

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Кубанский государственный университет»

Физико-технический факультет
Кафедра физики и информационных систем



Рабочая программа дисциплины

Б1.В.ДВ.2 Люминесценция твердых тел

для подготовки аспирантов

Направление
03.06.01 Физика и астрономия

Профиль 01.04.07 - Физика конденсированного состояния

Очная форма обучения

Краснодар
2016

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(ы):



В.А. Исаев, д-р физ.-мат. наук, профессор кафедры физики и информационных систем физико-технического факультета ФГБОУ ВО «КубГУ»

Рецензент(ы):



Тумаев Е.Н., д-р физ.-мат. наук, профессор, заведующий кафедрой теоретической физики и компьютерных систем физико-технического факультета ФГБОУ ВО «КубГУ»

Программа одобрена на заседании кафедры физики и информационных систем от «23» мая 2016 года, протокол № 17.

Одобрено на заседании учебно-методической комиссии физико-технического факультета «23» мая 2016 г., протокол № 5

Подписи:

Зав. кафедрой



Н.М. Богатов

Декан

физико-технического факультета



Н.А. Яковенко

1. Цели и задачи освоения дисциплины

Учебная дисциплина "Люминесценция твердых тел" ставит своей целью изучение люминесцентных свойств конденсированных сред. Изучаются механизмы формирования центров люминесценции, схемы расщепления и структура уровней для примесных ионов переходных металлов и редкоземельных элементов.

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

Для успешного овладения материалом курса необходимы знания из атомной физики, квантовой механики, теории симметрии, в том числе теории дискретных и непрерывных групп.

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

«Люминесценция твердых тел» является дисциплиной по выбору аспирантуры направления 03.06.01 – Физика и астрономия, профиль 01.04.07 – Физика конденсированного состояния. Изучение люминесцентных свойств конденсированных сред базируется на знаниях магистрантов, полученных ранее при изучении дисциплин, входящих в цикл общей физики.

3. Требования к результатам освоения содержания дисциплины

В результате изучения курса аспирант должен:

- иметь четкие представления о современных научных концепциях дисциплины "Люминесценция твердых тел";
- знать основные законы, идеи и принципы, лежащие в основе явления люминесценции конденсированных сред, их становление и развитие в исторической последовательности, их математическое описание, их

экспериментальное исследование и практическое использование;

– уметь осмысливать и интерпретировать основные положения люминесценции конденсированных сред, оценивать порядки физических величин, использовать полученные знания в различных областях физической науки и техники;

– готовность выбирать, осваивать и совершенствовать методы выращивания и исследования кристаллов (ПК-1);

– владеть теоретическими и экспериментальными методами исследования природы кристаллических и аморфных веществ в твердом и жидком состояниях и изменения их свойств при различных внешних воздействиях (ПК-2).

4. Содержание и структура дисциплины «Люминесценция твердых тел»

4.1. Содержание разделов дисциплины

№ раздела	Наименование раздела	Содержание раздела	Форма текущего контроля	Разработано с участием представителей работодателей
1	2	3	4	5
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. <i>LS</i> - и <i>JJ</i> - связь. Эквивалентные электроны. Волновые функции конфигурации эквивалентных	Интерактивная форма	

		электронов. Матричные элементы одно- и двухэлектронных операторов. Параметры электростатического взаимодействия		
2	Основные представления теории групп	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.	Защита ЛР № 1	
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 и изломы на них. Спектры примесных	Интерактивная форма	

		атомов группы железа.		
4	Электронно-колебательное 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.	Интерактивная форма	
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.	Интерактивная форма	
6	Люминесценция примесных ионов в	Сила осциллятора и время жизни	Защита ЛР № 2	

	кристаллах	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		
7	Спектроскопия редкоземельных ионов в кристаллах	Различные зарядовые состояния редкоземельных 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.	Защита ЛР № 3	
8	Спектроскопия во внешних полях	Симметричный аспект спектроскопии во внешних полях. Эффект Зеемана и магнитный циркулярный дихроизм. Эффект Штарка для центросимметричных и нецентросимметричных примесных центров. Пьезоспектроскопический эффект.	Интерактивная форма	
9	Центры окраски в	Движение электрона в	Интерак	

	щелочногалоидных кристаллах	кристалле. Полярон. Электронные процессы в щелочно-галоидных кристаллах. Взаимодействие электрона проводимости с колебаниями. Взаимодействие электронов проводимости со структурными дефектами. 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. F(A)-центры первого и второго типа. Переориентация F(A)-центров. Дырочные центры окраски. H-центры. Ртутеподобные ионы в ЦГК. Автолокализация дырок. Автолокализованный экситон. Механизмы радиационного создания дефектов. Кинетика радиационного образования дефектов. Туннельная люминесценция	тивная форма	
10	Основы кинетики люминесценции кристаллофосфоров	Составление простейших кинетических уравнений. Разгорание люминесценции кристаллофосфоров, стационарное состояние, затухание свечения при	Защита ЛР № 4	

		наличии примесей. Различные механизмы взаимодействия примесных ионов: резонансное, обменное, рекомбинационное и др. Миграция и перенос энергии электронных возбуждений. Формула Ферстера-Декстера-Галанина для диполь-дипольного переноса, её обобщения. Кинетика послесвечения и выход люминесценции при переносе энергии. Уравнения детального баланса и их обобщения. Микропараметры переноса. Предельные случаи слабого и сильного некогерентного взаимодействия, сверхмиграция. Особые виды переноса: кросс-релаксационное и нелинейное взаимодействие. Суммирование и размножение электронных возбуждений редкоземельных ионов. Различные механизмы антистоксова преобразования ИК излучения в видимый свет. Миграционные и другие схемы лазеров с переносом энергии редкоземельными ионами. Фотонная лавина, возможности безинверсионного усиления оптического		
--	--	--	--	--

		излучения. Современные проблемы изучения и применения редкоземельных ионов в качестве зондов упорядоченности различных систем сверхпроводников, биологически активных молекул и др.		
--	--	--	--	--

4.2 Структура дисциплины

Распределение трудоемкости

Вид работы	Трудоемкость, часов			
	семестр 9	семестр А	семестр В	Всего
Общая трудоемкость		108		108
Аудиторная работа:		44		44
<i>Лекции (Л)</i>	–	18	–	18
<i>Практические занятия (ПЗ)</i>	–	–	–	–
<i>Лабораторные работы (ЛР)</i>	–	18	–	18
Самостоятельная работа:	–	64	–	64
Реферат (Р)	–	–	–	–
Самостоятельное изучение разделов				
Самоподготовка				
Подготовка и сдача экзамена				
Вид итогового контроля		зачет		

Разделы дисциплины, изучаемые в семестре А

№ раздела	Наименование разделов	Количество часов				
		Всего	Аудиторная работа			Самостоятельная работа
			Л	ПЗ	ЛР	
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>
1	Основы атомной спектроскопии	12	–	2	–	10
2	Основные представления теории групп	18	2	2	4	10

3	Теория кристаллического поля	14	2	2	–	10
4	Электронно-колебательное взаимодействие	7	2	–	–	5
5	Эффекты Яна-Теллера	9	2	2		5
6	Люминесценция примесных ионов в кристаллах	16		2	4	10
7	Спектроскопия редкоземельных атомов в кристаллах	10		2	4	4
8	Спектроскопия во внешних полях	6		2		4
9	Центры окраски в щелочногалоидных кристаллах	6		2		4
10	Основы кинетики люминесценции кристаллофосфоров	8		2	6	2
	<i>Итого:</i>	108	8	18	18	64
	<i>Всего:</i>					

4.3 Лабораторные работы

№ ЛР	Наименование лабораторной работы	Содержание лабораторной работы	Форма текущего контроля
1	Основные представления теории групп	Операторы симметрии. Точечная группа. Точечные группы высокой, средней и низкой симметрии.	Защита ЛР № 1
2	Люминесценция примесных ионов в кристаллах	Сила осциллятора и время жизни излучательного перехода. Однородная и неоднородная ширина спектральных линий	Защита ЛР № 2
3	Спектроскопия редкоземельных ионов в кристаллах	Особенности спектров двух- и трехзарядных состояний РЗ ионов. ансамбле РЗ ионов. Кооперативный эффект Яна-Теллера	Защита ЛР № 3
4	Основы кинетики	Разгорание люминесценции	Защита

	люминесценции кристаллофосфоров	кристаллофосфоров, стационарное состояние, затухание свечения при наличии примесей.	ЛР № 4
--	------------------------------------	---	--------

4.4 Самостоятельное изучение разделов дисциплины

Рекомендуется следующий график и календарный план самостоятельной работы студентов по учебным неделям (18 недель):

№ уч. недели	Темы учебной дисциплины, рекомендуемые для обязательного изучения	Темы учебной дисциплины, рекомендуемые для самостоятельного изучения
1	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.	Квантовая теория углового момента. Коэффициенты Клебша-Гордана, $3j$ -символы. Сложение трех моментов, $6j$ -символы, коэффициенты Рака. Неприводимые тензорные операторы, теорема Вигнера-Эккарта.
2	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.	Непрерывные группы. Алгебра Ли непрерывной группы. Размерность и ранг группы. Группа вращений трехмерного пространства $SO(3)$ и ее подгруппы. Неприводимые представления группы $SO(3)$. Группа $SU(2)$, ее связь с группой $SO(3)$. Неприводимые представления группы $SU(2)$. Обычные и двойные представления точечных групп. Техника разложения

		приводимого представления точечной группы на неприводимые представления.
3	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.	Расщепление уровней энергии примесного иона в кристаллическом поле октаэдрической и тетраэдрической симметрии. Особенности расщепления уровней энергии в низкосимметричном кристаллическом поле. Расщепление уровней энергии с полуцелым значением углового момента.
4	Выполнение практических заданий, подготовка к докладам	
5	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	Безызлучательные переходы. Гамильтониан линейного электронно-колебательного взаимодействия, однофононные безызлучательные переходы. Многофононные переходы.
6	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.	Вероятность перехода, сечение взаимодействия. Кинетические уравнения при взаимодействии атомной системы с электромагнитной волной. Коэффициенты Эйнштейна.

	Выжигание провалов.	
7	Выполнение практических заданий, подготовка к докладам	
8	Различные зарядовые состояния редкоземельных 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.	Параметры Джадда-Офельта. Практические расчеты уровней энергии ионов РЗ элементов.
9	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 щелочногалогидных кристаллах. $F(A)$ -центры первого и второго типа. Переориентация $F(A)$ -центров. Дырочные центры окраски. H -центры. Ртутеподобные ионы в щелочно-галогидных кристаллах.	Электронное строение точечных дефектов в щелочно-галогидных кристаллах и в кристаллах полупроводниковых соединений. Спектроскопические свойства центров окраски.
10	Выполнение практических заданий, итогового задания	

5. Образовательные технологии

При реализации учебной работы по освоению курса «Люминесценция твердых тел» используются современные образовательные технологии:

- информационно-коммуникационные технологии;
- проектные методы обучения;
- исследовательские методы в обучении;
- проблемное обучение.

Успешное освоение материала курса предполагает большую самостоятельную работу аспирантов и руководство этой работой со стороны преподавателей.

В учебном процессе используются активные и интерактивные формы проведения занятий: метод проектов, метод поиска быстрых решений в группе, мозговой штурм.

Интерактивные технологии, используемые при изучении дисциплины

Семестр	Вид занятия (Л, ПР, ЛР)	№ раздела	Используемые интерактивные образовательные технологии	Количество часов
А	<i>Л</i>		—	
	<i>ПР</i>		—	
	<i>ЛР</i>		—	
	<i>Л</i>		Презентации лекций	4
	<i>ПР</i>		Программы онлайн-контроля знаний студентов	
	<i>ЛР</i>		Предусмотрены	8
		1	Операторы симметрии. Точечная группа. Точечные группы высокой, средней и низкой симметрии	2
		2	Сила осциллятора и время жизни излучательного перехода. Однородная и неоднородная ширина спектральных линий	2
		3	Особенности спектров двух- и трехзарядных состояний РЗ ионов. ансамбле РЗ ионов. Кооперативный эффект Яна-Теллера	2
		4	Разгорание люминесценции кристаллофосфоров, стационарное состояние, затухание свечения при наличии примесей	2
<i>Итого:</i>				14

6. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины

Текущий контроль:

- контрольные вопросы по разделам учебной программы.
- практические задания.

Промежуточный контроль:

- контрольные работы (промежуточная контрольная работа, итоговое задание);

Итоговый контроль:

- зачет.

В процессе подготовки докладов, выступлений и дискуссий формируются и оцениваются компетенции ПК-1, ПК-2.

Темы докладов.

1. Атом водорода и многоэлектронные атомы.
2. Математические основы теории симметрии.
3. Кристаллическое поле. Расщепление уровней энергии примесных ионов в кристаллическом поле. Диаграммы Танабе-Сугано.
4. Адиабатическое приближение. Принцип Франка-Кондона.
5. Сила осциллятора и время жизни излучательного перехода. Поляризованная люминесценция.
6. Особенности спектров редкоземельных ионов.
7. Простейшие электронные центры окраски.

На зачете в процессе ответов на вопросы оцениваются компетенции ПК-1, ПК-2.

ПЕРЕЧЕНЬ ВОПРОСОВ, ВЫНОСИМЫХ НА ЗАЧЕТ

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 функции 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. Ян-теллеровские 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 centrosymmetric и неcentrosymmetric 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 щелочногалоидных кристаллах.

Минимум, необходимый для получения зачета

1. Волновые функции и уровни энергии атома водорода.
2. Оператор углового момента.
3. Спин-орбитальное взаимодействие.
4. LS - и JJ -связь.
5. Точечная группа.
6. Неприводимые и приводимые представления групп.
7. Точечные группы высокой, средней и низкой симметрии.
8. Двойные группы и двузначные представления.
9. Кристаллическое поле.
10. Сила кристаллического поля. Поле в октаэдре, кубе, тетраэдре.
11. Волновые функции многоэлектронных атомов в приближении сильного и слабого кристаллического поля.
12. Спин-орбитальное взаимодействие в кристаллическом поле.
13. Принцип Франка-Кондона.
14. Электронно-колебательные спектры примесных атомов.
15. Теорема Яна-Теллера.
16. Статический и динамический эффекты Яна-Теллера.
17. Сила осциллятора и время жизни излучательного перехода.
18. Элементарные излучатели и их мультиплетность.
19. Миграция энергии электронного возбуждения.
20. Однородная и неоднородная ширина спектральных линий.
21. Безызлучательные переходы.
22. Кооперативные процессы в ансамбле P^3 ионов.
23. Симметричный аспект спектроскопии во внешних полях.
24. Эффект Штарка для центросимметричных и нецентросимметричных примесных центров.
25. Эффект Зеемана.

25. Простейшие электронные центры окраски
26. Центры окраски в щелочно-галогидных кристаллах.

7. Учебно-методическое обеспечение дисциплины

7.1 Основная литература:

1. М. А. Ельяшевич. Атомная и молекулярная спектроскопия. В 3-х частях. Издательство: [Либроком](#), 2009 г.
2. Ю. Беккер. Спектроскопия. Издательство: Техносфера, 2009 г.
3. Барсуков В.И. Атомный спектральный анализ. М., изд-во "Машиностроение", 2005 г.

7.2 Дополнительная литература

1. Н.А. Кулагин, Д.Т. Свиридов. Методы расчета электронных структур свободных и примесных ионов. М. "Наука", 1986.
2. Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. Квантовая механика. М. "Наука", 1989 г.
3. И.И. Собельман. Введение в теорию атомных спектров. М., ГИФМЛ, 1963.
4. И.С. Осадько. Селективная спектроскопия одиночных молекул. М., изд-во "Физматлит", 2000 г.
5. Д.Т.Свиридов, Р.К.Свиридов, Ф.Ф.Смирнов. Оптические спектры переходных металлов в кристаллах. М., "Наука", 1976.
6. В.М. Агранович, М.Д.Галанин. Перенос энергии электронного возбуждения в конденсированных средах. М., "Наука", 1978.
7. В.В. Антонов-Романовский. Кинетика фотолуминесценции кристаллофосфоров. М., "Наука", 1966.
8. А.А.Каминский, Б.М.Антипенко. Многоуровневые функциональные схемы кристаллических лазеров. М., "Наука", 1989.
9. Ю.П.Чукова. Антистоксова люминесценция и новые возможности её применения. М., "Советское радио", 1980.
10. М.Д. Галанин Люминесценция молекул и кристаллов. М.: "Наука", 1999 г.

11. Э.Д. Алукер, Д.Ю. Лусис, С.А. Чернов. Электронные возбуждения и радиолюминесценция щелочно-галогидных кристаллов. Рига, 1979 г.
12. М.В. Фок. Введение в кинетику люминесценции кристаллофосфоров. М., "Наука", 1964 г.
13. В.Л. Левшин. Фотолюминесценция жидких и твердых веществ. М.: "Наука", 1951 г.
14. Д. Кюри Люминесценция кристаллов. М. изд-во иностранной литературы, 1961 г.
15. Э.И. Адирович. Некоторые вопросы теории люминесценции кристаллофосфоров. М.-Л., 1951 г.

7.3 Программное обеспечение

1. Программы моделирования физических процессов в курсе "Люминесценция твердых тел".
2. Программы онлайн-контроля знаний студентов (в том числе программное обеспечение дистанционного обучения).

8. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Для проведения занятий имеется необходимая материально-техническая база, соответствующая действующим санитарным и противопожарным правилам и нормам:

- лекционная аудитория, оснащенная мультимедийными проекторами с возможностью подключения к Wi-Fi, документ-камерой, маркерными досками для демонстрации учебного материала;
- специализированные компьютерные классы с подключенным к ним периферийным устройством и оборудованием;
- аппаратное и программное обеспечение (и соответствующие методические материалы) для проведения самостоятельной работы по дисциплине.