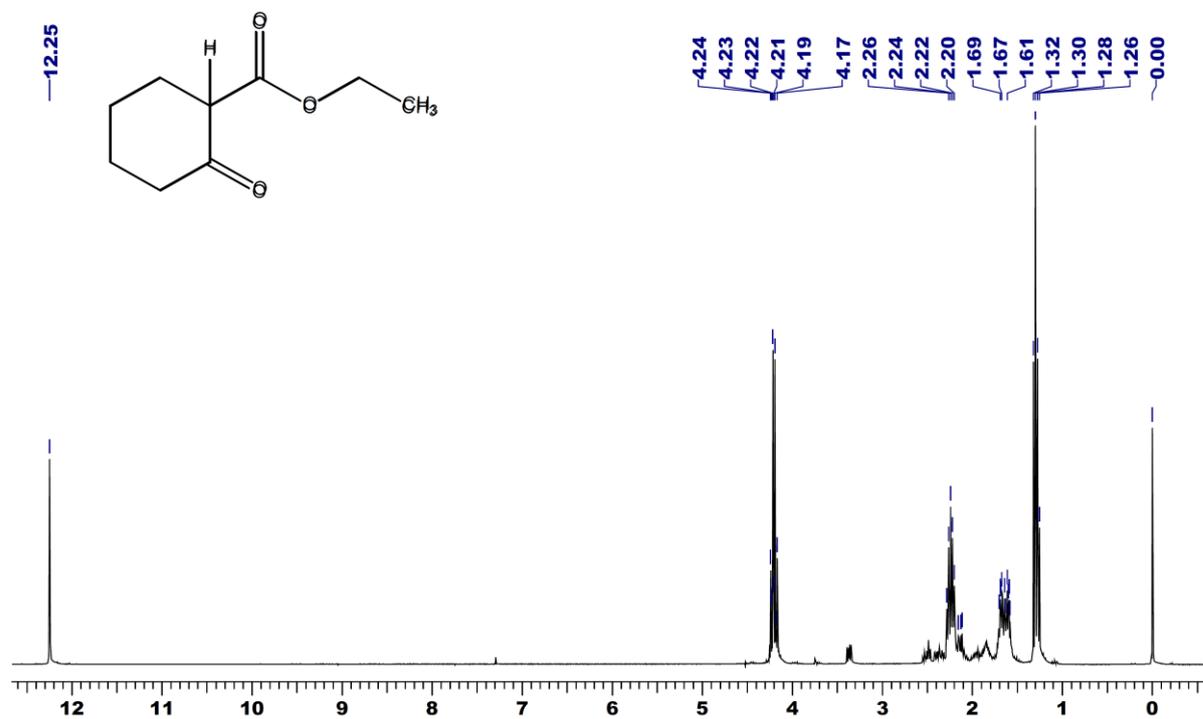


*Примеры задач для коллективного решения в аудитории*

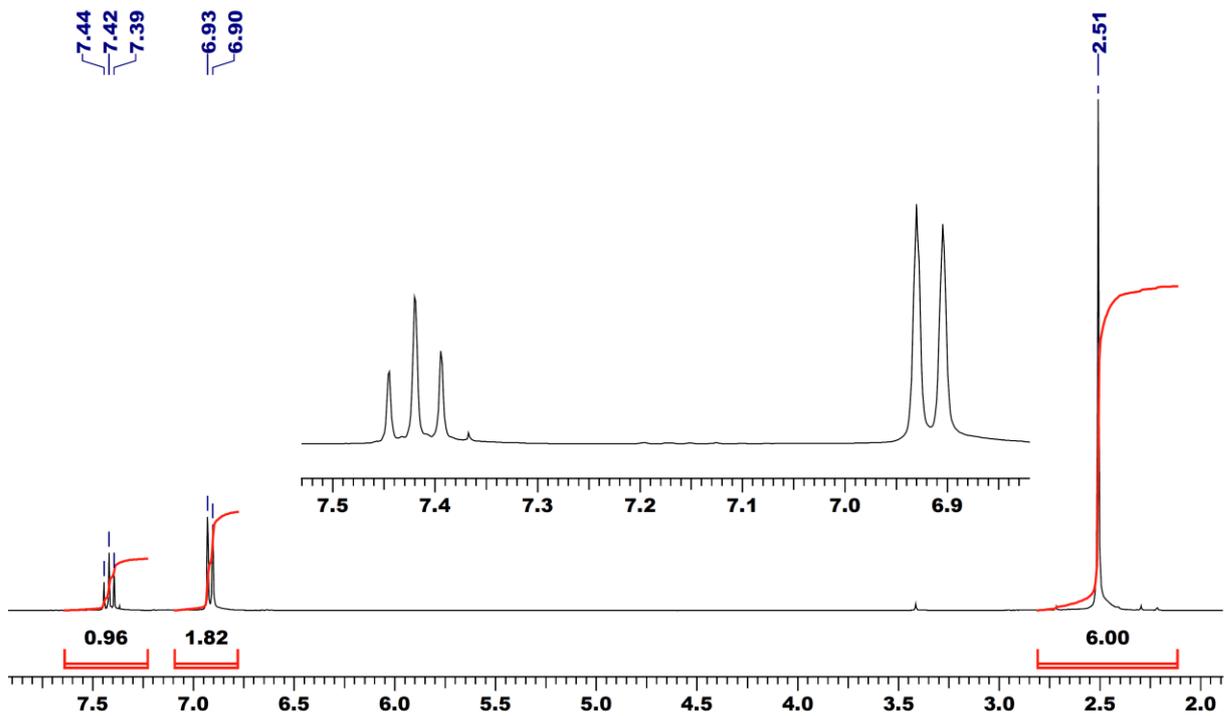
Задание 9. Определить строение соединения с брутто-формулой  $C_4H_6O$ .



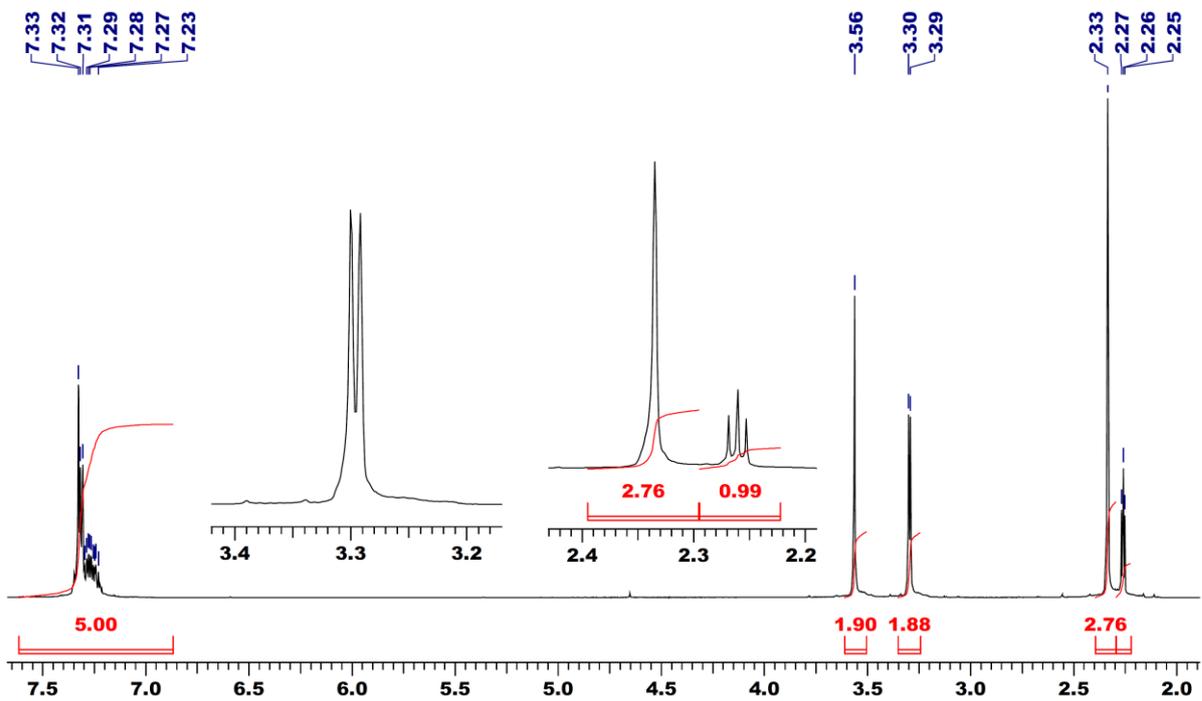
Задание 10. Объяснить спектр. Возможна ли енолизация данного кетона?



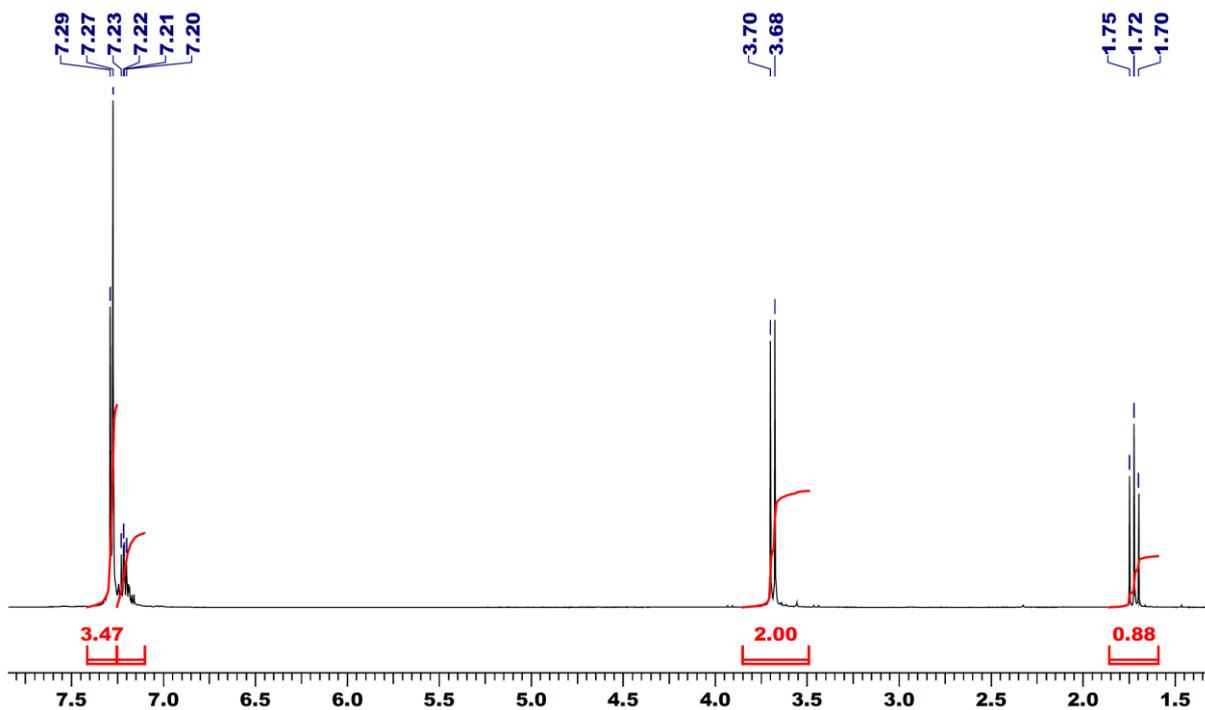
Задание 11. Определить строение соединения с брутто-формулой  $C_7H_9N$ .



Задание 12. Определить строение соединения с брутто-формулой  $C_{11}H_{13}N$ .

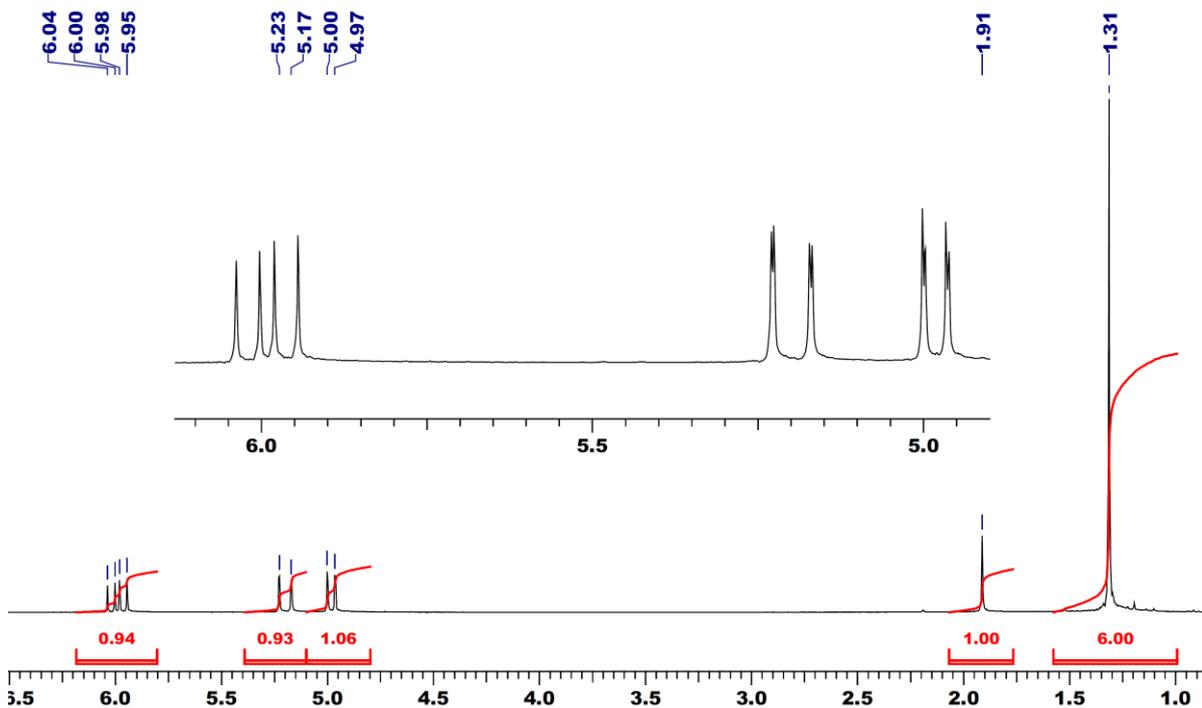


Задание 13. Определить строение соединения с брутто-формулой  $C_7H_8S$ .

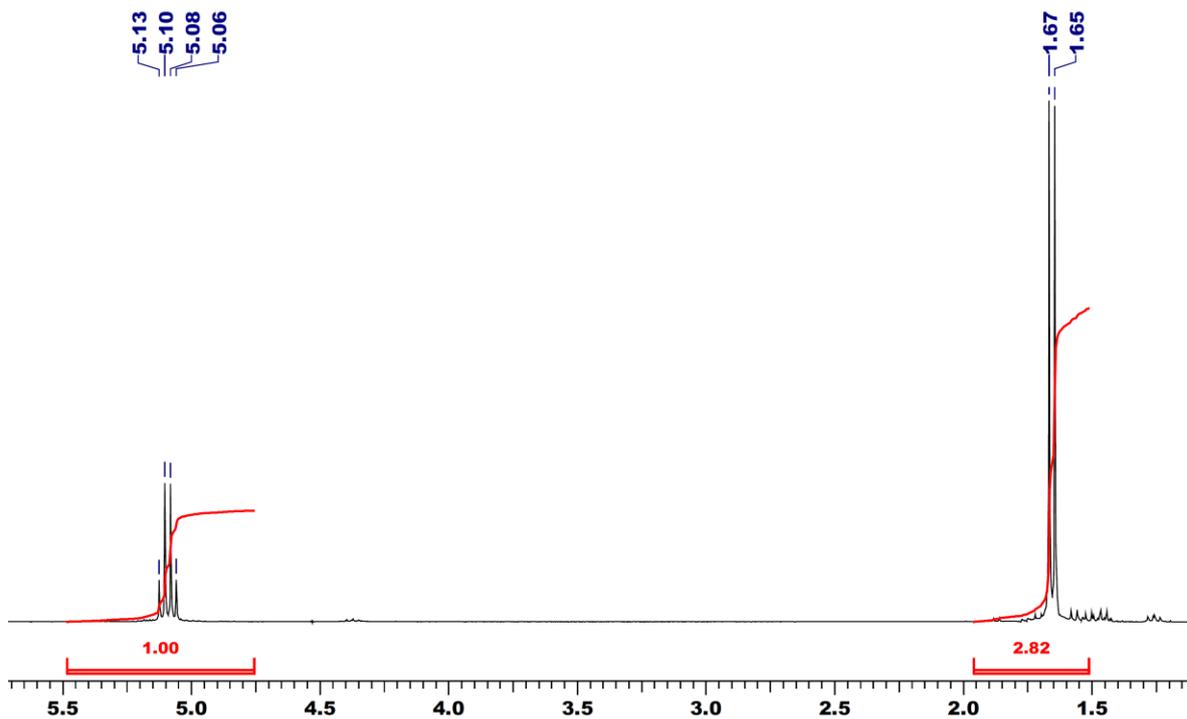


*Примеры задач для самостоятельного решения*

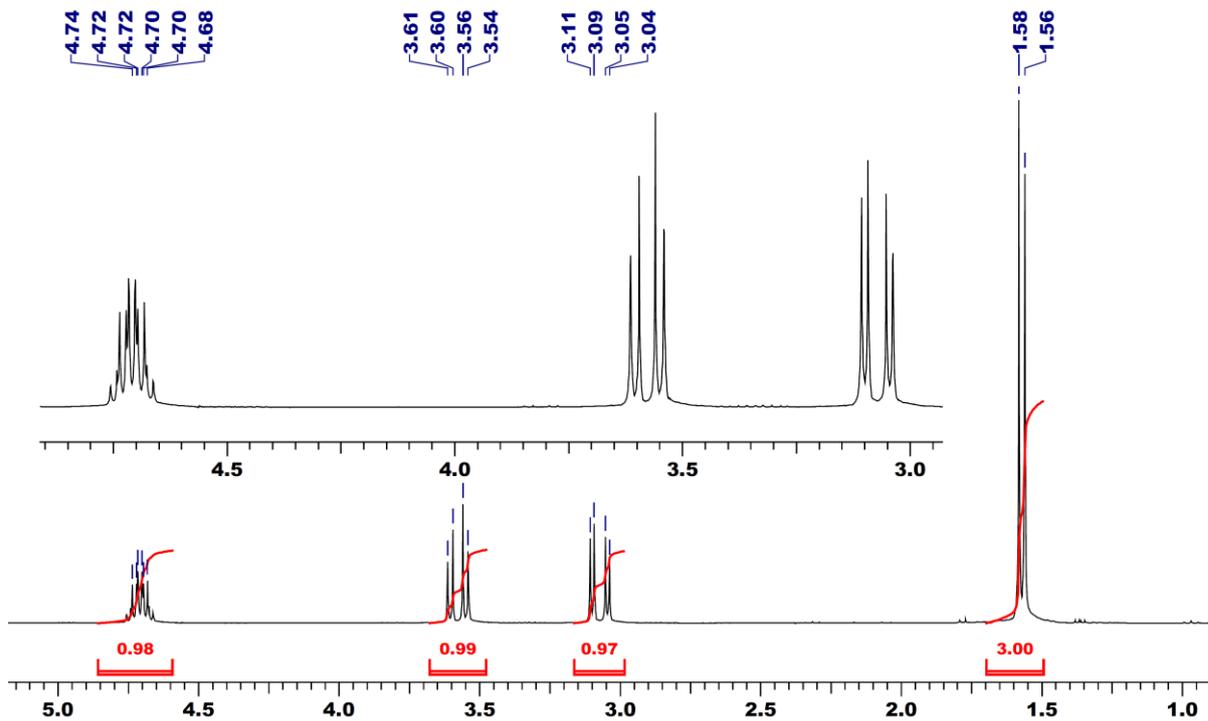
Задание 1. Определить строение соединения с брутто-формулой  $C_5H_{10}O$ .



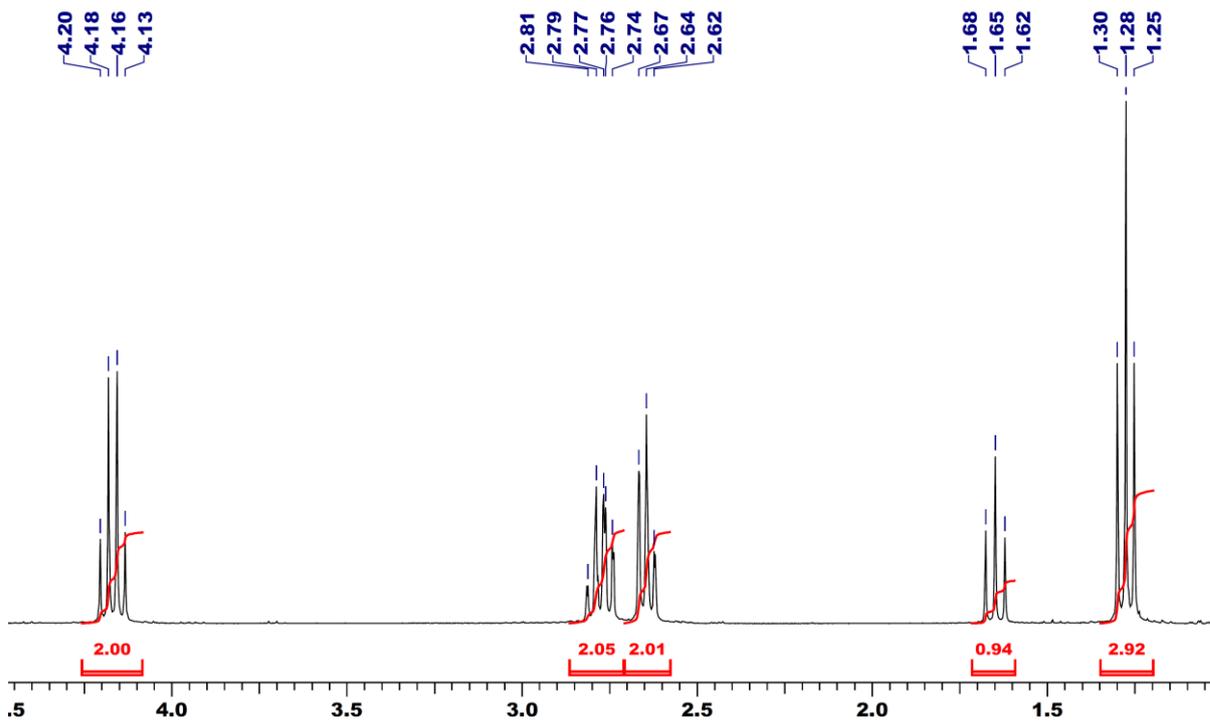
Задание 2. Определить строение соединения с брутто-формулой  $C_6H_8O_4$ .



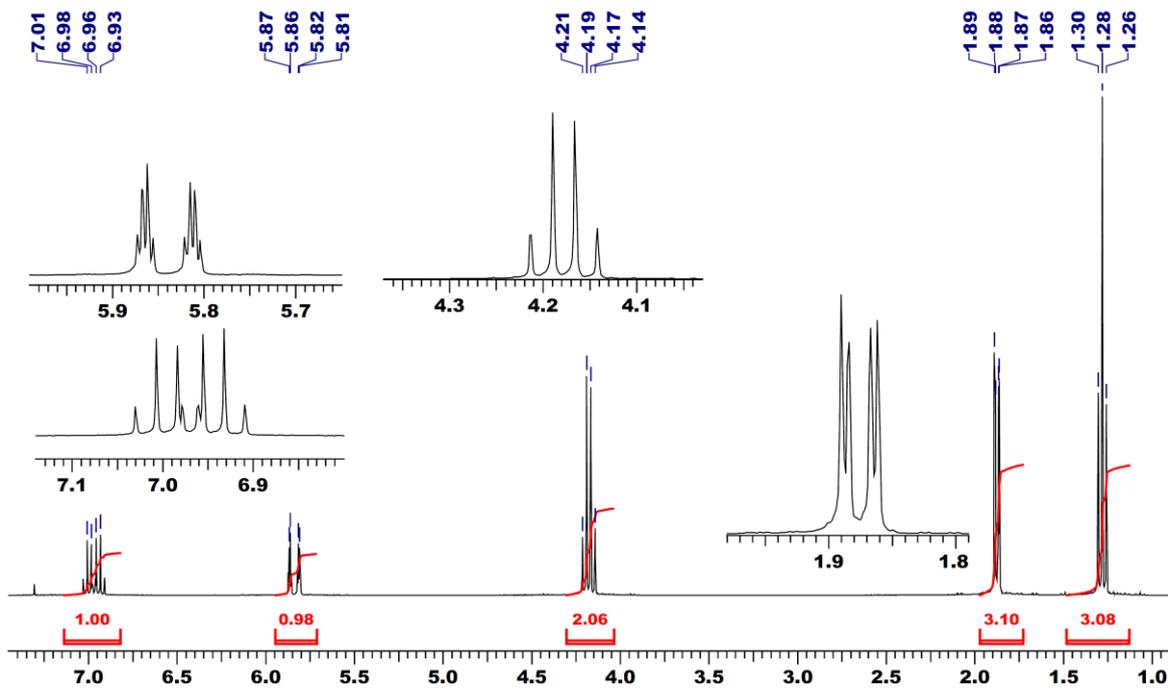
Задание 3. Определить строение соединения с брутто-формулой  $C_4H_6O_2$ .



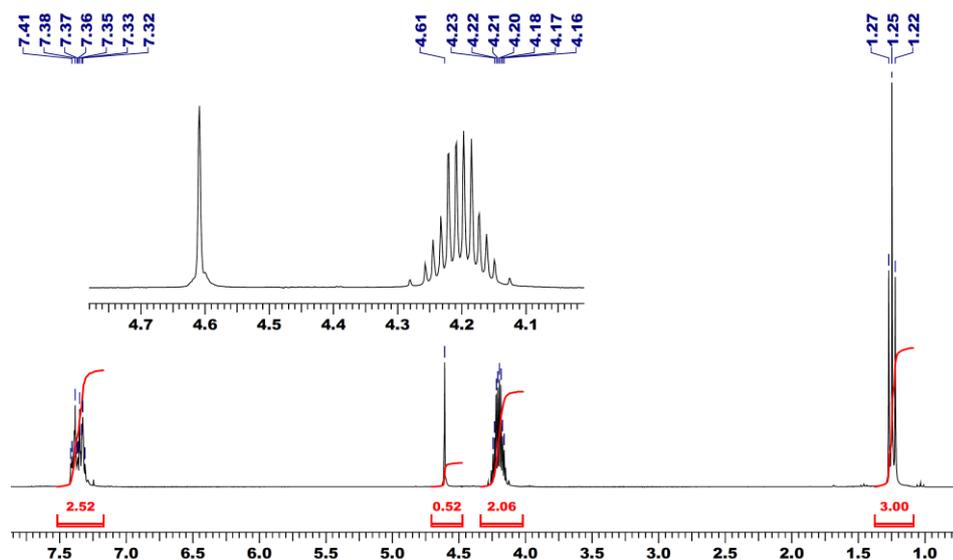
Задание 4. Определить строение соединения с брутто-формулой  $C_5H_{10}O_2S$ .



Задание 5. Определить строение соединения с брутто-формулой  $C_6H_{10}O_2$ .



Задание 6. Определить строение соединения с брутто-формулой  $C_{13}H_{16}O_4$ .



Промежуточная аттестация: экзамен.

#### 4.2 Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации

##### Вопросы к экзамену по курсу «Радиоспектральные методы исследования в химии»

1. Метод ЯМР, физические основы. ЯМР-изотопы.
2. Общие представления о спектре ЯМР. Виды спектров ЯМР.
3. Пробоподготовка в ЯМР. Достоинства и недостатки метода ЯМР. История метода. Метод ЭПР и его отличие от ЯМР.
4. Спектр ЯМР: интенсивности, шкала, частота, стандарты
5. Хим. сдвиги. Экранирование и дезэкранирование в спектрах.
6. Типы спектрометров (СВ и Фурье). Растворители для ЯМР спектроскопии.
7. Спин-спиновое взаимодействие. Мультиплетность сигналов в спектрах. КССВ. Треугольник Паскаля для  $I = 1$  и  $1/2$
8. Погрешность интегрирования и факторы, от которых она зависит. Факторы, влияющие на значение химсдвига.
9. Химическая и магнитная эквивалентность. Примеры.
10. Номенклатура спиновых систем и их анализ.
11. Стандарты в  $^1H$  и  $^{13}C$  ЯМР. Остаточные следы растворителей как стандарты.
12. Изотопные сателлиты.
13. Уравнение Карплуса-Конроя и альтернативные системы оценки диэдрального угла.
14. Отличие  $^{13}C$  ЯМР и  $^1H$  ЯМР спектров.
15.  $^{13}C$  ЯМР спектроскопия. Чувствительность метода, ядерный декаплинг. Методы ДЕРТ и АРТ.
16. Двумерные методы спектроскопии. COSY, HSQC
17. Двумерные методы спектроскопии. HMBC.
18. Ядерный эффект Оверхаузера.
19. Константа спин-спинового взаимодействия, факторы, определяющие величину. Расчёт КССВ.
20. Зависимость химсдвигов от акцепторности заместителя в ароматическом кольце. Ароматические и антиароматические системы в спектрах
21. Основные положения ЭПР спектроскопии. G-фактор

23. Особенности регистрации и интерпретации ЭПР спектров.
24. Сигналы растворителей в спектрах. Дейтерированные растворители, свойства. Химсдвиги.
25. Спектры гомоядерной корреляции INADEQUATE

#### 4.2.1 Примеры билетов к экзамену



ФГБОУ ВО «Кубанский государственный университет»  
Факультет химии и высоких технологий  
Кафедра органической химии и технологий  
Направление подготовки 04.03.01 – Химия  
Направленность (профиль) – Аналитическая химия (прикладной бакалавриат)

20\_\_-20\_\_

Дисциплина «Радиоспектральные методы исследования в химии»

Билет №

1. Метод ЯМР, физические основы. ЯМР-изотопы. Общие представления о спектре ЯМР. Виды спектров ЯМР.
2. Стандарты в  $^1\text{H}$  и  $^{13}\text{C}$  ЯМР. Остаточные следы растворителей как стандарты.
3. Интерпретация спектра в приложении. Соотнесите сигналы со структурой, объясните их характер, сделайте описание спектра.

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_



ФГБОУ ВО «Кубанский государственный университет»  
Факультет химии и высоких технологий  
Кафедра органической химии и технологий  
Направление подготовки 04.03.01 – Химия  
Направленность (профиль) – Аналитическая химия (прикладной бакалавриат)

20\_\_-20\_\_

Дисциплина «Радиоспектральные методы исследования в химии»

Билет №

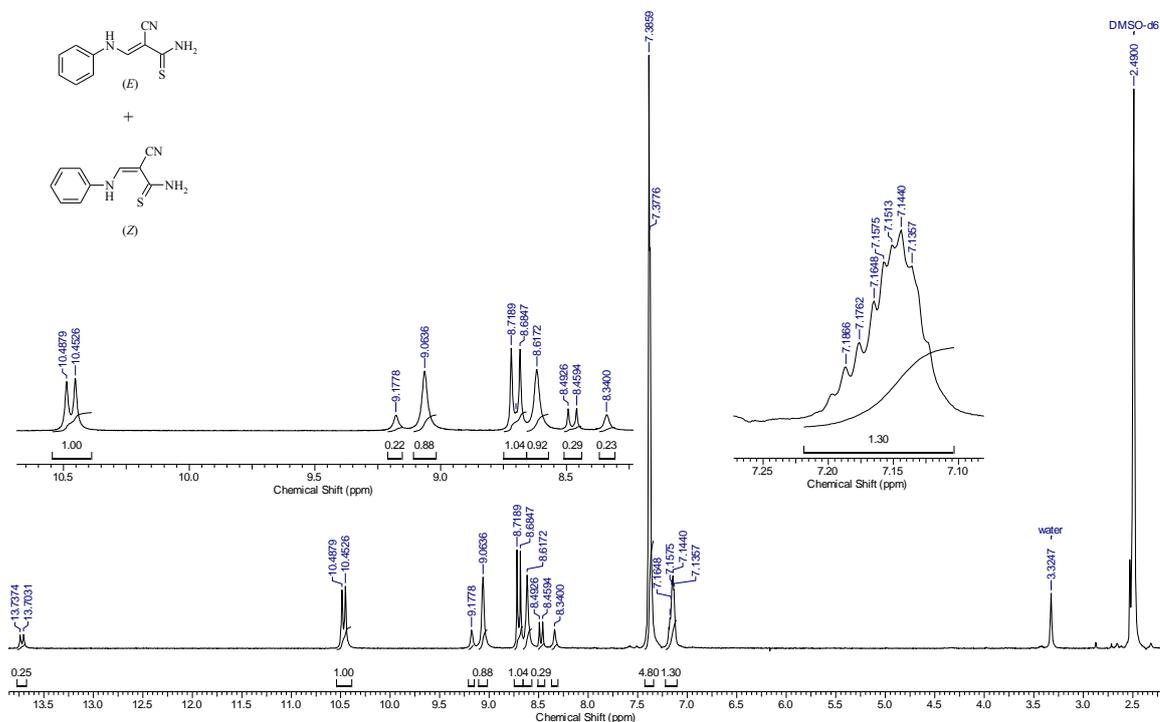
1. Пробоподготовка в ЯМР. Достоинства и недостатки метода ЯМР. История метода.
2. Изотопные сателлиты.
3. Интерпретация спектра в приложении. Соотнесите сигналы со структурой, объясните их характер, сделайте описание спектра.

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_

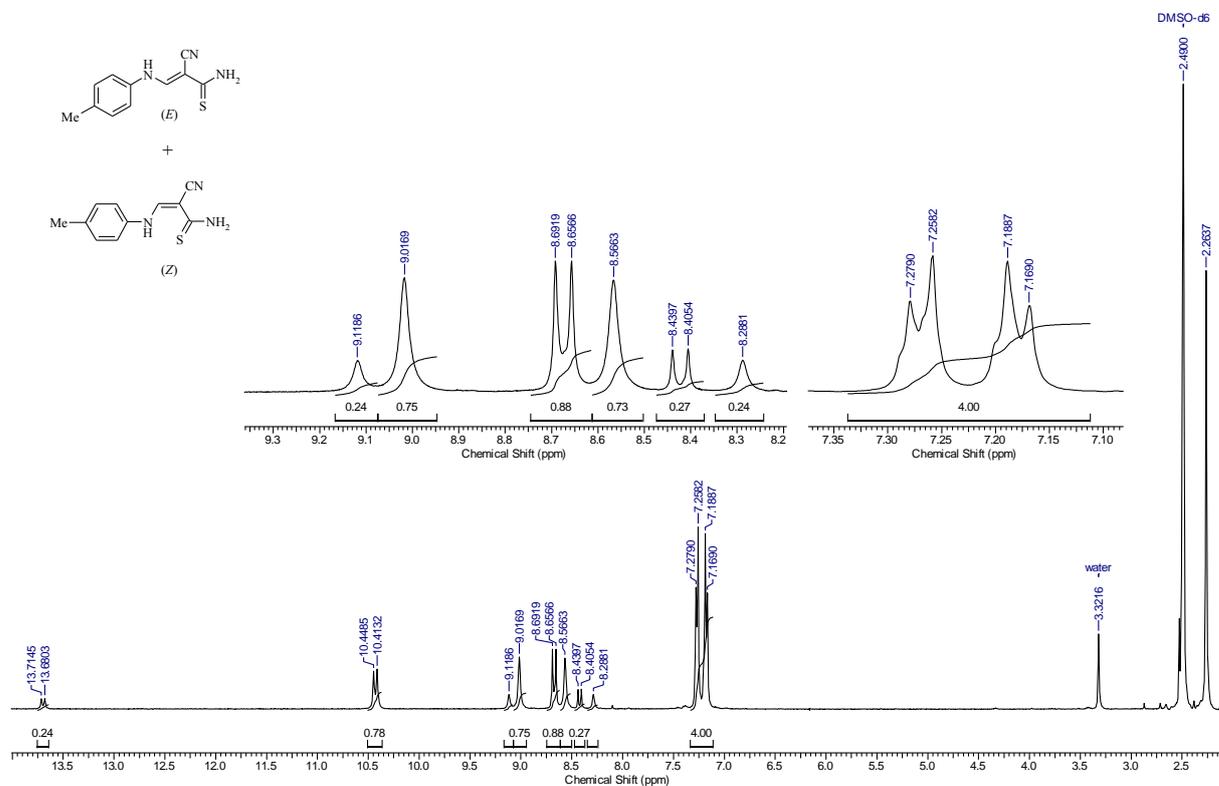
#### 4.2.2. Примеры заданий к экзаменационным билетам.

Интерпретируйте сигналы в нижеприведенном спектре. Сделайте описание, укажите соотношение изомеров (E) и (Z).

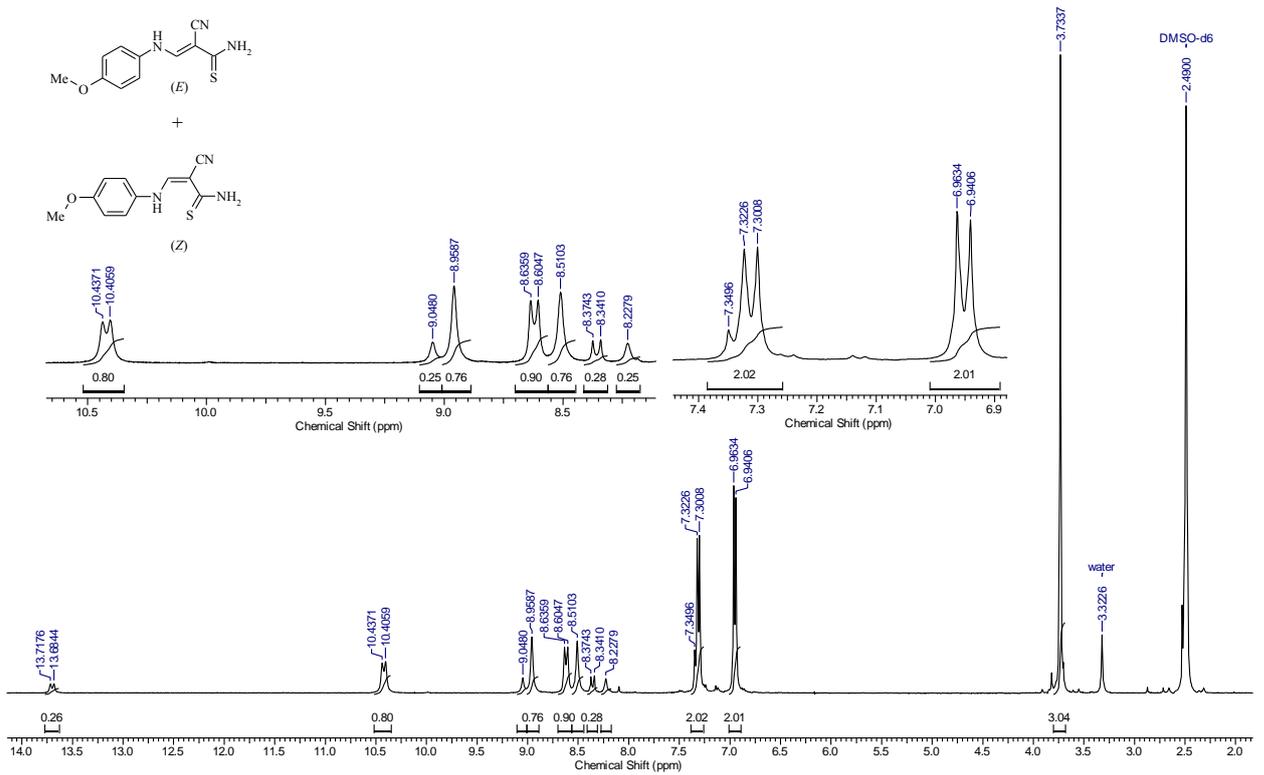
#### Спектр 1



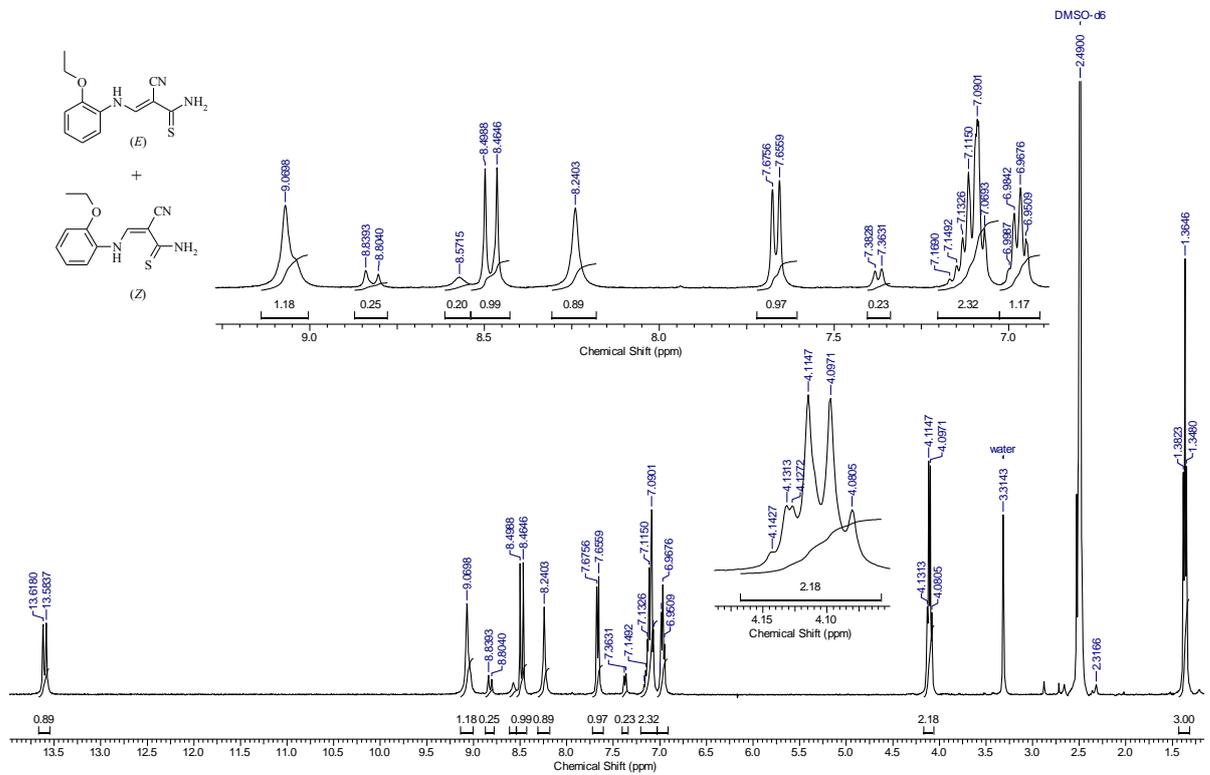
#### Спектр 2



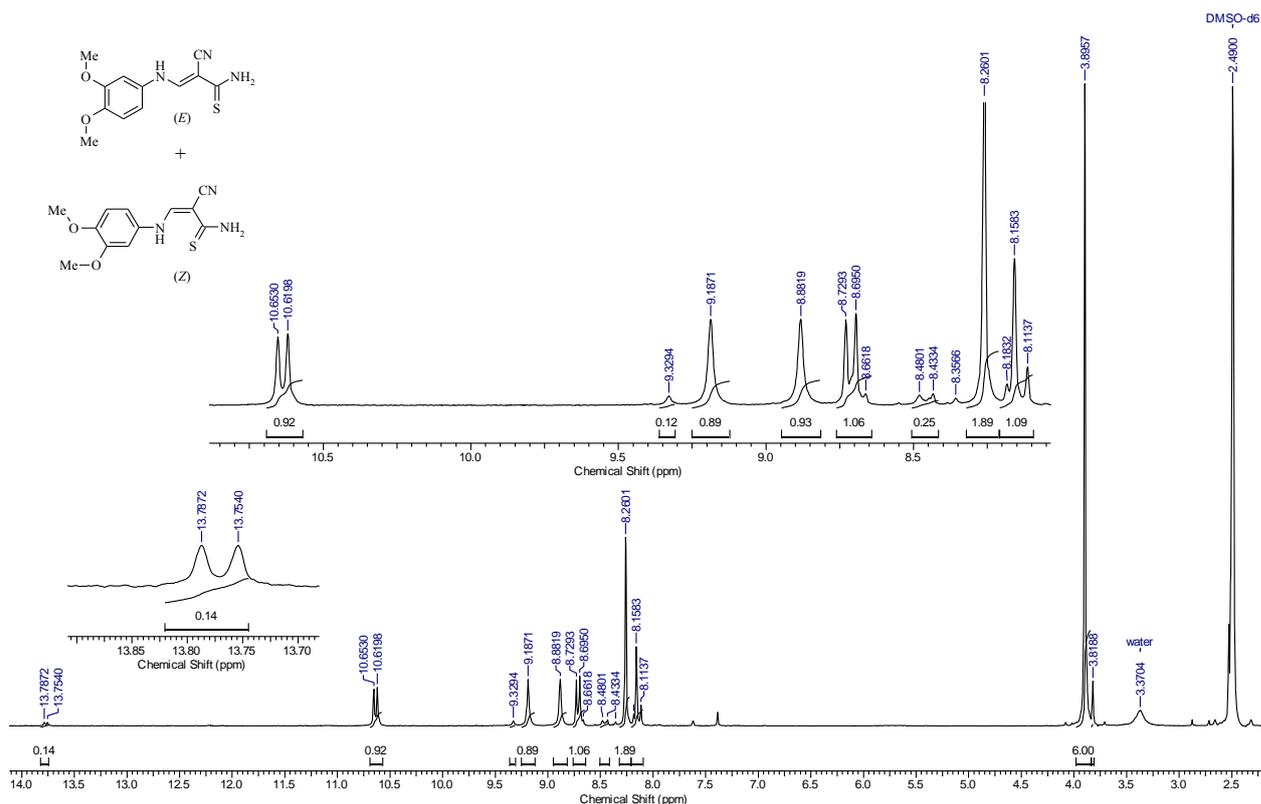
### <sup>1</sup>H ЯМР Спектр 3



### <sup>1</sup>H ЯМР спектр 4



## <sup>1</sup>H ЯМР спектр 5



### 4.2.3. Критерии оценивания

Критерии экзаменационной оценки	Оценка	Уровень
Студент свободно владеет теоретическим материалом, владеет навыками анализа и интерпретации спектральных данных и способен самостоятельно решить экзаменационную задачу.	«отлично»	повышенный (продвинутый) уровень
Студент хорошо владеет теоретическим материалом, знает базовые приемы анализа спектральных данных и имеет представление об особенностях регистрации и представления спектров радиоспектрального диапазона частот, способен справиться с экзаменационной задачей при незначительной помощи со стороны преподавателя.	«хорошо»	базовый уровень
Студент знает основные положения теории ядерного магнитного резонанса, однако плохо разбирается в специфических методах и особенностях интерпретации и представления того или иного вида спектров, с трудом справляется с экзаменационной задачей при существенной помощи со стороны преподавателя	«удовлетворительно»	пороговый уровень
Студент не способен решить экзаменационную задачу даже с помощью преподавателя и плохо владеет теоретическим материалом (наблюдаются	«неудовлетворительно»	менее 50%, уровень не сформирован

существенные ошибки при обсуждении теоретических положений, а также при интерпретации или обсуждении представления спектральных результатов).		
---	--	--

Оценочные средства для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья выбираются с учетом их индивидуальных психофизических особенностей.

– при необходимости инвалидам и лицам с ограниченными возможностями здоровья предоставляется дополнительное время для подготовки ответа на экзамене;

– при проведении процедуры оценивания результатов обучения инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья предусматривается использование технических средств, необходимых им в связи с их индивидуальными особенностями;

– при необходимости для обучающихся с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов процедура оценивания результатов обучения по дисциплине может проводиться в несколько этапов.

## **5. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля)**

### **5.1 Основная литература:**

1. Устынюк, Ю. А. Лекции по спектроскопии ядерного магнитного резонанса [Электронный ресурс] . Ч. 1 : Вводный курс / Устынюк Ю. А. - М. : Техносфера, 2016. - [https://biblioclub.ru/index.php?page=book\\_red&id=444862&sr=1](https://biblioclub.ru/index.php?page=book_red&id=444862&sr=1).

2. Спектроскопия / Беккер, Юрген ; Ю. Беккер ; пер. с нем. Л. Н. Казанцевой под ред. А. А. Пупышева, М. В. Поляковой. - М. : Техносфера, 2009. - 527 с. : ил. - (Мир химии). - Библиогр. : с. 507-522. - ISBN 9785948362205. - ISBN 9783802315812.

### **5.2 Дополнительная литература:**

1. Камышов, В.М. Строение вещества [Электронный ресурс] : учебное пособие / В.М. Камышов, Е.Г. Мирошникова, В.П. Татауров. — Электрон. дан. — Санкт-Петербург : Лань, 2018. — 236 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/105983> . — Загл. с экрана.

2. Сергеев, Николай Александрович. Основы квантовой теории ядерного магнитного резонанса / Сергеев, Николай Александрович, Рябушкин, Дмитрий Сергеевич ; Н. А. Сергеев, Д. С. Рябушкин. - Москва: Логос, 2013. - 270 с. - Библиогр.: с. 264-270. - ISBN 9785987047545.

3. Спектроскопия ядерного магнитного резонанса для химиков : [учебник для химических специальностей вузов] / Ю. М. Воловенко, В. Г. Карцев, И. В. Комаров и др. - [Москва] : [Международный благотворительный фонд "Научное Партнерство"] : ICSPF Press, 2011. - 694 с. : ил. - Библиогр.: с. 680. - ISBN 9785903078349.

### **5.3 Периодические издания**

1. Журнал органической химии
2. Журнал общей химии
3. Журнал физической химии

## **6. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины (модуля)**

1. Информационный сайт о химии, содержащий базу знаний, справочники и химические онлайн-сервисы (<http://www.xumuk.ru>).
2. И. Э. Нифантьев, П. В. Ивченко Практический курс спектроскопии ядерного магнитного резонанса. Методическая разработка. Москва 2006  
[http://www.chem.msu.su/rus/teaching/nifantev/2006\\_praktikum.pdf](http://www.chem.msu.su/rus/teaching/nifantev/2006_praktikum.pdf)
3. Сайт группы Ганса Райха, ун-т. Висконсина [www.chem.wisc.edu/areas/reich/chem605/](http://www.chem.wisc.edu/areas/reich/chem605/)
4. Поисковая база спектральных данных органических веществ AIST (Spectral database for organic compounds, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology Japan):  
[http://sdbs.db.aist.go.jp/sdbs/cgi-bin/cre\\_index.cgi?lang=eng](http://sdbs.db.aist.go.jp/sdbs/cgi-bin/cre_index.cgi?lang=eng)
5. Устынюк Юрий Александрович. Лекции. <http://www.chem.msu.su/rus/teaching/ustyniuk-nmr-lectures/welcome.html>

## 7. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

Успешное изучение дисциплины «Радиоспектральные методы исследования в химии» требует от студентов регулярного посещения лекций, а также активной работы на лабораторных занятиях, выполнения контрольных работ, успешного разбора и решения задач, ознакомления с основной и дополнительной рекомендуемой литературой.

При подготовке к лекционному занятию студентам рекомендуется:

- 1) просмотреть записи предыдущей лекции и восстановить в памяти ранее изученный материал;
- 2) бегло просмотреть материал предстоящей лекции, с целью лучшего усвоения нового материала;
- 3) самостоятельно проработать отдельные фрагменты темы прошлой лекции, если это необходимо.

При конспектировании лекционного материала студентам нужно стремиться кратко, схематично, последовательно и логично фиксировать основные положения, выводы, обобщения и формулировки, не пытаясь записать весь преподаваемый материал слово в слово.

При подготовке к лабораторному занятию рекомендуется:

- 1) внимательно изучить материал предыдущей лекции
- 2) уделить повышенное внимание особенностям предстоящей работы (используемому оборудованию, характеру интерпретируемых данных);

При выполнении работы студентам необходимо отмечать те вопросы и разделы, которые вызывают у них затруднения, с целью последующей консультации у преподавателя. Каждый студент должен стремиться активно работать на занятиях и успешно выполнять контрольные работы.

Самостоятельная работа наряду с аудиторной представляет одну из важнейших форм учебного процесса. Самостоятельная работа - это планируемая работа студентов, выполняемая по заданию и при методическом руководстве преподавателя, но без его непосредственного участия. Самостоятельная работа предназначена не только для овладения представленной дисциплиной, но и для формирования навыков работы вообще, в учебной, научной, профессиональной деятельности, способности принимать на себя ответственность, самостоятельно решать возникающие проблемы, находить правильные решения и т.д.

## Самостоятельная работа студентов

№	Вид СРС	Организация деятельности студента Форма контроля
1	2	3
1.	Изучение теоретического материала	Работа с конспектом лекций, а также с рекомендуемой основной и дополнительной литературой по заданной теме, ознакомление с периодическими изданиями и ресурсами сети Интернет. Форма контроля – устный опрос, контрольная работа.
2.	Решение задач	Изучение материала, необходимого для успешного решения задач, а также непосредственное их выполнение. Форма контроля – устный опрос, решение задач.
3.	Подготовка к текущему контролю	Изучение теоретического материала, необходимого для успешного решения задач, выполнения контрольных работ и других видов текущего контроля.

В освоении дисциплины инвалидами и лицами с ограниченными возможностями здоровья большое значение имеет индивидуальная учебная работа (консультации) – дополнительное разъяснение учебного материала.

Индивидуальные консультации по предмету являются важным фактором, способствующим индивидуализации обучения и установлению воспитательного контакта между преподавателем и обучающимся инвалидом или лицом с ограниченными возможностями здоровья.

## 8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

### 8.1 Перечень информационных технологий

1. Использование электронных презентаций при проведении лекционных занятий.
2. Проверка самостоятельно решенных задач и консультирование посредством электронной почты.

### 8.2 Перечень необходимого программного обеспечения

Для обучения необходимы:

1. Пакет Microsoft Office (Microsoft Word, PowerPoint)
2. Редактор химических формул ChemSketch из программного пакета ACD Labs (в свободном доступе <https://www.acdlabs.com/resources/freeware/chemsketch/> )
3. Редактор химических формул BioNova Draw (в свободном доступе <http://accelrys.com/products/collaborative-science/biovia-draw/draw-no-fee.php> )
4. Спектр-менеджер Spectragryph <https://www.ffmpeg2.de/spectragryph/> (в свободном доступе)

### 8.3 Перечень информационных справочных систем:

1. Научная электронная библиотека (<http://www.elibrary.ru> ).
2. Электронная библиотечная система издательства «Лань» (<http://e.lanbook.com> ).
3. Электронная библиотечная система «Юрайт» (<http://www.biblio-online.ru> ).
4. Научная электронная библиотека «КиберЛенинка» (<http://cyberleninka.ru> ).
5. Электронная библиотечная система «Университетская библиотека ONLINE» ([www.biblioclub.ru](http://www.biblioclub.ru) ).
6. Электронная библиотека НБ КубГУ <http://212.192.134.46/MegaPro/Web>

## 9. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)

Для проведения занятий по дисциплине «Радиоспектральные методы исследования в химии», предусмотренной учебным планом подготовки бакалавров, имеется необходимая материально-техническая база, соответствующая действующим санитарным и противопожарным правилам и нормам:

№	Вид работ	Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля) и оснащенность
1.	Лекционные занятия	Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа – ауд. 234с, ул. Ставропольская, 149 (комплект учебной мебели, интерактивная доска SMART Board, короткофокусный интерактивный проектор, ноутбук, меловая доска).
2.	Семинарские занятия	Семинары не предусмотрены учебным планом.
3.	Лабораторные занятия	Учебная аудитория для проведения занятий лабораторного типа – ауд. 423с, 350040 г. Краснодар, ул. Ставропольская, 149. Учебная лаборатория, укомплектованная специализированной мебелью, вытяжной системой вентиляции, меловой доской, средствами пожарной безопасности и оказания первой медицинской помощи, лабораторным оборудованием
4.	Курсовое проектирование	Курсовая работа не предусмотрена учебным планом.
5.	Групповые (индивидуальные) консультации	Аудитория для проведения групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации – ауд. 332с, ул. Ставропольская, 149 (Комплект учебной мебели, меловая доска, переносное мультимедийное оборудование).
6.	Текущий контроль, промежуточная аттестация	Аудитория для проведения групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации – ауд. 425с, ул. Ставропольская, 149 (комплект учебной мебели, меловая доска, переносное мультимедийное оборудование).
7.	Самостоятельная работа	Помещение для самостоятельной работы, 350040 г. Краснодар, ул. Ставропольская, 149 (Учебная мебель, компьютерная техника с возможностью подключения к сети «Интернет», программой экранного увеличения и доступом в электронную информационно-образовательную среду университета).