

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное учреждение  
высшего профессионального образования  
"Казанский (Приволжский) федеральный университет"  
Химический институт им. А.М. Бутлерова



УТВЕРЖДАЮ

Проректор по образовательной деятельности КФУ

Проф. Талорский Д.А.

\_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

*подписано электронно-цифровой подписью*

**Программа дисциплины**  
**Физические методы исследования БЗ.В.2**

Направление подготовки: 020100.62 - Химия

Профиль подготовки: Физическая химия

Квалификация выпускника: бакалавр

Форма обучения: очное

Язык обучения: русский

**Автор(ы):**

Чмутова Г.А.

**Рецензент(ы):**

Антипин И.С.

**СОГЛАСОВАНО:**

Заведующий(ая) кафедрой: Антипин И. С.

Протокол заседания кафедры No \_\_\_\_ от " \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 201\_\_ г

Учебно-методическая комиссия Химического института им. А.М. Бутлерова:

Протокол заседания УМК No \_\_\_\_ от " \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 201\_\_ г

Регистрационный No 737315

Казань  
2015

## Содержание

1. Цели освоения дисциплины
2. Место дисциплины в структуре основной образовательной программы
3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины /модуля
4. Структура и содержание дисциплины/ модуля
5. Образовательные технологии, включая интерактивные формы обучения
6. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины и учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов
7. Литература
8. Интернет-ресурсы
9. Материально-техническое обеспечение дисциплины/модуля согласно утвержденному учебному плану

Программу дисциплины разработал(а)(и) профессор, д.н. (профессор) Чмутова Г.А. Кафедра органической химии Химический институт им. А.М. Бутлерова, Galina.Tschmutowa@kpfu.ru

### 1. Цели освоения дисциплины

Целью освоения дисциплины "Физические методы исследования" является подготовка к научно-исследовательской деятельности для решения задач, связанных с идентификацией соединений, изучением их состава, строения и реакционной способности. В результате освоения данной дисциплины должны быть сформированы представления о современных возможностях решения структурных задач разного уровня, умения делать правильный выбор метода(ов) для получения достоверной информации и интерпретировать полученные результаты.

Дисциплина "Физические методы исследования" принадлежит к циклу общенаучных предметов, создающих базу для эффективного, более глубокого изучения специальных курсов, связанных с изучением структуры и реакционной способности тех типов соединений, которыми занимаются представители той или иной кафедры (специализации) или исследовательской лаборатории. Основные задачи изучения дисциплины состоят в получении студентами знаний о принципиальных основах важнейших физических методов, их классификации, достоинствах, специализации, чувствительности, характеристическом времени метода, блок-схемах физических приборов, методах извлечения полезной информации из полученных данных и их интерпретации, целесообразности использования того или иного метода или их совокупности при решении конкретных химических задач.

### 2. Место дисциплины в структуре основной образовательной программы высшего профессионального образования

Данная учебная дисциплина включена в раздел "Б3.В.2 Профессиональный" основной образовательной программы 020100.62 Химия и относится к вариативной части. Осваивается на 4 курсе, 8 семестр.

Дисциплина "Физические методы исследования" принадлежит к профессиональному циклу Б3. Дисциплина "Физические методы исследования" принадлежит к циклу общенаучных предметов, создающих базу для эффективного, более глубокого изучения специальных курсов, связанных с изучением структуры и реакционной способности тех типов соединений, которыми занимаются представители той или иной кафедры (специализации) или исследовательской лаборатории. Полученные знания необходимы студентам при подготовке, выполнении и защите выпускной квалификационной работы и решении научно-исследовательских и производственно-технологических задач в будущей профессиональной деятельности (идентификация соединений, определение степени их чистоты, природы примесей, получение информации о геометрии соединений в разных фазах, характере и интенсивности межмолекулярных взаимодействий, характеристик электрических, магнитных, оптических свойств веществ и т.д.).

### 3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины /модуля

В результате освоения дисциплины формируются следующие компетенции:

| Шифр компетенции                       | Расшифровка приобретаемой компетенции  |
|--|--|
| ПК-6<br>(профессиональные компетенции) | владеет навыками работы на современной учебно-научной аппаратуре при проведении химических экспериментов |
| ПК-7<br>(профессиональные компетенции) | имеет опыт работы на серийной аппаратуре, применяемой в аналитических и физико-химических исследованиях  |

| Шифр компетенции                       | Расшифровка приобретаемой компетенции  |
|--|--|
| ПК-8<br>(профессиональные компетенции) | владеет методами регистрации и обработки результатов химически экспериментов |

В результате освоения дисциплины студент:

1. должен знать:

основы теории и практики использования важнейших физических методов для решения химических проблем;

принципы устройства (блок-схему) любого физического прибора.

2. должен уметь:

правильно выбрать метод или группу методов для решения той или иной химической задачи;

3. должен владеть:

навыками анализа тонкой структуры соединений, динамики внутри- и межмолекулярных превращений на основе данных соответствующих методов.

4. должен демонстрировать способность и готовность:

Использовать свои знания на практике

#### 4. Структура и содержание дисциплины/ модуля

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 зачетных(ые) единиц(ы) 108 часа(ов).

Форма промежуточного контроля дисциплины экзамен в 8 семестре.

Суммарно по дисциплине можно получить 100 баллов, из них текущая работа оценивается в 50 баллов, итоговая форма контроля - в 50 баллов. Минимальное количество для допуска к зачету 28 баллов.

86 баллов и более - "отлично" (отл.);

71-85 баллов - "хорошо" (хор.);

55-70 баллов - "удовлетворительно" (удов.);

54 балла и менее - "неудовлетворительно" (неуд.).

#### 4.1 Структура и содержание аудиторной работы по дисциплине/ модулю

##### Тематический план дисциплины/модуля

| N  | Раздел Дисциплины/ Модуля  | Семестр | Неделя семестра | Виды и часы аудиторной работы, их трудоемкость (в часах) |                      |                     | Текущие формы контроля |
|----|--|---------|-----------------|--|----------------------|---------------------|------------------------|
|    |  |         |                 | Лекции   | Практические занятия | Лабораторные работы |                        |
| 1. | Тема 1. Общая характеристика физических и химических методов исследования строения молекул (вещества). | 8       | 1               | 2  | 0                    | 0                   |                        |

| N  | Раздел<br>Дисциплины/<br>Модуля   | Семестр | Неделя<br>семестра | Виды и часы<br>аудиторной работы,<br>их трудоемкость<br>(в часах) |                         |                        | Текущие формы<br>контроля              |
|----|---|---------|--------------------|---|-------------------------|------------------------|--|
|    |   |         |                    | Лекции  | Практические<br>занятия | Лабораторные<br>работы |  |
| 2. | Тема 2. Методы масс-спектрометрии.  | 8       | 2-4                | 6   | 4                       | 0                      |  |
| 3. | Тема 3. Методы магнитного резонанса (ЯМР, ЭПР).   | 8       | 5-7                | 6   | 4                       | 0                      | контрольная работа<br>домашнее задание |
| 4. | Тема 4. Методы колебательной спектроскопии (ИК и КРС).  | 8       | 8-9                | 4   | 4                       | 0                      |  |
| 5. | Тема 5. Методы электронной спектроскопии (спектроскопия в УФ и видимой области, фото- и рентгеноэлектронная спектроскопия).           | 8       | 10-11              | 4   | 4                       | 0                      |  |
| 6. | Тема 6. Комплексное использование физических методов для изучения структуры и реакционной способности соединений в разных состояниях. | 8       | 12                 | 2   | 2                       | 0                      | контрольная работа<br>домашнее задание |
|    | Тема . Итоговая форма контроля  | 8       |                    | 0   | 0                       | 0                      | экзамен                                |
|    | Итого   |         |                    | 24  | 18                      | 0                      |  |

#### 4.2 Содержание дисциплины

##### Тема 1. Общая характеристика физических и химических методов исследования строения молекул (вещества).

###### *лекционное занятие (2 часа(ов)):*

Принципиальная схема изучения физических свойств и через них параметров строения отдельных соединений: теория метода; физический эксперимент (физическое воздействие на вещество каким-то источником энергии, измерение отклика вещества на это воздействие; выдача информации исследователю ? и соответствующие блоки физических приборов); интерпретация полученных результатов в рамках физических законов, гипотез и т.п.; сравнение измеренных характеристик с рассчитанными для различных моделей, роль ЭВМ. Классификация физических методов; по типу воздействия на вещество, типу изучаемых свойств, характеру решаемых структурных задач, техническим возможностям и т.д. Понятие о характеристическом времени метода, чувствительности, разрешающей способности прибора. Специализация и интеграция физических методов, области их применения. Возможности современных физических методов при изучении реакционной способности химических соединений (улавливание и установление строения интермедиатов, контроль равновесий, получение кинетических характеристик химических процессов и т.д.).

##### Тема 2. Методы масс-спектрометрии.

**лекционное занятие (6 часа(ов)):**

Методы масс-спектрометрии как основа установления состава вещества, его точной молекулярной массы, фрагментов строения, потенциалов ионизации и других физических и физико-химических характеристик вещества. Типы масс-спектрометров. Характер экспериментов. Расшифровка масс-спектров.

**практическое занятие (4 часа(ов)):**

Решение задач по расшифровке структуры на основании данных метода масс-спектрометрии.

**Тема 3. Методы магнитного резонанса (ЯМР, ЭПР).**

**лекционное занятие (6 часа(ов)):**

Физические основы методов. Магнитные моменты ядер и электронов. Поведение магнитоактивных частиц во внешнем магнитном поле. Зеемановское расщепление уровней, Больцмановское распределение спинов ядер и электронов. Переходы между, уровнями, условия ядерного магнитного и электронного парамагнитного резонанса. Реализация условий ядерного магнитного резонанса. Принципиальная блок-схема ЯМР-спектрометра стационарного типа и импульсного Фурье-спектрометра ЯМР. Техника и методика эксперимента. Общий вид спектра ЯМР и его обзорный анализ. Число сигналов, их форма, положение в спектре, интенсивность. Химический сдвиг, спин-спиновое расщепление, времена продольной и поперечной релаксации. Применение в химии спектроскопии ЯМР Н1. Структурный анализ индивидуальных соединений, донорно-акцепторных и Н-комплексов, хиральных молекул. Количественный анализ смеси. Изучение быстро протекающих процессов (химический обмен ядер, внутреннее вращение). Обнаружение и характеристика структуры интермедиатов в химических реакциях (карбокатионы, ионные пары и т.п.). Определение термодинамических характеристик химических реакций. Применение в структурно-аналитических целях спектроскопии магнитного резонанса на ядрах  $^{13}\text{C}$ ,  $^{31}\text{P}$ ,  $^{19}\text{F}$ ,  $^{77}\text{Se}$  и др. Реализация условий электронного парамагнитного (спинового) резонанса. Техника и экспериментальные методики спектроскопии ЭПР. Форма сигнала. Положение резонансного сигнала и g-фактор в изотропных и анизотропных системах. Электрон-ядерное взаимодействие и сверхтонкая структура спектра ЭПР. Применение спектроскопии ЭПР в химии: структурные и кинетические исследования. Изучение электронной и пространственной структуры координационных соединений, радикалов и ион-радикалов; характеристика парамагнитных центров в твердых системах и т.п. Изучение возбужденных триплетных состояний, сольватированных электронов и т.д. Обнаружение в реагирующей системе парамагнитных центров, их идентификация, наблюдения за изменением концентраций во времени, методы спиновых меток и спиновых ловушек, матричная изоляция как приемы изучения кинетики и механизмов термических, фотохимических, радиационных, биохимических реакций.

**практическое занятие (4 часа(ов)):**

Решение задач по расшифровке структуры на основании данных метода ЯМР- спектроскопии.

**Тема 4. Методы колебательной спектроскопии (ИК и КРС).**

**лекционное занятие (4 часа(ов)):**

Теоретические основы колебательной спектроскопии. Симметрия молекул и нормальных колебаний. Классификация нормальных колебаний. Основные, или фундаментальные полосы, обертоны, нормальных колебаний. Основные, или фундаментальные полосы, обертоны, составные и разностные полосы. Интенсивность колебаний. Форма полосы. Правила отбора. Резонанс Ферми. Эффекты кристалличности. Характеристические частоты. Концепция групповых колебаний, ее достоинства и недостатки. Важнейшие области колебательных спектров (обзорный анализ). Принципы устройства и действия ИК-спектрометров. Фурье-спектроскопия. Характер и подготовка образцов. Применение ИК- и КРС-спектроскопии в химии. Структурно-групповой анализ на основе данных каждого метода (ИК- и КРС-) порознь, выводы из сопоставления ИК- и КР-спектров относительно симметрии и тонких аспектов строения молекул. Идентификация структуры (область "отпечатка пальцев", колебания функциональных групп и отдельных структурных фрагментов, качественный и количественный анализ многокомпонентных смесей, характер и степень координации лигандов в устойчивых комплексах и т.п.). Исследование пространственной структуры молекул (форма, симметрия, геометрическая изомерия, конформационный анализ). Анализ внутримолекулярных электронных взаимодействий (эффект поля, эффекты сопряжения и т.д.), характеристика дипольных моментов и поляризуемостей отдельных связей, фрагментов и т.д. Нахождение силовых полей молекулы, корреляции, силовых постоянных с другими параметрами и свойствами молекул. Использование фундаментальных частот для расчета колебательных вкладов в термодинамические функции. Исследование межмолекулярных взаимодействий (комплексы с водородной связью, комплексы с переносом заряда, сольватационные эффекты, координационный катализ и т.п.). Исследования равновесий. Кинетические исследования.

**практическое занятие (4 часа(ов)):**

Решение задач по расшифровке структуры на основании данных метода ИК- спектроскопии.

**Тема 5. Методы электронной спектроскопии (спектроскопия в УФ и видимой области, фото- и рентгеноэлектронная спектроскопия).**

**лекционное занятие (4 часа(ов)):**

Методы электронной спектроскопии (спектроскопия в УФ и видимой области, фото- и рентгеноэлектронная спектроскопия, рентгеновская флуоресцентная спектроскопия) Электронные состояния молекул, их энергия, волновые функции, мультиплетность, время жизни. Симметрия и номенклатура электронных состояний. Процессы переходов между электронными состояниями (абсорбция и эмиссия в видимой и УФ областях), их классификация, правила отбора и нарушения запретов. Процессы отрыва электрона от молекулы (ионизация, уравнение фотоэффекта); природа спектров: фотоэлектронного, рентгеноэлектронного, рентгеновской флуоресценции. Обзорный анализ электронных спектров. Техника и методики электронной (абсорбционной) спектроскопии. Подготовка образцов. Принципиальная схема фотоэлектронного спектрометра, основные узлы, методика проведения эксперимента. Применение электронных спектров; структурно-спектральные корреляции; качественный и количественный анализ; изучение внутримолекулярных электронных взаимодействий ( $p, p$ -,  $p, p$ -сопряженные системы; координационные соединения и т.п.); анализ пространственной структуры, оценка двугранных углов; исследование межмолекулярных взаимодействий (образование Н-комплексов и КПЗ, сольватационные эффекты и т.п.); изучение кинетики и термодинамики химических процессов (кислотно-основные равновесия, таутомерия и т.п.), обнаружение и характеристика структуры интермедиатов; анализ электронной структуры возбужденных состояний, исследование механизмов фотохимических реакций. Основные приемы анализа фотоэлектронных спектров. Положение полос, их интенсивность, форма. Теорема Купменса как мост между теорией и экспериментом. Понятие о вертикальных и адиабатических потенциалах ионизации. Применение вакуумной УФ- фотоэлектронной спектроскопии в химии: определение энергии и симметрии занятых молекулярных орбиталей; количественная характеристика эффектов внутримолекулярных электронных взаимодействий ( $p, p$  -,  $d, p$ ~,  $n, n$ -,  $pp$ -взаимодействия; сопряжение "через связь" и "через пространство"); влияние особенностей пространственной структуры молекул (плоскостность-неплоскостность, конформационная однородность или неоднородность и т.п.).

**практическое занятие (4 часа(ов)):**

Решение задач по расшифровке структуры на основании данных метода УФ- спектроскопии

### **Тема 6. Комплексное использование физических методов для изучения структуры и реакционной способности соединений в разных состояниях.**

#### **лекционное занятие (2 часа(ов)):**

Комплексное использование физических методов для изучения структуры и реакционной способности соединений в разных состояниях.

#### **практическое занятие (2 часа(ов)):**

Решение задач с применением комплексного использования физических методов для изучения структуры и реакционной способности соединений в разных агрегатных состояниях.

### **4.3 Структура и содержание самостоятельной работы дисциплины (модуля)**

| <b>N</b> | <b>Раздел Дисциплины</b>  | <b>Семестр</b> | <b>Неделя семестра</b> | <b>Виды самостоятельной работы студентов</b> | <b>Трудоемкость (в часах)</b> | <b>Формы контроля самостоятельной работы</b> |
|----------|---|----------------|------------------------|--|-------------------------------|--|
| 3.       | Тема 3. Методы магнитного резонанса (ЯМР, ЭПР).   | 8              | 5-7                    | подготовка домашнего задания                 | 6                             | домашнее задание                             |
|          |   |                |                        | подготовка к контрольной работе              | 12                            | контрольная работа                           |
| 6.       | Тема 6. Комплексное использование физических методов для изучения структуры и реакционной способности соединений в разных состояниях. | 8              | 12                     | подготовка домашнего задания                 | 2                             | домашнее задание                             |
|          |   |                |                        | подготовка к контрольной работе              | 10                            | контрольная работа                           |
| Итого    |   |                |                        |  | 30                            |  |

### **5. Образовательные технологии, включая интерактивные формы обучения**

- компьютерные презентации ряда лекций;
- иллюстративное сопровождение лекций с помощью кодоскопа.

### **6. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины и учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов**

**Тема 1. Общая характеристика физических и химических методов исследования строения молекул (вещества).**

**Тема 2. Методы масс-спектрометрии.**

**Тема 3. Методы магнитного резонанса (ЯМР, ЭПР).**

домашнее задание , примерные вопросы:



Дайте краткие пояснения по следующим вопросам: - Какие физические методы дают точную информацию о геометрии молекул в газовой фазе, о структуре кристаллов, поверхностей и т.д. Основные приемы извлечения информации из экспериментальных данных. - Какие физические методы можно использовать для получения информации о пространственной структуре молекул, конформации (-ях), конфигурации и т.д. Основные приемы извлечения информации. Сравнение возможностей разных физических методов по точности, скорости, возможностям варьирования агрегатного состояния вещества и т.д. - Какие физические методы дают информацию об электронной структуре молекул? На каких аспектах электронной структуры они "специализируются"? Может ли среда (растворитель) повлиять на распределение электронной плотности в основном состоянии молекулы, энергию электронных переходов в возбужденные состояния и почему? Раскройте содержание следующих понятий: - характеристическое время метода - блок-схема физического прибора - разрешающая способность прибора - диспергирующее устройство - регистрирующее устройство - ЭВМ в физических методах исследования - источники электромагнитного излучения - источники воздействия на вещество в резонансных методах - источники воздействия на вещество в прямых структурных

контрольная работа, примерные вопросы:

Вопросы к контрольной работе 1. Масс-спектр пропанола имеет следующий вид:  $m/z$  ? 27(14), 28(11), 29(17), 31(100), 39(6), 41(10), 42(13), 43(4), 45(5), 58(5), 59(15), 60(10). Какому из изомерных спиртов он принадлежит? Объясните пути образования основных фрагментных ионов. Каким Вы представляете себе ЯМР  $^1\text{H}$  спектр этого соединения? Охарактеризуйте наиболее важные особенности его ИК спектра. Будет ли последний зависеть от условий регистрации, температуры, концентрации в растворе, природы растворителя? 2. При окислении углеводорода  $\text{C}_{12}\text{H}_{18}$  (синглет при  $\delta$  2.5 м.д.) концентрированным раствором перманганата калия образуется кислота  $\text{C}_{12}\text{H}_6\text{O}_{12}$  (синглет при  $\delta$  13.5 м.д.). Напишите уравнение реакции. Что Вы можете сказать о пике молекулярного иона в масс-спектре исходного соединения? Каковы будут относительные интенсивности пиков  $(M+1)^+$ ,  $(M+2)^+$ ? 3. Спектр ЯМР  $^1\text{H}$  чистого этанола в очень чистом  $\text{CDCl}_3$  содержит триплет протона  $\text{OH}$  группы и мультиплет метиленовых протонов. Если к раствору добавить следы  $\text{HCl}$  или  $\text{H}_2\text{O}$ , триплет сливается в единую, относительно широкую линию, а метиленовые сигналы превращаются в квартет. Предложите объяснение таких изменений.

**Тема 4. Методы колебательной спектроскопии (ИК и КРС).**

**Тема 5. Методы электронной спектроскопии (спектроскопия в УФ и видимой области, фото- и рентгеноэлектронная спектроскопия).**

**Тема 6. Комплексное использование физических методов для изучения структуры и реакционной способности соединений в разных состояниях.**

домашнее задание, примерные вопросы:

Решение задач по ЯМР- спектроскопии Задача 1. В спектре ПМР, снятом на спектрометре с рабочей частотой 60 МГц, проявляются резонансные частоты 120 Гц и 153 Гц в более слабом поле относительно хлористого метилена и резонансные частоты 126 Гц, 156 Гц, 213 Гц в более сильном поле относительно хлористого метилена. Рассчитайте химические сдвиги этих сигналов (в м.д.) относительно ТМС. Каковы химические сдвиги этих сигналов относительно ТМС на спектрометре с рабочей частотой 90 Гц? Задача 2. В спектре ПМР неизвестного соединения зафиксировано три сигнала с относительными интенсивностями 1:1:6. Резонансные частоты определены: 615 Гц, 605 Гц, 350 Гц относительно ТМС (рабочая частота спектрометра 100 МГц). При съемке спектра ПМР этого же соединения на спектрометре с рабочей частотой 200 МГц эти же три сигнала имеют химические сдвиги 6.125 м.д., 6.075 м.д. и 3.500 м.д. Какому из двух соединений  $\text{Cl}_2\text{C}(\text{F})-\text{CH}(\text{OCH}_3)\text{Cl}$  (I) или  $\text{Cl}_2\text{CH}-\text{CCl}_2-\text{CH}(\text{OCH}_3)\text{Cl}$  (II) соответствуют эти спектры? Задача 3 Каковы теоретически относительные интенсивности всех линий в спектре ПМР этилового спирта (рис.1), если центральная линия триплета метильных протонов имеет относительную интенсивность 6? Задача 4 Относительная интенсивность центральной линии септета равна 10. Каковы теоретически относительные интенсивности всех линий в спектре ПМР изопропилового спирта (рис.3)? Каково отношение относительных интенсивностей синглета ОН-группы и центральной линии септета? Задача 5 Как определено из ПМР-спектра фенилэтилсульфоксида (но не фенилэтилсульфона), два метиленовых атома водорода этильной группы неэквивалентны по своим магнитным свойствам. Объясните этот факт. К какой спиновой системе относятся фенилэтилсульфоксид ( $\text{C}_6\text{H}_5\text{SOCH}_2\text{CH}_3$ ) и фенилэтилсульфон ( $\text{C}_6\text{H}_5\text{SO}_2\text{CH}_2\text{CH}_3$ ). Задача 6 При взаимодействии метилциклогексана с трифторуксусной кислотой  $\text{CF}_3\text{COOH}$  образуются два соединения (А и Б) одной и той же формулы  $\text{C}_9\text{H}_{13}\text{O}_2\text{F}_3$ . В спектре ЯМР соединения А наблюдается узкий синглет (3H), которого нет в спектре соединения Б. Напишите структурные формулы для соединений А и Б. Какое из этих соединений образуется в большем количестве?

контрольная работа , примерные вопросы:

Вопросы к контрольной работе ♦ 2 1. Изобразите структурные формулы соединений А-В формулы  $\text{C}_8\text{H}_8\text{O}_2$ , используя следующие спектральные данные: ИК спектры: для всех соединений полосы 690, 750, 1610 и 3040 ? 3000  $\text{cm}^{-1}$  (для А в последней области ? широкая полоса); для Б и В две интенсивные полосы при 1225  $\text{cm}^{-1}$ . Спектры ЯМР  $^1\text{H}$ : А ? три синглета при 3.7; 7.5 и 13.3 (уширенный) м.д.; соотношение интенсивностей 2:5:1; Б - 2.2 (синглет); 7.2 (мультиплет); соотношение интенсивностей сигналов 3:5; В - 3.7 (синглет); 7.4 (мультиплет); соотношение интенсивностей 3:5. 2. Пригоден ли, по Вашему мнению, метод электронной спектроскопии для того, чтобы следить за ходом реакций Дильса ? Альдера ? Ответ мотивируйте. 3. Установите строение вещества с брутто-формулой  $\text{C}_4\text{H}_8\text{O}_2$  на основании следующих данных: Спектр ЯМР  $^1\text{H}$  (d, м.д. ): 1.15 (триплет); 2.0 (синглет); 4.0 (квадруплет); соотношение интенсивностей 3:3:2 соответственно. Масс-спектр (m/e) : 88 (10), 73 (12), 70 (6), 61 (15), 45 (10), 44 (3), 43 (100), 42 (8), 29 (20), 28 (10), 27 (9), 15 (8). ИК спектр : нет поглощения в области свыше 3 000  $\text{cm}^{-1}$ ; интенсивное поглощение при 1742  $\text{cm}^{-1}$ , 1233  $\text{cm}^{-1}$  и 1054  $\text{cm}^{-1}$ . УФ спектр :  $\lambda_{\text{max}}$  (в гексане) 207 нм ( $\lg \epsilon = 1.84$ ).

## Тема . Итоговая форма контроля

Примерные вопросы к экзамену:

### ПРИМЕРЫ БИЛЕТОВ К ЭКЗАМЕНУ

Билет ♦ 1

- 1.Общая характеристика физических методов исследования. Их отличие от химических методов. Принципиальная схема любого физического прибора. Понятие о прямой и обратной структурной задаче. Классификация ФМИ.
2. Охарактеризуйте смысл следующих терминов и понятий (поясните также, к какому или к каким физическим методам они имеют отношение):
  - химический сдвиг
  - константа сверхтонкого взаимодействия
  - импульсная спектроскопия

- спиновая плотность
- разрешенность (запрет) по симметрии переходов между энергетическими уровнями в молекулярной спектроскопии, проявление в спектрах
- фактор сходимости и его оценки

### 3. Задача.

Установите строение вещества с брутто-формулой  $C_4H_8O_2$  на основании следующих данных:

Спектр ЯМР  $^1H$  ( $d$ , м.д.): 1.15 (триплет); 2.0 (синглет); 4.0 (квадруплет); соотношение интенсивностей 3:3:2 соответственно.

Масс-спектр ( $m/e$ ): 88 (10), 73 (12), 70 (6), 61 (15), 45 (10), 44 (3), 43 (100), 42 (8), 29 (20), 28 (10), 27 (9), 15 (8).

ИК спектр: нет поглощения в области свыше 3 000  $cm^{-1}$ ; интенсивное поглощение при 1742  $cm^{-1}$ , 1233  $cm^{-1}$  и 1054  $cm^{-1}$ .

УФ спектр:  $\lambda_{max}$  (в гексане) 207 нм ( $\lg \epsilon = 1.84$ ).

Билет ♦ 2

1. Метод масс-спектрометрии, основы теории и эксперимента. Расшифровка масс-спектров, общие приемы и правила.

2. Охарактеризуйте смысл следующих терминов и понятий (поясните также, к какому или к каким физическим методам они имеют отношение):

- мультиплет первого порядка и мультиплеты высшего порядка
- $g$  - фактор электрона
- характеристическая частота
- фактор сходимости и его оценки
- потенциал появления, потенциал ионизации (вертикальный и адиабатический)
- пик молекулярного иона, пики изотопных ионов, фрагментные ионы (ион-радикалы).

### 3. Задачи

а) Пригоден ли, по Вашему мнению, метод электронной спектроскопии для того, чтобы следить за ходом реакции Дильса - Альдера? Ответ мотивируйте.

б) Охарактеризуйте спектры ЯМР  $^1H$  дифтор- и дихлорэтиленов. Будут ли они отличаться друг от друга, и, если "да", то чем?

Билет ♦ 3

1. Методы колебательной спектроскопии. Общая характеристика. ИК спектроскопия. Основы теории и техники эксперимента. Использование в структурных целях и для изучения реакционной способности.

2. Раскройте содержание следующих понятий:

- характеристическое время метода
- блок-схема физического прибора
- разрешающая способность прибора
- диспергирующее устройство
- регистрирующее устройство

### 3. Задача.

Изобразите структурные формулы соединений А-В формулы  $C_8H_8O_2$ , используя следующие спектральные данные:

ИК спектры: для всех соединений полосы 690, 750, 1610 и 3040 - 3000  $cm^{-1}$  (для А в последней области - широкая полоса); для Б и В две интенсивные полосы при 1225  $cm^{-1}$ .

Спектры ЯМР  $^1\text{H}$ : А - три синглета при 3.7; 7.5 и 13.3 (уширенный) м.д.; соотношение интенсивностей 2:5:1;  
Б - 2.2 (синглет); 7.2 (мультиплет); соотношение интенсивностей сигналов 3:5;  
В - 3.7 (синглет); 7.4 (мультиплет); соотношение интенсивностей 3:5.

### 7.1. Основная литература:

1. Каратаева Ф.Х., Клочков В.В. Спектроскопия ЯМР в органической химии. Часть I. [Электронный ресурс], 2013. (Для студентов и аспирантов химического и биологического факультетов) Режим доступа: [http://kpfu.ru//staff\\_files/F799149685/SPEKTROSKOPIYa.YaMR.V.ORG..HIMII..Chast.I...New\\_2013.postl..](http://kpfu.ru//staff_files/F799149685/SPEKTROSKOPIYa.YaMR.V.ORG..HIMII..Chast.I...New_2013.postl..)
2. Каратаева, Ф.Х. Спектроскопия ЯМР в органической химии: [учебное пособие] / Ф. Х. Каратаева, В. В. Клочков. - Казань: Казанский университет, 2013. - 214 с. 1: Общая теория ЯМР. Химические сдвиги  $^1\text{H}$  и  $^{13}\text{C}$ . - 2013. - 130 с.
3. Каратаева Ф.Х., Клочков В.В. // Спектроскопия ЯМР  $^1\text{H}$  и  $^{13}\text{C}$  в органической химии. - Казань, 2007. - 154 с.
4. Шабаров Ю. С. Органическая химия. [Электронный ресурс] - 5-е изд., стер. - Санкт-Петербург: Лань, 2011. - 848 с.  
Режим доступа: [http://e.lanbook.com/books/element.phppl1\\_cid=25&pl1\\_id=4037](http://e.lanbook.com/books/element.phppl1_cid=25&pl1_id=4037)
5. Федотов М.А. Ядерный магнитный резонанс в неорганической и координационной химии. Растворы и жидкости. [Электронный ресурс] - М.: Физматлит, 2010. - 384 с.  
Режим доступа: [http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_cid=25&pl1\\_id=2151](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&pl1_id=2151)

### 7.2. Дополнительная литература:

1. Пентин, Ю.А. Физические методы исследования в химии: учебник для студентов / Ю. А. Пентин, Л. В. Вилков. - Москва: Мир, [2012]. - 683 с.
2. Бердников Е.А., Казымова М.А. Задачи и упражнения по ЯМР- спектроскопии в органической химии. Часть 1. // Казань, 2007. - 104 с.
3. Камалова Д. И., Салахов М. Х. Лекции по прикладной инфракрасной спектроскопии: учебное пособие. Казань Казанский государственный университет, 2009. 167 с.

### 7.3. Интернет-ресурсы:

База данных характеристик химических соединений - <http://nmrshiftdb.nmr.uni-koeln.de>  
База химических и физико-химических свойств соединений, 2013 - <http://chemeo.com>  
Материалы курса для студентов Фалнльтета молекулярной и биологической физики МФТИ, 2012 - <http://bio.fizteh.ru/student/files/fizmetody>  
Материалы курса "Физические методы исследования макромолекул и биологических объектов" для студентов Саратовского государственного университета, 2012. - <http://optics.sgu.ru/library/education/structurestudy>  
Спектральная база данных органических соединений, 2012 - [http://sdfs.riodb.aist.go.jp/sdfs/cgi-bin/direct\\_frame\\_top.cgi](http://sdfs.riodb.aist.go.jp/sdfs/cgi-bin/direct_frame_top.cgi)

## 8. Материально-техническое обеспечение дисциплины(модуля)

Освоение дисциплины "Физические методы исследования" предполагает использование следующего материально-технического обеспечения:

Мультимедийная аудитория, вместимостью более 60 человек. Мультимедийная аудитория состоит из интегрированных инженерных систем с единой системой управления, оснащенная современными средствами воспроизведения и визуализации любой видео и аудио информации, получения и передачи электронных документов. Типовая комплектация мультимедийной аудитории состоит из: мультимедийного проектора, автоматизированного проекционного экрана, акустической системы, а также интерактивной трибуны преподавателя, включающей тач-скрин монитор с диагональю не менее 22 дюймов, персональный компьютер (с техническими характеристиками не ниже Intel Core i3-2100, DDR3 4096Mb, 500Gb), конференц-микрофон, беспроводной микрофон, блок управления оборудованием, интерфейсы подключения: USB, audio, HDMI. Интерактивная трибуна преподавателя является ключевым элементом управления, объединяющим все устройства в единую систему, и служит полноценным рабочим местом преподавателя. Преподаватель имеет возможность легко управлять всей системой, не отходя от трибуны, что позволяет проводить лекции, практические занятия, презентации, вебинары, конференции и другие виды аудиторной нагрузки обучающихся в удобной и доступной для них форме с применением современных интерактивных средств обучения, в том числе с использованием в процессе обучения всех корпоративных ресурсов. Мультимедийная аудитория также оснащена широкополосным доступом в сеть интернет. Компьютерное оборудование имеет соответствующее лицензионное программное обеспечение.

Компьютерный класс, представляющий собой рабочее место преподавателя и не менее 15 рабочих мест студентов, включающих компьютерный стол, стул, персональный компьютер, лицензионное программное обеспечение. Каждый компьютер имеет широкополосный доступ в сеть Интернет. Все компьютеры подключены к корпоративной компьютерной сети КФУ и находятся в едином домене.

Учебно-методическая литература для данной дисциплины имеется в наличии в электронно-библиотечной системе "БиблиоРоссика", доступ к которой предоставлен студентам. В ЭБС "БиблиоРоссика" представлены коллекции актуальной научной и учебной литературы по гуманитарным наукам, включающие в себя публикации ведущих российских издательств гуманитарной литературы, издания на английском языке ведущих американских и европейских издательств, а также редкие и малотиражные издания российских региональных вузов. ЭБС "БиблиоРоссика" обеспечивает широкий законный доступ к необходимым для образовательного процесса изданиям с использованием инновационных технологий и соответствует всем требованиям федеральных государственных образовательных стандартов высшего профессионального образования (ФГОС ВПО) нового поколения.

Учебно-методическая литература для данной дисциплины имеется в наличии в электронно-библиотечной системе "ZNANIUM.COM", доступ к которой предоставлен студентам. ЭБС "ZNANIUM.COM" содержит произведения крупнейших российских учёных, руководителей государственных органов, преподавателей ведущих вузов страны, высококвалифицированных специалистов в различных сферах бизнеса. Фонд библиотеки сформирован с учетом всех изменений образовательных стандартов и включает учебники, учебные пособия, УМК, монографии, авторефераты, диссертации, энциклопедии, словари и справочники, законодательно-нормативные документы, специальные периодические издания и издания, выпускаемые издательствами вузов. В настоящее время ЭБС ZNANIUM.COM соответствует всем требованиям федеральных государственных образовательных стандартов высшего профессионального образования (ФГОС ВПО) нового поколения.

Учебно-методическая литература для данной дисциплины имеется в наличии в электронно-библиотечной системе Издательства "Лань", доступ к которой предоставлен студентам. ЭБС Издательства "Лань" включает в себя электронные версии книг издательства "Лань" и других ведущих издательств учебной литературы, а также электронные версии периодических изданий по естественным, техническим и гуманитарным наукам. ЭБС Издательства "Лань" обеспечивает доступ к научной, учебной литературе и научным периодическим изданиям по максимальному количеству профильных направлений с соблюдением всех авторских и смежных прав.

Компьютерный проектор, кодоскоп.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВПО и учебным планом по направлению 020100.62 "Химия" и профилю подготовки Физическая химия .

Автор(ы):

Чмутова Г.А. \_\_\_\_\_

"\_\_" \_\_\_\_\_ 201\_\_ г.

Рецензент(ы):

Антипин И.С. \_\_\_\_\_

"\_\_" \_\_\_\_\_ 201\_\_ г.