

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Юго-Западный государственный университет

УТВЕРЖДАЮ:

Проректор по научной работе



О.Г. Добросердов

08 20 15 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Спектральные методы исследования полупроводников  
(наименование дисциплины)

направление подготовки (специальность) 03.06.01 Физика и астрономия  
(шифр согласно ФГОС)

направленность "Физика полупроводников"  
и наименование направления подготовки (специальности)

форма обучения заочная  
(очная, очно-заочная, заочная)

Курск - 2015

Рабочая программа составлена в соответствии с Федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования по направлению подготовки 03.06.01 Физика и астрономия, и на основании учебного плана направления подготовки 03.06.01 Физика и астрономия, одобренного Ученым советом университета протокол № 10 от 29.06.2015 г.

Рабочая программа обсуждена и рекомендована к применению в образовательном процессе для обучения студентов по направлению подготовки 03.06.01 Физика и астрономия на заседании кафедры нанотехнологий и инженерной физики протокол № 1 « 29 » 08 2015 г.

Зав. кафедрой нанотехнологий и инженерной физики \_\_\_\_\_ А.Е. Кузько

Разработчик программы, к.ф.-м.н., доцент \_\_\_\_\_ А.Е. Кузько

Директор научной библиотеки \_\_\_\_\_ В. Г. Макаровская

Начальник отдела аспирантуры и докторантуры \_\_\_\_\_ О.Ю.Прусова

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и рекомендована к применению в образовательном процессе на основании учебного плана направления подготовки \_\_\_\_\_ направленность (профиль, специализация) \_\_\_\_\_, одобренного Ученым советом университета протокол № «\_\_» \_\_\_\_\_ 20 г. на заседании кафедры \_\_\_\_\_  
(наименование кафедры, дата, номер протокола)

Зав. кафедрой \_\_\_\_\_

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и рекомендована к применению в образовательном процессе на основании учебного плана направления подготовки \_\_\_\_\_ направленность (профиль, специализация) \_\_\_\_\_, одобренного Ученым советом университета протокол № «\_\_» \_\_\_\_\_ 20 г. на заседании кафедры \_\_\_\_\_  
(наименование кафедры, дата, номер протокола)

Зав. кафедрой \_\_\_\_\_

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и рекомендована к применению в образовательном процессе на основании учебного плана направления подготовки \_\_\_\_\_ направленность (профиль, специализация) \_\_\_\_\_, одобренного Ученым советом университета протокол № «\_\_» \_\_\_\_\_ 20 г. на заседании кафедры \_\_\_\_\_  
(наименование кафедры, дата, номер протокола)

Зав. кафедрой \_\_\_\_\_

# 1 Планируемые результаты обучения соотнесенные с планируемыми результатами освоения ОП

## 1.1. Цели преподавания дисциплины:

Формирование понимания принципиальных основ, практических возможностей и ограничений важнейших современных спектральных методов исследования полупроводниковых материалов, знакомство с их аппаратурным оснащением и условиями проведения эксперимента, умение интерпретировать и грамотно оценивать экспериментальные данные, в том числе публикуемые в научной литературе, умение производить оптимальный выбор методов для решения поставленных перед исследователем физико-химических проблем и делать заключения на основании анализа и сопоставления всей совокупности имеющихся данных.

## 1.2. Задачи изучения дисциплины:

- ознакомить аспирантов с принципиальными основами и практическими возможностями современных спектральных методов исследования, с их аппаратурным оснащением и условиями проведения эксперимента;
- научить современным методам обработки результатов спектральных методов исследования;
- сформировать экспериментальные навыки и навыки анализа различных спектральных методов эксперимента;
- ознакомить с планированием и моделированием физического эксперимента, использующего спектральные методы исследования.

## 1.3. Компетенции формируемые в результате освоения учебной дисциплины:

### Профессиональные компетенции (ПК):

- ПК-4 способность к профессиональной эксплуатации современного исследовательского оборудования и приборов в научной деятельности и понимание физических принципов их работы;
- ПК-6 способность использовать прикладные программы пользовательского назначения, специализированные программы.

Знания, умения и навыки, которые являются конкретизацией установленных компетенций:

– **знать**: физические основы современного спектрального оборудования по исследованию полупроводников, распространённые методики работы на нём; параметры работы, условия эксплуатации и области применения приборов;

– **уметь**: осуществлять исследования физических характеристик полупроводниковых материалов на современном спектральном оборудовании; производить текущую оптимальную настройку оборудования в процессе эксплуатации;

– **владеть навыками**: выбора оптимальных спектральных методов исследования для анализа основных характеристик полупроводниковых материалов, эксплуатации современного оборудования и приборов.

## 2 Место дисциплины в структуре образовательной программы»

Дисциплина «Спектральные методы исследования полупроводников» Б1.В.ДВ.1) находится в блоке дисциплин по выбору учебного плана направления подготовки 03.06.01 Физика и астрономия, изучается на 3 курсе, в 5 семестре.

## 3 Содержание и объем дисциплины

### 3.1 Содержание дисциплины и лекционных занятий

Общая трудоемкость (объем) дисциплины составляет 3 зачетных единицы (з.е.), 108 часов.

Таблица 3.1 –Объем дисциплины по видам учебных занятий

Объем дисциплины,	Всего, часов
Общая трудоемкость дисциплины	108
Контактная работа обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) (всего)	36
в том числе:	
лекции	18
лабораторные занятия	не предусмотрено
практические занятия	18
экзамен	не предусмотрено
зачет	5 семестр
курсовая работа (проект)	не предусмотрено
расчетно-графическая (контрольная) работа	не предусмотрено
Аудиторная работа (всего):	36
в том числе:	
лекции	18
лабораторные занятия	не предусмотрено
практические занятия	18
Самостоятельная работа обучающихся (всего)	72
Контроль/экз (подготовка к экзамену)	не предусмотрено

Таблица 3.2 – Содержание дисциплины и ее методическое обеспечение

№ п/п	Раздел (тема) дисциплины	Виды деятельности			Учебно-методические материалы	Формы текущего контроля успеваемости (по неделям семестра)	Компетенции
		№ лек., час	№ лаб., час	№ пр., час			
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Общие характеристики спектральных методов исследования	1, 2 ч.		1, 2 ч.	У-1 МУ-2	С 2-я неделя	ПК-4 ПК-6
2	Определение основных физических параметров явлений переносов в полупроводниках с использованием фотоэлектрических методов измерений	2, 2 ч.	0	2, 2 ч.	У-1 У-2 У-3 МУ-1	КО 3-я неделя	ПК-4
3	Спектроскопия в видимой и ультрафиолетовой (УФ) областях	3, 2 ч.	0	3, 2 ч.	У-3 У-4 МУ-1	С 4-я неделя	ПК-4 ПК-6
4	Методы колебательной спектроскопии (ИК) и спектроскопии комбинационного рассеяния (КР)	4,5, 4 ч.	0	4,5, 4 ч.	У-2 У-6 МУ-1 МУ-2	КО 5-я неделя	ПК-4 ПК-6
5	Рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия (РФЭС), метод рентгенофлуоресцентного анализа (РФА) и электронная оже-спектроскопия (ЭОС).	6,7 4 ч.	0	6,7 4 ч.	У-2 У-6 МУ-1 МУ-2	С 7-я неделя	ПК-4 ПК-6
6	Сканирующая ближнепольная оптическая микроскопия (СБОМ)	8, 2 ч.	0	8, 2 ч.	У-2 У-6 МУ-2	С 8-я неделя	ПК-4
7	Спектроскопия ХПЭ	9, 2 ч.	0	9, 2 ч.	У-2 У-6 МУ-2	С 9-я неделя	ПК-4
<b>Итого</b>		18	0	18		3, 3 с	

Таблица 3.3 – Краткое содержание лекционного курса

№ п/п	Раздел (тема) дисциплины	Содержание
1	2	3
1	Общие характеристики спектральных методов исследования	<p><b>Классификация методов исследования.</b> Понятие метрологии. Математические методы обработки прямых и косвенных измерений. Прямые и обратные задачи. Условия корректности обратных задач. Типы измерительных систем. Характеристическое время метода. Пространственное, поверхностное и энергетическое разрешения. Чувствительность. Время срабатывания. Виды шумов.</p> <p><b>Теоретические основы спектроскопических методов.</b> Общая характеристика методов спектроскопии. Приближение Борна-Оппенгеймера. Соотношения между электронными, колебательными и вращательными переходами. Функция Морзе. Принцип Франка-Кондона. Электронные, колебательные, вращательные, спиновые и ядерные переходы как результат различных типов внутриатомных или внутримолекулярных взаимодействий, определяющих соответствующую спектральную область.</p> <p><b>Проблемы получения и регистрации спектров.</b> Принципиальная схема спектроскопических измерений в любой области спектра. Основные узлы спектральной установки. Источники электромагнитного излучения (нагретые тела, газоразрядные источники, пламена, лазеры, рентгеновские трубки, <math>\gamma</math>-излучатели). Монохроматизация излучения. Характеристики спектральных приборов - разрешающая сила, дисперсия, светосила, аппаратная функция. Критерий Рэлея в оценке разрешающей силы.</p>
2	Определение основных физических параметров явлений переносов в полупроводниках с использованием фотоэлектрических методов измерений	Электронные переходы и фотопроводимость. Измерение стационарной фотопроводимости. Определение параметров по измерениям фото ЭДС: времени жизни, скорости поверхностной рекомбинации и коэффициента диффузии. Фотомагнитоэлектрический эффект: определение диффузной длины, подвижности носителей заряда.
3	Спектроскопия в видимой и ультрафиолетовой (УФ) областях	Вид и положение полос поглощения, типы электронных переходов, природа поглощения света веществом, ограничения. Образцы. Способы изображения спектров, терминология. Эмиссионная УФ спектроскопия. Вероятности переходов между электронно-колебательно-вращательными состояниями. Принцип Франка - Кондона. Классификация и отнесение электронных переходов. Техника спектроскопии в видимой и УФ областях.

4	<p>Методы колебательной спектроскопии (ИК) и спектроскопии комбинационного рассеяния (КР)</p>	<p><b>Квантовомеханический подход к описанию колебательных спектров.</b> Уровни энергии, их классификация, фундаментальные, обертоновые и составные частоты. Интенсивность полос колебательных спектров. Правила отбора и интенсивность в ИК поглощении и в спектрах КР. Число колебательных степеней свободы, естественные и нормальные координаты. Расчёт частот нормальных колебаний. Деформационные и валентные колебания. Коэффициенты кинематического взаимодействия. Силовые постоянные. Симметрия нормальных колебаний, координаты симметрии. Условия характеристичности частот. Типы колебаний и интенсивность полос поглощения. Зависимость частоты колебаний от массы атомов и кратности связи. Основные области ИК спектра. Факторы, влияющие на ИК спектр. Стерические эффекты, эффект масс, изотопный эффект, сопряжение.</p> <p><b>Применение методов колебательной спектроскопии</b> для качественного и количественного анализов. Специфичность колебательных спектров. Техника и методики ИК спектроскопии и спектроскопии КР. Аппаратура ИК спектроскопии, прозрачные материалы, приготовление образцов. Аппаратура спектроскопии КР, преимущества лазерных источников возбуждения.</p> <p><b>Спектроскопия комбинационного рассеяния.</b> Типы рассеяния света: эластичное (упругое) релеевское и неэластичное (неупругое) рамановское рассеяние света. Уравнение Релея. Стоксовы и антистоксовы линии КР. Сравнение Рамановского рассеяния и инфракрасной спектроскопии. Блок-схема спектрометра КР. Источники излучения. Сравнение характеристик метода при двух способах возбуждения спектров КР (ламповое и лазерное). Области применения спектроскопии рамановского рассеяния.</p>
---	---	---

5	Рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия (РФЭС), метод рентгенофлуоресцентного анализа (РФА) и электронная оже-спектроскопия (ЭОС).	<p><b>Общая характеристика рентгеновских методов.</b> Уточнённый закон Мозли. Условие дифракции рентгеновских лучей, уравнение Вульфа-Бреггов. Тормозное и характеристическое рентгеновское излучение. Уточнённый закон Мозли. Поглощение (резонансные К-, L- .. поглощение) и дифракция рентгеновских лучей. Семейства атомных плоскостей, индексы Миллера. Классификация рентгеновских методов анализа. Методы Лауэ и Дебая-Шерра (метода порошка) в рентгеноструктурном анализе. Особенности методов вращения, Вайссенберга и рентгенофазного анализа. Рентгеноабсорбционный анализ.</p> <p>Процесс фотоэлектронной эмиссии. Источники фотонов. Электронная эмиссия, возбуждаемая рентгеновским излучением. РФЭС-спектрометры. Спектры фотоэмиссии основных уровней атома. Энергии связи валентных электронов и электронов внутренних оболочек по данным РФЭС. РФЭС - как спектроскопия для анализа состава поверхности. Сопоставление методов исследования поверхности ЭОС и РФЭС.</p> <p>Физические основы метода электронной оже-спектроскопии. Оже-переходы, энергия оже-электронов в твердом теле. Электронные спектрометры. Блок-схема спектрометра. Химические сдвиги в оже-спектрах твердого тела и форма пиков. ЭОС как метод анализа состава поверхности. Количественная оже-спектроскопия. Применение ЭОС для послойного анализа.</p> <p><b>Аппаратное оформление методов РФЭС, ЭОС, РФА.</b> Вакуумная система. Источник рентгеновского излучения для РФЭС. Источник рентгеновского излучения для РФА. Высокоэнергетическая электронная пушка для ЭОС. Анализаторы энергий в РФЭС и ЭОС. Детектор для РФЭС и ЭОС. Детектора для РФА.</p> <p><b>Теоретические основы методов РФЭС, ЭОС и РФА.</b> Первичный и вторичный фотоэффекты. Терминология. jj-связь. LS-связь. Взаимодействие вещества с излучением. Энергии фотоэлектронов и оже-переходов. Глубина анализа. Оже-спектры. Характеристические серии оже-пиков. Тонкая структура оже-линий. Пики плазмонных потерь. Рентгеновские фотоэлектронные спектры. Первичная структура. Основные уровни. Валентные уровни. Оже-серии. Информация, получаемая из первичной структуры спектров. Химические сдвиги основных уровней. Химические сдвиги оже-линий. Вторичная структура спектров. Мультиплетное расщепление. Сателлиты "встряски". Асимметричные основные уровни металлов. Сателлиты "стряхивания". Профилирование по глубине. Компенсация статической зарядки исследуемой поверхности. Качественное и количественное определение состава поверхности методами РФЭС и ЭОС. Качественный и количественный РФА</p>
6	Сканирующая ближнеполюсная оптическая микроскопия (СБОМ)	Нераспространяющиеся световые волны. Проблемы подвода малоразмерных диафрагм к образцам на постоянной высоте. Техническая реализация СБОМ. Поперечно-силовая микроскопия, метод пропускания и метод отражения. Использование методов СЗМ в исследовании наноструктур и поверхности твердого тела.
7	Спектроскопия ХПЭ	Физические основы метода спектроскопии ХПЭ. Коллективное возбуждение электронов проводимости в твердом теле. Плазмоны. Неупругое рассеяние фононов. Спектры ХПЭ поверхности кремния и поверхностных фаз. Спектроскопия ХПЭ для анализа поверхности.



### 3.2 Лабораторные работы и (или) практические занятия

#### 3.2.2 Практические занятия

Таблица 3.4 – Практические занятия

№ зан.	Наименование и краткое содержание занятия	Объем в час.
1	Общие характеристики спектральных методов исследования	2
2	Определение основных физических параметров явлений переносов в полупроводниках с использованием фотоэлектрических методов измерений	2
3	Спектроскопия в видимой и ультрафиолетовой (УФ) областях	2
4, 5	Методы колебательной спектроскопии (ИК) и спектроскопии комбинационного рассеяния (КР)	4
6, 7	Рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия (РФЭС), метод рентгенофлуоресцентного анализа (РФА) и электронная оже-спектроскопия (ЭОС)	4
8	Сканирующая ближнепольная оптическая микроскопия (СБОМ)	2
9	Спектроскопия ХПЭ	2
Итого		18

### 3.3 Самостоятельная работа аспирантов (СРС)

Таблица 3.5 – Самостоятельная работа аспирантов

№	Наименование раздела дисциплины	Срок выполнения	Время, затрачиваемое на выполнение СРС, час.
1	2	3	4
1	<b>Теоретические основы спектроскопических методов.</b> Подготовка к выступлению на практическом занятии	2 - 3 неделя	6
2	<b>Квантовомеханический подход к описанию колебательных спектров.</b> Подготовка к практическому занятию	4 - 6 неделя	20
3	<b>Спектроскопия комбинационного рассеяния.</b> Подготовка к выступлению на практическом занятии	8 - 10 неделя	14
4	<b>Теоретические основы методов РФЭС, ЭОС и РФА.</b>	12 - 14 неделя	22
5	<b>Сканирующая ближнепольная оптическая микроскопия</b>	15 - 16 неделя	5
6	<b>Физические основы метода спектроскопии ХПЭ</b>	17 - 18 неделя	5
Итого			72

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

Аспиранты могут при самостоятельном изучении отдельных тем и вопросов дисциплин пользоваться учебно-наглядными пособиями, учебным оборудованием и методическими разработками кафедры в рабочее время, установленное Правилами внутреннего распорядка работников.

Учебно-методическое обеспечение для самостоятельной работы обучающихся по данной дисциплине организуется:

*библиотекой университета:*

- библиотечный фонд укомплектован учебной, методической, научной, периодической, справочной и художественной литературой в соответствии с УП и данной РПД;

- имеется доступ к основным информационным образовательным ресурсам, информационной базе данных, в том числе библиографической, возможность выхода в Интернет.

*кафедрой:*

- путем обеспечения доступности всего необходимого учебно-методического и справочного материала;

- путем предоставления сведений о наличии учебно-методической литературы, современных программных средств.

- путем разработки:

- методических рекомендаций, пособий по организации самостоятельной работы аспирантов;

- заданий для самостоятельной работы;

- тем рефератов и докладов;

- вопросов к экзаменам и зачетам;

- методических указаний к выполнению лабораторных и практических работ и т.д.

*типографией университета:*

- помощь авторам в подготовке и издании научной, учебной и методической литературы;

- удовлетворение потребности в тиражировании научной, учебной и методической литературы.

#### **5. Образовательные технологии**

С целью формирования и развития профессиональных навыков студентов в соответствии с требованиями ФГОС в учебном процессе предусматривается использование активных и интерактивных форм проведения занятий в сочетании с внеаудиторной работой. Перечень интерактивных образовательных технологий по видам аудиторных занятий представлен в таблице 5.1.

Удельный вес практических занятий, проводимых в интерактивных формах, составляет 50 % аудиторных занятий согласно УП.

Таблица 5.1 – Интерактивные образовательные технологии, используемые при проведении аудиторных занятий

№	Наименование раздела (лекции, практического или лабораторного занятия)	Используемые интерактивные образовательные технологии	Объем, час.
1	Общие характеристики спектральных методов исследования	Разбор конкретных ситуаций	2
2	Определение основных физических параметров явлений переносов в полупроводниках с использованием фотоэлектрических методов измерений	Разбор конкретных ситуаций	2
3	Спектроскопия в видимой и ультрафиолетовой (УФ) областях	Встреча с сотрудниками Регионального наноцентра. Мастер-класс на OmegaScore™ - СЗМ с конфокальным рамановским и флюоресцентным спектрометром	2
4	Методы колебательной спектроскопии (ИК) и спектроскопии комбинационного рассеяния (КР)	Встреча с сотрудниками Регионального наноцентра. Мастер-класс на ИК-фурье спектрометре Thermo Scientific Nicolet IS550 и на OmegaScore™ - СЗМ с конфокальным рамановским и флюоресцентным спектрометром	4
5	Рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия (РФЭС), метод рентгенофлуоресцентного анализа (РФА) и электронная оже-спектроскопия (ЭОС)	Встреча с сотрудниками Регионального наноцентра. Мастер-класс на на дифрактометре рентгеновского рассеяния GBM EMMA	4
6	Сканирующая ближнепольная оптическая микроскопия (СБОМ)	Семинар-телемост с сотрудниками Центра коллективного пользования научным оборудованием «Диагностика структуры и свойств наноматериалов» (ЦКП НИУ «БелГУ» входит в состав национальной нанотехнологической сети РФ)	2
7	Спектроскопия ХПЭ	Семинар-телемост с сотрудниками Центра коллективного пользования научным оборудованием «Диагностика структуры и свойств наноматериалов» (ЦКП НИУ «БелГУ»)	2
Итого:			18

## 6 Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации

### 6.1 Перечень компетенций с указанием этапов их формирования в процессе освоения образовательной программы

Таблица 6.1 Этапы формирования компетенций

Код компетенции, содержание компетенции	Дисциплины (модули) при изучении которых формируется данная компетенция
ПК-4 способность к профессиональной эксплуатации современного исследовательского оборудования и приборов в научной деятельности и понимание физических принципов их работы	Б1.В.ОД.5 Физические основы полупроводниковых материалов и устройств Б1.В.ДВ.1.2 Спектральные методы исследования полупроводников Б3.1 Научно-исследовательская деятельность и подготовка научно-квалификационной работы (диссертации) на соискание ученой степени кандидата наук Б4.Г.1 Подготовка к сдаче и сдача государственного экзамена Б4.Д.1 Представление научного доклада об основных результатах подготовленной научно-квалификационной работы (диссертации)
ПК-6 способность использовать прикладные программы пользовательского назначения, специализированные программы	Б1.В.ДВ.1.2 Спектральные методы исследования полупроводников Б1.В.ДВ.2.2 Избранные главы спинтроники Б3.1 Научно-исследовательская деятельность и подготовка научно-квалификационной работы (диссертации) на соискание ученой степени кандидата наук Б4.Г.1 Подготовка к сдаче и сдача государственного экзамена Б4.Д.1 Представление научного доклада об основных результатах подготовленной научно-квалификационной работы (диссертации)

## 6.2 Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания

Таблица 6.2 Показатели и критерии определения уровня сформированности компетенций (частей компетенций)

№ п/п	Код компетенции (или её части)	Уровни сформированности компетенции		
		Пороговый (удовлетворительный)	Продвинутый (хорошо)	Высокий (отлично)
1	ПК-4	<b>Знать:</b> основные физические принципы функционирования измерительного спектрального оборудования	<b>Знать:</b> фундаментальные закономерности лежащие в основе взаимодействия исследовательских спектральных установок с объектом и ограничения методов	<b>Знать:</b> фундаментальные закономерности лежащие в основе взаимодействия исследовательских спектральных установок с объектом, ограничения методов и использовать их в профессиональной научной деятельности
		<b>Уметь:</b> применять полученные ранее знания для объяснения работы измерительного оборудования	<b>Уметь:</b> использовать знания фундаментальных и прикладных дисциплин ОП аспирантуры для анализа работы измеритель-	<b>Уметь:</b> использовать знания фундаментальных и прикладных дисциплин ОП аспирантуры для анализа работы измеритель-

			ного оборудования	ного оборудования в решении задач научной профессиональной деятельности
		<b>Владеть:</b> способностью выявления области применения фундаментальных закономерностей в спектральном исследовании свойств полупроводников	<b>Владеть:</b> навыками применения фундаментальных закономерностей для анализа взаимодействия полупроводниковых материалов с измерительным оборудованием	<b>Владеть:</b> навыками применения фундаментальных закономерностей для анализа взаимодействия полупроводниковых материалов с измерительным оборудованием в решении задач научной профессиональной деятельности
4	ПК-6	<b>Знать:</b> виды экспериментальных данных, получаемых на основном измерительном оборудовании и на каком программном обеспечении производить их обработку	<b>Знать:</b> способы обработки экспериментальных данных, получаемых на основном измерительном оборудовании и алгоритмы их дальнейшего анализа на программном обеспечении	<b>Знать:</b> способы обработки экспериментальных данных, получаемых на основном измерительном оборудовании и алгоритмы их дальнейшего анализа на программном обеспечении, в применении к научной профессиональной деятельности
		<b>Уметь:</b> планировать эксперименты на основном измерительном оборудовании с использованием прикладного программного обеспечения	<b>Уметь:</b> планировать и проводить эксперименты на основном измерительном оборудовании с использованием прикладного программного обеспечения	<b>Уметь:</b> планировать и проводить эксперименты на основном измерительном оборудовании при решении задач научной профессиональной деятельности с использованием прикладного программного обеспечения
		<b>Владеть:</b> навыками обработки экспериментальных данных, полученных на основном измерительном оборудовании с помощью прикладного программного обеспечения	<b>Владеть:</b> навыками обработки и анализа экспериментальных данных, полученных на основном измерительном оборудовании с помощью прикладного программного обеспечения	<b>Владеть:</b> навыками обработки и анализа экспериментальных данных, полученных на основном измерительном оборудовании при решении задач профессиональной деятельности с помощью прикладного программного обеспечения

Таблица 6.3 Паспорт комплекта оценочных средств

№ п/п	Раздел (тема) дисциплины	Код контролируемой компетенции (или её части)	Технология формирования	Оценочные средства		Описание шкал оценивания
				наименование	№№ заданий	

1	2	3	4	5	6	7
1.	Общие характеристики спектральных методов исследования	ПК-4 ПК-6	Лекция Практическое занятие Разбор конкретных ситуаций	С	№1, МУ-2	Оценка <i>зачтено</i> – исчерпывающее, достаточно полное или фрагментарное владение программным материалом, понимание сущности рассматриваемых процессов и явлений, твердое знание основных положений дисциплины, умение применять концептуальный аппарат при анализе актуальных проблем. Ответы на вопросы по материалам дисциплины: – логически последовательные, содержательные, конкретные, – в целом правильные, хотя допускающие неточности, – как правильные утверждения, так и ошибки, возможно, грубые. Оценка <i>незачтено</i> – – отсутствие ответа хотя бы на один из основных вопросов, либо грубые ошибки в ответах, полное непонимание смысла проблем, не доста-
2.	Определение основных физических параметров явлений переносов в полупроводниках с использованием фотоэлектрических методов измерений	ПК-4	Лекция Практическое занятие Разбор конкретных ситуаций	КО Сообщение аспиранта		
3.	Спектроскопия в видимой и ультрафиолетовой (УФ) областях	ПК-4 ПК-6	Встреча с сотрудниками Регионального наноцентра. Мастер-класс на OmegaScore <sup>TM</sup> - СЗМ с конфокальным рамановским и флюоресцентным спектрометром	С Семинар-дискуссия	№2, МУ-1	
4.	Методы колебательной спектроскопии (ИК) и спектроскопии комбинационного рассеяния (КР)	ПК-4 ПК-6	Встреча с сотрудниками Регионального наноцентра. Мастер-класс на ИК-фурье спектрометре Thermo	КО Семинар-дискуссия	№3, МУ-1 №4, МУ-2	

			спектрометром			точно полное владение терминологией.
5.	Рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия (РФЭС), метод рентгенофлуоресцентного анализа (РФА) и электронная оже-спектроскопия (ЭОС).	ПК-4 ПК-6	Встреча с сотрудниками Регионального наноцентра. Мастер-класс на дифрактометре рентгеновского рассеяния GVM EMMA	С Семинар-дискуссия	№3, МУ-1 №4, МУ-2	
6.	Сканирующая ближнепольная оптическая микроскопия (СБОМ)	ПК-4	Семинар-телемост с сотрудниками Центра коллективного пользования научным оборудованием «Диагностика структуры и свойств наноматериалов» (ЦКП НИУ «БелГУ» входит в состав национальной нанотехнологической сети РФ)	С КО Семинар-дискуссия	№4, МУ 1	
7.	Спектроскопия ХПЭ	ПК-4	Семинар-телемост с сотрудниками Центра коллективного пользования научным оборудованием «Диагностика структуры и свойств наноматериалов» (ЦКП НИУ «БелГУ»)	С Семинар-дискуссия		

**Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций:**

-Список методических указаний, используемых в образовательном процессе представлен в п. 8.2.

Оценочные средства представлены в учебно-методическом комплексе дисциплины.

**6.3 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы**

Перечень вопросов подготовки к зачёту с представлен в приложении А.

Тестовые задания приведены в приложении Б.

Требования к самостоятельной работе представлены в МУ-3.

**7 Рейтинговый контроль изучения дисциплины**

Рейтинговый контроль не предусмотрен.

Описание оценочных средств и шкал оценивания ответов см. в Таблице 6.3.

**8 Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины**

**8.1 Основная и дополнительная учебная литература**

Основная литература

1. Спектральные методы анализа [Текст] : практическое руководство : учебное пособие для студентов вузов, обучающихся по специальности ВПО "Фундаментальная и прикладная химия" / В. И. Васильева [и др.] ; под ред. В. Ф. Селеменова и В. Н. Семёнова. - Санкт-Петербург : Лань, 2014. - 412 с.

2. Газенаур, Е.Г. Методы исследования материалов [Электронный ресурс]: учебное пособие / Е.Г. Газенаур, Л.В. Кузьмина, В.И. Крашенинин. - Кемерово : Кемеровский государственный университет, 2013. - 336 с. // Режим доступа - <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=232447&sr=1>

3. Каныгина, О.Н. Физические методы исследования веществ [Электронный ресурс]: учебное пособие / О.Н. Каныгина, А.Г. Четверикова, В.Л. Бердинский . - Оренбург : ОГУ, 2014. - 141 с. // Режим доступа - <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=330539&sr=1>

Дополнительная литература



4. Вознесенский, Э.Ф. Методы структурных исследований материалов. Методы микроскопии [Электронный ресурс]: учебное пособие / Э.Ф. Вознесенский, Ф.С. Шарифуллин, И.Ш. Абдуллин. - Казань : Издательство КНИТУ, 2014. - 184 с. – Режим доступа - <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=428294>

5. Методы исследования микроэлектронных и нанoeлектронных материалов и структур: сканирующая зондовая микроскопия [Электронный ресурс]: учебное пособие / Н.И. Филимонова, Б.Б. Кольцов. - Новосибирск : НГТУ, 2013. - Ч. I. - 134 с. // Режим доступа – <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=228943>

## 8.2 Перечень методических указаний

*МУ-1*        *А.В. Кузько, А.Е. Кузько* Наноаналитическое оборудование [Электронный ресурс]: методические указания по выполнению практических работ для всех направлений подготовки и обучения, изучающих дисциплины "Наноаналитическое оборудование" и "Методы анализа и контроля наноструктурированных материалов и систем" / Юго-Западный государственный университет. - Курск : ЮЗГУ, 2014. – 25 с.

*МУ-2*        *А.В. Кузько, А.Е. Кузько* Наноаналитическое оборудование [Электронный ресурс]: методические указания к выполнению лабораторных работ для всех направлений подготовки и обучения, изучающих дисциплины "Наноаналитическое оборудование" и "Методы анализа и контроля наноструктурированных материалов и систем" / Юго-Западный государственный университет. - Курск : ЮЗГУ, 2014. – 116 с.

*МУ-3*        *А.В. Кузько, А.Е. Кузько* Наноаналитическое оборудование [Электронный ресурс]: методические рекомендации для самостоятельной работы студентов направления подготовки 28.04.01 «Нанотехнологии и микросистемная техника» по дисциплине «Наноаналитическое оборудование» / Юго-Западный государственный университет. - Курск : ЮЗГУ, 2014. – 16 с.

## 8.3 Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети Интернет

1. <http://biblioclub.ru>,
2. <http://onlinelibrary.wiley.com>,
3. <http://www.scopus.com/>,
4. <http://elibrary.ru>,
5. <http://viniti.ru>,
6. <http://window.edu.ru>,
7. <http://thesaurus.rusnano.com/>. nano-obr.ru – междисциплинарное обучение в сфере нанотехнологий;
8. <http://www.ntmdt.ru> – сайт крупнейшего в России производителя сканирующих зондовых микроскопов;
9. <http://www.nanoscopy.org>.
10. [nist.gov/](http://nist.gov/) (Национальный институт стандартов США);
11. [isan.froitsk.ru/win/lsn\\_01.htm](http://isan.froitsk.ru/win/lsn_01.htm) (нанооптика);
12. nano-obr.ru – междисциплинарное обучение в сфере нанотехнологий
13. Чеченин Н.Г. Просвечивающая электронная микроскопия (лекции). <http://danp.sinp.msu.ru/ngchposob.htm>

14. [http://en.wikipedia.org/wiki/Scanning\\_electronscope](http://en.wikipedia.org/wiki/Scanning_electronscope)
15. <http://www.matter.org.uk/tem/>
16. <http://epmalab.uoregon.edu/lecture.htm>
17. <http://www.oxinst.com/wps/wcm/connect/Oxford+Instruments/Groups/Product+Groups/NanoAnalysis/EB-SD/EB-SD+Systems>
18. <http://www.microscopy.ethz.ch/history.htm>
19. <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/quantum/moseley.html>

#### 8.4 Перечень информационных технологий

1. На кафедре имеется на электронных носителях база литературных источников электронной библиотеки для научной и учебной работы. Она используется сотрудниками кафедры, аспирантами и студентами для научной работы и самообучения.

2. На кафедре также имеются в электронном виде тексты всех методических разработок и лекций по читаемой дисциплине. Они делаются доступными и используются аспирантами для самообучения.

3. Используются интернет-ресурсы (представлены в пп 8.3).

#### 8.5 Видеодемонстрации

1. Видеоролик "NanoEducator";
2. Видеоролик «Характеристическое рентгеновское излучение»;
3. Видеоролик «Оже-электроны»;
4. Видеоролик «Сплошное рентгеновское излучение».

#### 9 Материально-техническое обеспечение дисциплины

- **Аудитории кафедры «Нанотехнологий и инженерной физики»**

В учебном процессе по дисциплине «Спектральные методы исследования полупроводников» задействованы аудитории, предназначенные для проведения лекций.

- **Оборудование лекционных аудиторий**

1. Проектор
2. Ноутбук
3. Доска с маркерами (мелом)

- **Лабораторное оборудование (Региональный центр нанотехнологий)**

1. Система для малоуглового рентгеновского рассеяния Anton Paar SAXSess, оснащенная современным программным комплексом с выходом в Интернет.

2. Дифрактометр рентгеновского рассеяния GBM EMMA с высокотемпературной (1600С) камерой Anton Paar, оснащенный современным программным комплексом с выходом в Интернет.

3. ИК-фурье спектрометры Thermo Scientific Nicolet IS550 и Agilent Technologies Cary 660 FTIR, оснащенные современными программными комплексами с выходом в Интернет.

4. Сканирующий электронный микроскоп JEOL JSM 6610 с модулем энергодисперсионного анализа Oxford X-Max (S1-XX1002), оснащенный современным программным комплексом с выходом в Интернет.
5. Сканирующий зондовый микроскоп, SmartSPM™, оснащенный современным программным комплексом с выходом в Интернет, OmegaScope™ - СЗМ с конфокальным рамановским и флюоресцентным спектрометром, оснащенный современным программным комплексом с выходом в Интернет.
6. Полуавтоматический однодисковый шлифовально-полировальный станок для металлографической пробоподготовки с насадкой Buehler Vector LC.
7. Установка лазерная для маркировки, гравировки и наноразмерного модифицирования поверхностей Argent.
8. Установка для плазменной очистки, синтезируемых наноматериалов и нанопокрываний промышленного назначения NICO.
9. Низкоскоростной прецизионный отрезной станок TECHCUT 4.
10. Установка для 3D реально-временной оптической микроскопии с опциями для внешних упругих, температурных, электрических и магнитных воздействий Lynsee Tes SA.
11. Эллипсометр с бинарной модуляцией состояния поляризации для определения оптических параметров наноматериалов ES-2LED.
12. Система напыления тонких токопроводящих покрытий JEOL JEOLJFC 1600.
13. Высокотемпературная камера (нагрев до 1600 С) Anton PAAR-НТК-16.
14. Энергодисперсионный анализатор химических элементов Oxford Instruments EDX.
15. Спектрофотометр СФ-2000.
16. Установка для измерения электропроводности и диэлектрической проницаемости нанокompозитных материалов, нанослоев и нанопокрываний на постоянном токе и в переменных полях Instek LCR-819, 2011.

## Приложение А

### ВОПРОСЫ К ЗАЧЁТУ

1. Какие условия должны соблюдаться, чтобы колебание проявилось в ИК-спектре поглощения?
2. Что такое нормальные колебания в молекуле?
3. Может ли отличаться число полос поглощения в ИК-спектре и число нормальных колебаний? Поясните ответ.
4. Что такое характеристические колебания в ИК-спектроскопии?
5. Перечислите преимущества ИК-Фурье спектроскопии, кратко их опишите.
6. Что такое комбинационное рассеяние света?
7. Почему комбинационное рассеяние может быть использовано для изучения структуры вещества?
8. С чем связано появление стоксовой и антистоксовой гармоник?
9. Как соотносятся интенсивности стоксовой и антистоксовой гармоник, с чем связана температурная зависимость этого отношения?
10. Что такое поверхностно усиленное рамановское рассеяние?
11. Спектры комбинационного рассеяния. Энергетические переходы при релеевском, стоксовом и антистоксовом рассеянии. Отличие механизмов возникновения ИК-спектров и КР-спектров.
12. Расчёт КР-спектра вещества состоящего из 2-х атомных молекул и определение колебательной постоянной  $\nu_v$ .
13. Схема установки КР-спектроскопии. Получение КР-спектров для газообразных, жидких и твёрдых веществ.
14. Как можно установить критерии определения границ объекта при исследовании методом растровой электронной микроскопии?
15. Какова информативность картин дифракции обратнорассеянных электронов?
16. Какова информативность энергетического спектра оже-электронов?
17. Какова информативность характеристического рентгеновского излучения?
18. Сравните преимущества и недостатки волнового и энергодисперсионного детекторов рентгеновского излучения.
19. Какова информативность спектров катодолюминисценции?
20. Рентгеновский анализ. Получение рентгеновского излучения (рентгеновская трубка) и его состав (тормозное и характеристическое излучение). Уточнённый закон Мозли.
21. Поглощение (резонансные К-, L- .. поглощение) и дифракция рентгеновских лучей (условие дифракции, уравнение Вульфа-Бреггов). Семейства атомных плоскостей, индексы Миллера.
22. Методы Лауэ и Дебая-Шерра (метода порошка) в рентгеноструктурном анализе.
23. Особенности методов вращения, Вайссенберга и рентгенофазного анализа.
24. Какова типичная конструкция электронной пушки? Как происходит управление уровнем электронной эмиссии?
25. Какие процессы происходят при облучении вещества рентгеновским излучением?
26. Опишите типичный спектр рентгеновской трубки и объясните появление каждой составляющей в нем.
27. С чем связано появление максимумов и минимумов на дифракционной картине?
28. Расскажите схему возникновения рентгеновской флуоресценции.
29. Является ли наличие в образце периодической структуры необходимым условием для наблюдения дифракции РИ?
30. Выведите закон Бугера-Ламберта-Бэра из уравнений Гамильтона-Дарвина. Какое условие необходимо для соблюдения закона Бугера-Ламберта-Бэра?
31. Дайте определение трансляционной симметрии кристаллов.
32. С чем связана ограниченность числа пространственных групп?
33. Существует ли поворотная ось 5-го порядка?
34. В чем отличия порошкового и монокристалльного дифракционного эксперимента?

35. Почему знания структурной амплитуды недостаточно для расчета интенсивности рефлекса на порошковой дифрактограмме?
36. Классическое рассмотрение дифракции, условие Вульфа-Брэгга
37. Описать постановку задачи о дифракции на двух рассеивающих центрах
38. Что подразумевается под разностью хода лучей и фазовым сдвигом?
39. Суперпозиция амплитуд рассеяния и Фурье-преобразование.
40. Связь интенсивности рассеяния и автокорреляционной функции как способ определения внутренней структуры объекта исследования.
41. Общая схема малоуглового дифракционного эксперимента.
42. Сформулируйте закон Вульфа-Брэгга для дифракции рентгеновских лучей на кристалле.
43. Приведите доказательство эквивалентности формулировок Вульфа-Брэгга и Лауэ для конструктивной интерференции рентгеновских лучей.
44. Сформулируйте определение брегговской плоскости.
45. Что является источником рентгеновского излучения? Расскажите об устройстве рентгеновской трубки. Из какого материала сделан ее анод (антикатод)?
46. Из чего состоит, и как работает рентгеновский дифрактометр?
47. Как с помощью рентгеновского дифрактометра провести фазовый анализ порошка?
48. Перечислите последовательность действий при подготовке дифрактометра к работе.
49. Какова длина волны рентгеновского излучения используемого в дифрактометре? (1.54056 Å)
50. На что следует обратить внимание при подготовке пробы к анализу? Что такое текстурирование, и каким способом можно устранить текстуру? (Не уплотнять порошок при заполнении кюветы и использовать столик с приводом вращения)
51. Современные методы исследования поверхности твердого тела и их классификация.
52. Неупругое рассеяние электронов на поверхности. Физические основы ЭОС.
53. Оже-переходы, энергия оже-электронов в твердом теле.
54. Анализ состава поверхности твердого тела методом ЭОС.
55. Оже-спектры для количественного анализа поверхности твердого тела.
56. Типы оже-анализаторов. Блок-схема оже-спектрометра.
57. Послойный анализ с применением метода ЭОС.
58. Фотоэлектронная эмиссия. Источники фотонов.
59. Спектры РФЭС для анализа состава поверхности.
60. Изучение наружной энергетической полосы проводников методом РФЭС.
61. Спектры фотоэмиссии основных уровней атома по данным РФЭС.
62. Энергии связи валентных электронов и электронов внутренних оболочек по данным ФЭС.
63. РФЭС - как спектроскопия для анализа состава поверхности.
64. Физические основы метода спектроскопии ХПЭ.
65. Коллективное возбуждение электронов проводимости в твердом теле. Плазмоны.
66. Спектроскопия ХПЭ для анализа поверхности.
67. Кристаллография поверхности твердого тела.
68. Обратная решетка и дифракция электронов в кристаллах. Построение Эвальда.
69. Описание структур верхних слоев кристаллических структур.
70. Что такое амплитуда рассеяния?
71. Что такое атомный фактор рассеяния или форм-фактор.
72. Что называется структурным фактором базиса
73. Каков же физический смысл того, что в дифракционной картине для ОЦК решетки отсутствует отражение (100)?
74. В каком случае в дифракционной картине для ОЦК решетки отражение (100) не будет погашено?
75. Отражения от каких плоскостей в ГЦК решетке не могут иметь место?
1. Расскажите о принципе работы СБОМ. Что такое эванесцентные моды излучения? Какую роль они играют в формировании СБОМ-изображения?

- 76.Какие свойства образцов можно исследовать методами СБОМ?
- 77.Каковы типичные расстояния зонд-образец при получении ближнепольных оптических изображений? Как их поддерживать постоянными?
- 78.Каково предельное разрешение СБОМ?
- 79.Расскажите об измерительных методиках СБОМ.

## Приложение Б

### ПРИМЕР ТЕСТОВЫХ ЗАДАНИЙ И ВОПРОСОВ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

#### Общие вопросы

1. Какие признаки положены в основу деления шкалы электромагнитных волн на диапазоны и каковы особенности оптического диапазона?
2. Как связано волновое число с длиной волны ?  
1)  $\lambda = v$  2)  $\lambda = 1/v$ ; 3)  $\lambda = c/v^2$ ; 4)  $\lambda/\lambda\Delta = -v\Delta$
3. Наибольшая энергия требуется:  
1) для возбуждения электронов;  
2) для возбуждения колебаний атомов в молекуле;  
3) для возбуждения вращений молекулы;  
4) для переориентации спинов ядер.
4. Каково соотношение между энергиями электронных  $E_e$ , и вращательных  $E_r$  состояний молекулы?  $\nu$  колебательных  $E$   
1)  $E_e > \nu E > E_r \nu$ ; 2)  $E > E_r > E_e$ ; 3)  $E_r > E_e > \nu E$ ; 4)  $E_r \nu E > \nu E > E_e$ .
5. При рассмотрении спектров какого типа необходимо учитывать принцип Франка-Кондона?  
1) ИК-. 2) вращательных. 3) КР-. 4) электронных.
6. В каких областях спектра наблюдаются электронно-колебательно-вращательные, колебательно-вращательные и вращательные спектры?
7. В каких областях спектра проявляются переходы между электронными, колебательными и вращательными состояниями молекул ?  
1) Колебательные — в ИК-области, вращательные — в УФ-области, электронные — в микроволновой.  
2) Колебательные — в микроволновой, электронные — в УФ-области, вращательные — в ИК-области.  
3) Колебательные — в ИК-области, вращательные — в микроволновой, электронные — в УФ-области.  
4) Колебательные — в УФ-области, электронные — в ИК-области, вращательные — в микроволновой.
8. Методы анализа, основанные на измерении поглощенного образцом света, называются :  
1) радиометрией ; 2) абсорбциометрией ; 3) флюориметрией ;  
4) турбидиметрией.

#### Колебательная спектроскопия

1. Колебательные спектры возникают при взаимодействии вещества :  
1) с гамма-излучением; 2) с видимым светом ; 3) с радиоволнами  
4) с ИК-излучением ; 5) с УФ-излучением
2. Инфракрасным спектрам поглощения соответствуют:  
1) электронные переходы из основного в возбужденное состояние;  
2) колебательные переходы из основного в возбужденное состояние;  
3) электронные переходы из возбужденного в основное состояние ;  
4) вращательные переходы из основного в возбужденное состояние.

3. Частота валентных колебаний :

- 1) больше чем частота деформационных колебаний ;
- 2) меньше чем частота деформационных колебаний ;
- 3) больше чем частота деформационных колебаний одной и той же группы молекулы ;
- 4) меньше чем частота деформационных колебаний одной и той же группы молекулы .

4. Комбинационным рассеянием называется рассеяние света :

- 1) без изменения частоты; 2) с увеличением частоты;
- 3) с уменьшением частоты ; 4) с изменением частоты.

5. Какие колебания молекулы  $\text{CO}_2$  проявляются в ИК-спектре, а какие в КР-спектре ?

- 1) Полносимметричное валентное колебание  $\nu_3$  —  $\nu_2$  и антисимметричное  $\nu_1$  активно в КР-спектре, а деформационное  $\nu$  ИК-спектре.  
3 активны в ИК- и КР-спектрах.  $\nu_2$  и  $\nu_1$ ,  $\nu_2$ ) Все колебания
- 3) 1 активно в ИК-спектре, а деформационное  $\nu$  Полносимметричное валентное колебание  $\nu_3$  — в КР-спектре.  $\nu_2$  и антисимметричное  $\nu$
- 3  $\nu_2$  и  $\nu_1$ ,  $\nu_4$ ) Все колебания активны только в ИК-спектре.

6. Сколько поступательных, вращательных и колебательных степеней свободы у тетраэдрической молекулы  $\text{CH}_4$  ?

- 1) Поступательных — 3, вращательных — 3, колебательных — 9.
- 2) Поступательных — 3, вращательных — 2, колебательных — 10.
- 3) Поступательных — 3, вращательных — 3, колебательных — 3.
- 4) Поступательных — 3, вращательных — 3, колебательных — 5.

7. Сколько поступательных, вращательных и колебательных степеней свободы у линейной молекулы  $\text{HCN}$  и угловой —  $\text{H}_2\text{O}$  ? Одинаково ли у них число основных частот колебаний ?

8. Укажите характерные особенности колебательных спектров (ИК- и КР-) приведенных ниже молекул:

- 1)  $\text{Cl}_2$  ; 2)  $\text{HCl}$  ; 3)  $\text{CO}$  ;
- 4)  $\text{CF}_2=\text{CH}_2$  ( только валентные колебания двойной связи ) ;
- 5)  $\text{CH}_3\text{CH}=\text{CHCH}_3$  (только валентные колебания двойной связи ) .

9. Отличаются ли энергии диссоциации изотопных молекул, например  $\text{H}_2$  и  $\text{D}_2$  ?

- 1) Энергии диссоциации одинаковы.
- 2) На вопрос ответить нельзя, так как не приведены данные об их частотах колебаний и ангармоничности.
- 3) Энергия диссоциации у  $\text{D}_2$  больше, чем у  $\text{H}_2$ .
- 4) Энергия диссоциации у  $\text{H}_2$  больше, чем у  $\text{D}_2$ .

10. Проявляются ли (активны ли) колебания полярных двухатомных молекул (например  $\text{HCl}$ ) в ИК-спектрах и спектрах КР ?

- 1) Проявляются только в ИК-спектрах.
- 2) Проявляются только в КР-спектрах.
- 3) Проявляются в ИК-спектрах и в спектрах КР.
- 4) Не проявляются ни в ИК-спектрах, ни в спектрах КР.

11. Предскажите вид колебательных спектров ( ИК- и КР-спектров ) для линейной молекулы диоксида углерода и укажите типы колебаний для данной молекулы.