

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Кубанский государственный университет»  
(ФГБОУ ВО «КубГУ»)

Физико-технический факультет

УТВЕРЖДАЮ  
Проректор по научной работе  
и инновациям  
Е. В. Строганова  
29 мая 2020 г.

## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

### Б1.В.ОД.5 СПЕКТРОСКОПИЯ ЛАЗЕРНЫХ КРИСТАЛЛОВ

Направление подготовки 03.06.01 Физика и астрономия

Направленность 01.04.07 Физика конденсированного состояния

Программа подготовки академическая

Форма обучения очная

Квалификация выпускника Исследователь. Преподаватель-Исследователь

Краснодар 2020

**Рабочая программа** составлена в соответствии с ФГОС ВО по направлению подготовки 03.06.01 Физика и астрономия, утвержденными 30 июля 2014 г. № 867, зарегистрированный в Министерстве юстиции Российской Федерации 25.08.2014 г. № 33836

**Автор:**



В.А. Исаев, д-р физ.-мат. наук, доцент, заведующий кафедрой теоретической физики и компьютерных технологий физико-технического факультета ФГБОУ ВО «КубГУ»

Программа одобрена на заседании кафедры теоретической физики и компьютерных технологий от «16» апреля 2020 г., протокол № 10

Зав. кафедрой



В.А. Исаев

Одобрено на заседании учебно-методической комиссии физико-технического факультета от «20» апреля 2020 г., протокол № 13

Председатель УМС факультета,  
д. ф.-м. наук, профессор



Н.М. Богатов

Зав. отделом аспирантуры и  
докторантуры



Е.В. Строганова

## **1 Цели и задачи изучения дисциплины (модуля).**

### **1.1 Цель освоения дисциплины.**

Учебная дисциплина «Спектроскопия лазерных кристаллов» ставит своей целью изучение свойств конденсированных сред спектроскопическими методами. Изучаются механизмы формирования оптических центров, схемы расщепления и структура уровней для примесных ионов переходных металлов и редкоземельных элементов.

### **1.2 Задачи дисциплины.**

Основные задачи дисциплины – обучение аспирантов методам расчета и анализа оптических спектров примесных ионов в конденсированных средах, а также ознакомление с современным состоянием проблемы.

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

Дисциплина «Спектроскопия лазерных кристаллов» относится к вариативной части Блока 1 "Дисциплины (модули)" учебного плана направления 03.06.01 – Физика и астрономия направленности Физика конденсированного состояния.

Изучение дисциплины базируется на знаниях аспирантов, полученных ранее при изучении дисциплин, входящих в цикл общей и теоретической физики: Б1.Б.07.04 «Оптика», Б1.Б.08.03 «Квантовая теория», Б1.В.07 «Физика лазеров» учебного плана 03.03.02 Физика; Б1.В.02 «Теория конденсированного состояния», Б1.В.ДВ.05.01 «Кристаллофизика» учебного плана 03.04.02 Физика конденсированного состояния вещества.

### **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 компетенций

| №<br>п.<br>п. | Индекс<br>компетен<br>ции | Содержание компетенции<br>(или её ча-<br>сти) | В результате изучения учебной дисциплины<br>обучающиеся должны |       |         |
|---------------|---------------------------|-----------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|-------|---------|
|               |                           |                                               | знать                                                          | уметь | владеть |

| 1.      | ОПК-1              | способностью самостоятельно осуществлять научноисследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационнокоммуникационных технологий | основные законы, идеи и принципы спектроскопии и конденсированных сред, их становление и развитие в исторической последовательности, их математическое описание, их экспериментальное исследование и практическое использование | применять полученные теоретические знания для решения прикладных задач                              | четкими представлениями о современных научных концепциях спектроскопии и конденсированных сред |
|---------|--------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 2.      | ПК-1               | готовностью осваивать и совершенствовать методы вы-                                                                                                                                                                   | терминологию и определения физических                                                                                                                                                                                           | выбирать, осваивать и совершен-                                                                     | компьютерными методами расчета па-                                                             |
| № п. п. | Индекс компетенции | Содержание компетенции (или её части)                                                                                                                                                                                 | В результате изучения учебной дисциплины обучающиеся должны                                                                                                                                                                     |                                                                                                     |                                                                                                |
|         |                    |                                                                                                                                                                                                                       | знать                                                                                                                                                                                                                           | уметь                                                                                               | владеть                                                                                        |
|         |                    | ращивания кристаллов                                                                                                                                                                                                  | величин, характеризирующих спектральные свойства кристаллов                                                                                                                                                                     | ствовать методы экспериментального и теоретического исследования кристаллов                         | раметров, характеризующих спектральные свойства кристаллов                                     |
| 3.      | ПК-2               | владением теоретическими и экспериментальными методами исследования природы кристаллических и аморфных веществ в твердом и жидком состояниях и изменения их свойств при различных внешних воздействиях                | классификацию кристаллических соединений и особенности их спектральных свойств.                                                                                                                                                 | выбирать, осваивать и совершенствовать методы эксперимента и теоретического исследования кристаллов | методами компьютерного моделирования спектральных свойств кристаллов                           |

## 2. Структура и содержание дисциплины.

### 2.1 Распределение трудоёмкости дисциплины по видам работ.

Общая трудоёмкость дисциплины составляет 3 зач.ед. (108 часов), их распределение по видам работ представлено в таблице

| Вид учебной работы                                         |          | Всего часов | Курсы (часы) |
|------------------------------------------------------------|----------|-------------|--------------|
|                                                            |          |             | 2            |
| Аудиторные занятия (всего):                                |          | 30          | 30           |
| Занятия лекционного типа                                   |          | 8           | 8            |
| Лабораторные занятия                                       |          | 12          | 12           |
| Занятия семинарского типа (семинары, практические занятия) |          | 10          | 10           |
| Самостоятельная работа, в том числе:                       |          | 51          | 51           |
| Самостоятельное изучение разделов                          |          | 31          | 31           |
| Самоподготовка                                             |          | 20          | 20           |
| Контроль:                                                  |          | 27          | 27           |
| Подготовка к экзамену                                      |          | 27          | 27           |
| Общая трудоемкость                                         | час.     | 108         | 108          |
|                                                            | зач. ед. | 3           | 3            |

### 2.2 Структура дисциплины:

Распределение видов учебной работы и их трудоемкости по разделам дисциплины.

#### Разделы дисциплины, изучаемые на 2 курсе

| №  | Наименование разделов                      | Количество часов |                   |    |    |                      |
|----|--------------------------------------------|------------------|-------------------|----|----|----------------------|
|    |                                            | Всего            | Аудиторная работа |    |    | Внеаудиторная работа |
|    |                                            |                  | Л                 | ПЗ | ЛР |                      |
| 1  | 2                                          | 3                | 4                 | 5  | 6  | 7                    |
| 1. | Основы атомной спектроскопии               | 5,5              | 0,5               | 1  | -  | 4                    |
| 2. | Теория симметрии                           | 8,5              | 0,5               | 1  | -  | 7                    |
| 3. | Теория кристаллического поля               | 11               | 1                 | 2  | 4  | 4                    |
| 4. | Электронно-колебательное взаимодействие    | 8                | 1                 | 2  | -  | 5                    |
| 5. | Эффекты Яна-Теллера                        | 8                | 1                 | 1  | -  | 6                    |
| 6. | Люминесценция примесных ионов в кристаллах | 10               | 1                 | 1  | 4  | 4                    |

|    |                                                  |    |   |    |    |    |
|----|--------------------------------------------------|----|---|----|----|----|
| 7. | Спектроскопия редкоземельных атомов в кристаллах | 6  | 1 | -  | -  | 5  |
| 8. | Спектроскопия во внешних полях                   | 10 | 1 | 2  | -  | 7  |
| 9. | Центры окраски в щелочногалоидных кристаллах     | 12 | 1 | -  | 4  | 7  |
|    | <i>Итого по дисциплине:</i>                      |    | 8 | 10 | 12 | 51 |

Примечание: Л – лекции, ПЗ – практические занятия / семинары, ЛР – лабораторные занятия, СР – самостоятельная работа студента

## 2.3 Содержание разделов дисциплины:

### 2.3.1 Занятия лекционного типа.

| №  | Наименование раздела         | Содержание раздела                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | Форма текущего контроля |
|----|------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|
| 1  | 2                            | 3                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 4                       |
| 1. | Основы атомной спектроскопии | Атом водорода. Волновые функции и уровни энергии. Оператор углового момента. Операторы повышения и понижения. Квантовые числа. Водородоподобные атомы. Спин-орбитальное взаимодействие. Многоэлектронные атомы. LS- и JJ-связь. Эквивалентные электроны. Волновые функции конфигурации эквивалентных электронов. Матричные элементы одно- и двухэлектронных операторов. Параметры электростатического взаимодействия | Коллоквиум              |
| 2. | Теория симметрии             | Операторы симметрии. Точечная группа. Порядок группы. Классы группы. Таблица умножения группы. Базис группы. Представления, их характеры. Неприводимые и приводимые представления. Точечные группы высокой, средней и низкой симметрии. Группы октаэдра и тетраэдра. Четные и нечетные представления. Прямое произведение представлений. Двойные группы и двузначные представления. Углы Эйлера.                     | Коллоквиум              |
| 3. | Теория кристаллического поля | Кристаллическое поле. Слабое и сильное поле. Построение волновых функции из соображений симметрии. d-электрон в кубическом поле. Сила кристаллического поля. Поле в октаэдре, кубе, тетраэдре. Многоэлектронные атомы; их волновые функции в приближении сильного и слабого                                                                                                                                          | Коллоквиум              |

|    |                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |            |
|----|--------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
|    |                                                  | поля. Спин-орбитальное взаимодействие в кристаллическом поле. Диаграммы Танабе-Сугано. Спектры примесных атомов группы железа                                                                                                                                                                                                                                                                                            |            |
| 4. | Электронноколебательное взаимодействие           | Адиабатическое приближение. Борн-Оппенгеймеровская запись волновой функции электронов и ядер. Классический, полуклассический и квантовый принцип Франка-Кондона. Приближение Кондона. Квазилинейчатые электронно-колебательные спектры примесных атомов. Бесфононные линии. Распределение интенсивностей в электронно-колебательной полосе. Локальные, квазилокальные и кристаллические колебания. Фактор Дебая-Уоллера. | Коллоквиум |
| 5. | Эффекты Яна-Теллера                              | Теорема Яна-Теллера. Взаимодействие вырожденного электронного состояния с вырожденными колебаниями. Поверхности адиабатического потенциала. Статический и динамический эффекты Яна-Теллера. Роль случайных деформаций. Ян-теллеровские расщепления полос в оптических спектрах. Фактор вибронной редукции.                                                                                                               | Коллоквиум |
| 6. | Люминесценция примесных ионов в кристаллах       | Сила осциллятора и время жизни излучательного перехода. Элементарные излучатели и их мультиплетность. Поляризованная люминесценция. Скрытая анизотропия примесных кристаллов и ее проявления в спектрах излучения. Миграция энергии. Однородная и неоднородная ширина спектральных линий, релаксационное уширение. Выжигание провалов. Безызлучательные переходы.                                                        | Коллоквиум |
| 7. | Спектроскопия редкоземельных атомов в кристаллах | Различные зарядовые состояния редкоземельных (РЗ) атомов в кристаллах. f-f и f-d переходы. Особенности спектров двух- и трехзарядных состояний РЗ ионов. Фотохимические превращения в кристаллах с РЗ ионами. Кооперативные процессы в ансамбле РЗ ионов. Кооперативный эффект Яна-Теллера.                                                                                                                              | Коллоквиум |

|    |                                                    |    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |            |
|----|----------------------------------------------------|----|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 8. | Спектроскопия<br>внешних полях                     | во | Симметричный аспект спектроскопии во<br>внешних полях. Эффект Зеемана и<br>магнитный циркулярный дихроизм. Эффект<br>Штарка для centrosymmetric и<br>noncentrosymmetric примесных<br>centres. Piezospectroscopic effect.                                                                                                                                                                                 | Коллоквиум |
| 9. | Центры окраски в<br>щелочногалоидных<br>кристаллах |    | Простейшие электронные центры окраски.<br>F-центр, его спектры поглощения и<br>излучения. Водородоподобная модель,<br>электрон в ящике. M-, R- и N-центры. F'-<br>центр. Возмущенные центры окраски в<br>щелочногалоидных кристаллах. F(A)центры<br>первого и второго типа. Переориентация<br>F(A)-centres. Vacancy centres окраски.<br>N-центры. Rutherford-like ions в<br>щелочногалоидных кристаллах. | Коллоквиум |

### 2.3.2 Занятия семинарского типа.

| №  | Наименование раздела            | Тематика практических занятий<br>(семинаров)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | Форма<br>текущего<br>контроля |
|----|---------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|
| 1  | 2                               | 3                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 4                             |
| 1. | Основы атомной<br>спектроскопии | Атом водорода. Волновые функции и<br>уровни энергии. Оператор углового<br>момента. Операторы повышения и<br>понижения. Квантовые числа.<br>Водородоподобные атомы. Спин-<br>орбитальное взаимодействие.<br>Многоэлектронные атомы. LS- и JJ-связь.<br>Эквивалентные электроны. Волновые<br>функции конфигурации эквивалентных<br>электронов. Матричные элементы одно- и<br>двухэлектронных операторов. Параметры<br>электростатического взаимодействия | Решение задач                 |
| 2. | Теория симметрии                | Операторы симметрии. Точечная группа.<br>Порядок группы. Классы группы. Таблица<br>умножения группы. Базис группы.<br>Представления, их характеры.<br>Неприводимые и приводимые<br>представления. Точечные группы высокой,<br>средней и низкой симметрии. Группы<br>октаэдра и тетраэдра. Четные и нечетные<br>представления. Прямое произведение<br>представлений. Двойные группы и<br>двузначные представления. Углы Эйлера.                         | Решение задач                 |

|    |                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |               |
|----|--------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|
| 3. | Теория кристаллического поля               | Кристаллическое поле. Слабое и сильное поле. Построение волновых функции из соображений симметрии. d-электрон в кубическом поле. Сила кристаллического поля. Поле в октаэдре, кубе, тетраэдре. Многоэлектронные атомы; их волновые функции в приближении сильного и слабого поля. Спин-орбитальное взаимодействие в кристаллическом поле. Диаграммы Танабе-Сугано. Спектры примесных атомов группы железа                | Решение задач |
| 4. | Электронноколебательное взаимодействие     | Адиабатическое приближение. Борн-Оппенгеймеровская запись волновой функции электронов и ядер. Классический, полуклассический и квантовый принцип Франка-Кондона. Приближение Кондона. Квазилинейчатые электронно-колебательные спектры примесных атомов. Бесфононные линии. Распределение интенсивностей в электронно-колебательной полосе. Локальные, квазилокальные и кристаллические колебания. Фактор Дебая-Уоллера. | Решение задач |
| 5. | Эффекты ЯнаТеллера                         | Теорема Яна-Теллера. Взаимодействие вырожденного электронного состояния с вырожденными колебаниями. Поверхности адиабатического потенциала. Статический и динамический эффекты Яна-Теллера. Роль случайных деформаций. Ян-теллеровские расщепления полос в оптических спектрах. Фактор вибронной редукции.                                                                                                               | Решение задач |
| 6. | Люминесценция примесных ионов в кристаллах | Сила осциллятора и время жизни излучательного перехода. Элементарные излучатели и их мультиплетность. Поляризованная люминесценция. Скрытая анизотропия примесных кристаллов и ее проявления в спектрах излучения. Миграция энергии. Однородная и неоднородная ширина спектральных линий, релаксационное уширение. Выжигание провалов. Безызлучательные переходы.                                                        | Решение задач |

|    |                                |                                                                                                                                                                                                               |               |
|----|--------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|
| 7. | Спектроскопия во внешних полях | Симметричный аспект спектроскопии во внешних полях. Эффект Зеемана и магнитный циркулярный дихроизм. Эффект Штарка для centrosymmetric и неcentrosymmetric примесных центров. Пьезоспектроскопический эффект. | Решение задач |
|----|--------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|

### 2.3.3 Лабораторные занятия.

| №  | Наименование лабораторных работ                                                | Форма текущего контроля |
|----|--------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|
| 1  | 3                                                                              | 4                       |
| 1. | Штарковская структура спектров иона $\text{Nd}^{3+}$ в кристаллах и стеклах    | ЛР                      |
| 2. | Фотолюминесцентная спектроскопия: измерение спектров люминесценции твердых тел | ЛР                      |
| 3. | Фотостимулированная люминесценция кристаллов $\text{BaFBr:Eu}$                 | ЛР                      |

### 2.3.4 Примерная тематика рефератов Не предусмотрено учебным планом.

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

| № | Вид СР                            | Перечень учебно-методического обеспечения дисциплины по выполнению самостоятельной работы                                                                                                       |
|---|-----------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1 | 2                                 | 3                                                                                                                                                                                               |
| 1 | Самостоятельное изучение разделов | Методические указания по организации аудиторной и внеаудиторной самостоятельной работы, утвержденные кафедрой теоретической физики и компьютерных технологий, протокол № 9 от «14» марта 2017г. |
| 2 | Самоподготовка                    |                                                                                                                                                                                                 |

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,

Данный перечень может быть конкретизирован в зависимости от контингента обучающихся.

## 3. Образовательные технологии.

Большая часть лабораторных занятий проводятся с использованием современных справочных материалов, также используются приборы для исследования оптических свойств конденсированной среды.

По изучаемой дисциплине магистрантам предоставляется возможность открыто пользоваться (в том числе копировать на личные носители информации) подготовленными ведущим данную дисциплину преподавателем материалами в виде электронного комплекса сопровождения, включающего в себя: электронные варианты учебно-методических пособий.

Проведение всех занятий лабораторного практикума предусмотрено в классе, снабженном всем необходимым оборудованием и компьютерами для эффективного выполнения соответствующих лабораторных работ.

По итогам выполнения каждой лабораторной работы аспирант предоставляет и защищает отчет по лабораторной работе, причем в беседе с преподавателем аспирант должен продемонстрировать знание теоретического и экспериментального материала, относящегося к работе.

Сопровождение самостоятельной работы магистрантов также организовано в следующих формах:

- усвоение, дополнение и вникание в разбираемые разделы дисциплины при помощи знаний получаемых посредством изучения рекомендуемой литературы и путем выполнения лабораторных работ;
- консультации, организованные для разъяснения проблемных моментов при самостоятельном изучении тех или иных аспектов разделов усваиваемой информации в дисциплине.

Для лиц с ограниченными возможностями здоровья предусмотрена организация консультаций с использованием электронной почты.

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

##### **4.1 Фонд оценочных средств для проведения текущего контроля.**

**Вопросы для коллоквиума по дисциплине «Спектроскопия лазерных кристаллов»:** 1. Диаграммы Танабе-Сугано. Спектры примесных атомов группы железа

2. Распределение интенсивностей в электронно-колебательной полосе.
3. Локальные, квазилокальные и кристаллические колебания.
4. Фактор Дебая-Уоллера.
5. Фактор вибронной редукции.
6. Выжигание провалов.
7. Безызлучательные переходы.
8. Фотохимические превращения в кристаллах с РЗ ионами.
9. Кооперативные процессы в ансамбле РЗ ионов.
10. Кооперативный эффект Яна-Теллера.
11. Пьезоспектроскопический эффект
12. Проблемы точности, верхняя и нижняя границы ошибок эксперимента.
13. Косвенный характер экспериментальных данных, их обработка и интерпретация
14. Механизмы появления оптических абсорбционных спектров.
15. Параметры линий в оптических абсорбционных спектрах.
16. Вращательные и колебательные спектры. Электронные спектры.
17. Идентификация молекулярных полос. Методы отнесения линий.
18. Спектральные приборы. Типы монохроматоров.
19. Спектральные приборы. Основные параметры.

20. Основные характеристики спектров КРС. Поляризационные измерения КРС.
21. Основные схемы КРС. Техника спектроскопии КРС.
22. Возможности качественного и количественного анализа по спектрам КРС.
23. Резонансное КРС.

#### **4.2 Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации. ПЕРЕЧЕНЬ ВОПРОСОВ, ВЫНОСИМЫХ НА ЭКЗАМЕН**

1. Атом водорода. Волновые функции и уровни энергии.
2. Оператор углового момента. Операторы повышения и понижения. Квантовые числа.
3. Спин-орбитальное взаимодействие. Многоэлектронные атомы. LS- и JJ-связь. Эквивалентные электроны. Волновые функции конфигурации эквивалентных электронов.
4. Матричные элементы одно- и двухэлектронных операторов. Параметры электростатического взаимодействия.
5. Операторы симметрии. Точечная группа. Порядок группы. Классы группы. Таблица умножения группы. Базис группы.
6. Представления, их характеры. Неприводимые и приводимые представления.
7. Точечные группы высокой, средней и низкой симметрии. Группы октаэдра и тетраэдра. Четные и нечетные представления.
8. Прямое произведение представлений. Двойные группы и двузначные представления.
9. Кристаллическое поле. Слабое и сильное поле. Построение волновых функций из соображений симметрии. d-электрон в кубическом поле.
10. Сила кристаллического поля. Поле в октаэдре, кубе, тетраэдре.
11. Многоэлектронные атомы; их волновые функции в приближении сильного и слабого поля.
12. Спин-орбитальное взаимодействие в кристаллическом поле. Диаграммы Танабе-Сугано. Спектры примесных атомов группы железа.
13. Адиабатическое приближение. Борн-Оппенгеймеровская запись волновой функции электронов и ядер. Классический, полуклассический и квантовый принцип Франка-Кондона. Приближение Кондона.
14. Квазилинейчатые электронно-колебательные спектры примесных атомов. Бесфононные линии. Распределение интенсивностей в электронно-колебательной полосе. 15. Локальные, квазилокальные и кристаллические колебания. Фактор Дебая-Уоллера.
16. Теорема Яна-Теллера. Взаимодействие вырожденного электронного состояния с вырожденными колебаниями. Поверхности адиабатического потенциала.
17. Статический и динамический эффекты Яна-Теллера. Роль случайных деформаций. Янтеллеровские расщепления полос в оптических спектрах. Фактор вибронной редукции.
18. Сила осциллятора и время жизни излучательного перехода. Элементарные излучатели и их мультиплетность.
19. Поляризованная люминесценция. Скрытая анизотропия примесных кристаллов и ее проявления в спектрах излучения. Миграция энергии.
20. Однородная и неоднородная ширина спектральных линий, релаксационное уширение. Выжигание провалов. Безызлучательные переходы.
21. Различные зарядовые состояния редкоземельных (РЗ) атомов в кристаллах. f-f и f-d переходы. Особенности спектров двух- и трехзарядных состояний РЗ ионов.
22. Фотохимические превращения в кристаллах с РЗ ионами. Кооперативные процессы в ансамбле РЗ ионов. Кооперативный эффект Яна-Теллера.
23. Симметричный аспект спектроскопии во внешних полях. Эффект Зеемана и магнитный циркулярный дихроизм.

24. Эффект Штарка для centrosимметричных и неcentrosимметричных примесных центров. Пьезоспектроскопический эффект.
25. Простейшие электронные центры окраски. F-центр, его спектры поглощения и излучения. Водородоподобная модель, электрон в ящике. M-, R- и N-центры. F'-центр. Возмущенные центры окраски в щелочногалоидных кристаллах.
26. F(A)-центры первого и второго типа. Переориентация F(A)-центров. Дырочные центры окраски. H-центры. Ртутеподобные ионы в щелочно-галоидных кристаллах.

**Образец экзаменационного билета**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

**Кубанский государственный университет**

Кафедра теоретической физики и компьютерных технологий

2019-2020 уч.год

Дисциплина «Спектроскопия лазерных кристаллов»

**ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ №1**

1. Атом водорода. Волновые функции и уровни энергии.
2. F(A)-центры первого и второго типа. Переориентация F(A) -центров. Дырочные центры окраски. H-центры. Ртутеподобные ионы в щелочно-галоидных кристаллах

Зав. кафедрой

теоретической физики и компьютерных технологий  
Исаев В.А.

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.

Процедура оценивания результатов обучения инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья по дисциплине (модулю) предусматривает предоставление информации 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.

Данный перечень может быть конкретизирован в зависимости от контингента обучающихся.

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

### **5.1 Основная литература:**

1. Бёккер, Ю. Спектроскопия / Ю. Бёккер ; пер. Л.Н. Казанцева. - Москва : РИЦ "Техносфера", 2009. - 528 с. - (Мир химии). - ISBN 978-5-94836-220-5 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=88994>.
2. Каныгина, О.Н. Физические методы исследования веществ / О.Н. Каныгина, А.Г. Четверикова, В.Л. Бердинский ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Кафедра общей физики. - Оренбург : ОГУ, 2014. - 141 с. : схем., табл., ил. - Библиогр. в кн. ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=330539>.

### **5.2 Дополнительная литература:**

1. Байков, Ю.А. Физика конденсированного состояния [Электронный ресурс] : учеб. пособие / Ю.А. Байков, В.М. Кузнецов. — Электрон. дан. — Москва : Издательство "Лаборатория знаний", 2015. — 296 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/70766>.
2. Демтредер, В. Современная лазерная спектроскопия: [учебное пособие] / В. Демтредер; пер. с англ. М.В. Рябининой, Л.А. Мельникова, В.Л. Дербова ; под ред. Л.А. Мельникова. - Долгопрудный : Интеллект, 2014. - 1071 с

Для освоения дисциплины инвалидами и лицами с ограниченными возможностями здоровья имеются издания в электронном виде в электронно-библиотечных системах «Лань» и «Университетская библиотека ONLINE».

### **5.3. Периодические издания:**

1. Успехи физических наук;
2. Журнал экспериментальной и теоретической физики;
3. Журнал физической химии;
4. Физика твердого тела.

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

| № п/п | Ссылка                                              | Пояснение                                                                                                                                                                                                                                        |
|-------|-----------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1.    | <a href="http://www.book.ru">http://www.book.ru</a> | BOOK.ru – электронная библиотечная система (ЭБС) современной учебной и научной литературы. Библиотека BOOK.ru содержит актуальную литературу по всем отраслям знаний, коллекция пополняется электронными книгами раньше издания печатной версии. |

|    |                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|----|-------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 2. | <a href="http://www.ibooks.ru">http://www.ibooks.ru</a>                 | Айбукс.ру – электронная библиотечная система учебной и научной литературы. В электронную коллекцию включены современные учебники и пособия ведущих издательств России.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| 3. | <a href="http://www.sciencedirect.com">http://www.sciencedirect.com</a> | Платформа ScienceDirect обеспечивает всесторонний охват литературы из всех областей науки, предоставляя доступ к более чем 2500 наименований журналов и более 11000 книг из коллекции издательства «Эльзевир», а также огромному числу журналов, опубликованных престижными научными сообществами. Полнотекстовая база данных ScienceDirect является непревзойденным                                                                                                                                                                              |
|    |                                                                         | Интернет-ресурсом научно-технической и медицинской информации и содержит 25% мирового рынка научных публикаций.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| 4. | <a href="http://www.scopus.com">http://www.scopus.com</a>               | База данных Scopus индексирует более 18 тыс. наименований журналов от 5 тыс. международных издательств, включая более 300 российских журналов. Непревзойденная поддержка в поиске научных публикаций и предоставлении ссылок на все вышедшие рефераты из обширного объема доступных статей. Возможность получения информации о том, сколько раз ссылались другие авторы на интересующую Вас статью, предоставляется список этих статей. Отслеживание своих публикаций с помощью авторских профилей, а так же работы своих соавторов и соперников. |
| 5. | <a href="http://www.elibrary.ru">http://www.elibrary.ru</a>             | Научная электронная библиотека (НЭБ) содержит полнотекстовые версии научных изданий ведущих зарубежных и отечественных издательств.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| 6. | <a href="http://diss.rsl.ru">http://diss.rsl.ru</a>                     | «Электронная библиотека диссертаций» Российской Государственной Библиотеки (РГБ) в настоящее время содержит более 400 000 полных текстов наиболее часто запрашиваемых читателями диссертаций. Ежегодное оцифровывание от 25000 до 30000 диссертаций.                                                                                                                                                                                                                                                                                              |

## **7. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины**

### **(модуля).**

Основной учебной работой аспиранта является самостоятельная работа в течение всего срока обучения. Начинать изучение дисциплины необходимо с ознакомления с целями и задачами дисциплины и знаниями и умениями, приобретаемыми в процессе изучения. Далее следует проработать конспекты лекций, рассмотрев отдельные вопросы по предложенным источникам литературы. Все неясные вопросы по дисциплине аспирант может разрешить на консультациях, проводимых по расписанию. При подготовке к практическим занятиям аспирант в обязательном порядке изучает теоретический материал.

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

**8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю).**

**8.1 Перечень информационных технологий.**

Не предусмотрено.

**8.2 Перечень необходимого программного обеспечения.**

| Программный продукт                                            | Договор/лицензия                                                         |
|----------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|
| Операционная система MS Windows 8, 10                          | №73–АЭФ/223-ФЗ/2018      Соглашение Microsoft ESS 72569510 от 06.11.2018 |
| Интегрированное офисное приложение MS Office Professional Plus | №73–АЭФ/223-ФЗ/2018      Соглашение Microsoft ESS 72569510 от 06.11.2018 |

**8.3 Перечень информационных справочных систем:**

1. Электронная библиотечная система "Университетская библиотека ONLINE" [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://biblioclub.ru>.
2. Электронная библиотечная система издательства "Лань" [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://e.lanbook.com>.
3. Электронная библиотечная система eLIBRARY.RU (<http://www.elibrary.ru>).

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

| №  | Вид работ            | Материально-техническое обеспечение дисциплины и оснащенность                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|----|----------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. | Лекционные занятия   | Учебные аудитории для проведения занятий лекционного типа; оснащение: комплект учебной мебели; доска учебная магнитно-маркерная; компьютерное оснащение ПЭВМ 3 шт.<br>350040 г. Краснодар, ул. Ставропольская, 149, №223С                                                                                                                                                                                                                                  |
| 2. | Лабораторные занятия | Учебная аудитория для проведения занятий лабораторного типа «Лаборатория структурного анализа»; оснащение: лазерная система на базе Nd:YAG лазера и параметрического генератора света для спектральной области 680-2500 нм, в том числе:<br>Импульсный Nd:YAG лазер модели LO29-100;<br>Параметрический генератор света модели LP 604; Генератор 2-ой гармоники модели LP 101;<br>Стенд оптический.<br>350040 г. Краснодар, ул. Ставропольская, 149, №123С |

|    |                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|----|--------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 3. | Групповые<br>(индивидуальные)<br>консультации    | Аудитории для проведения групповых и индивидуальных консультаций; оснащенность: комплект учебной мебели с учебными ПЭВМ; 1 ПЭВМ администратора (преподавательский); доска учебная магнитно-маркерная<br>350040 г. Краснодар, ул. Ставропольская, 149, № 212С, 207С                                                       |
| 4. | Текущий контроль,<br>промежуточная<br>аттестация | Аудитория для текущего контроля и промежуточной аттестации; оснащенность: комплект учебной мебели, доска учебная магнитно-маркерная<br>350040 г. Краснодар, ул. Ставропольская, 149, №223С                                                                                                                               |
| 5. | Самостоятельная работа                           | Помещение для самостоятельной работы; оснащенность: комплект учебной мебели, компьютерное оснащение ПЭВМ с возможностью подключения к сети «Интернет», программой экранного увеличения и доступом в электронную информационно-образовательную среду университета<br>350040 г. Краснодар, ул. Ставропольская, 149, № 208С |