Оптика конденсированного состояния

Лекторы:
Александра Калашникова

Язык:
Русский

Трудоемкость:
4 з.е.

Форма контроля:
Экзамен

Образовательная программа:
Теоретическая и экспериментальная физика
7 семестр

Пререквизиты:
Электродинамика сплошных сред
Физика твердого тела
Квантовая механика

Лекции (ак.час)*	Практические занятия (ак.час)	Лабораторные занятия (ак.час)
32	32	
*1 академический час = 45 минутам		

Данный курс предназначен для бакалавров физических специальностей и направлен на приобретение знаний об основных закономерностях взаимодействия света с различными конденсированными средами. В рамках курса студенты знакомятся и осваивают модели и подходы к анализу оптических явлений в твердом теле с использованием как полностью классического описания, там, где это возможно, так и с применением полуклассических подходов. Рассматриваются вопросы распространения излучения в различных средах, а также резонансные эффекты взаимодействия света со средой.

Содержание курса

7 семестр

Оптика конденсированного состояния

Структура курса

Разделы	Лекции (ак.ч.)	Практика (ак.ч.)
1. Вводная часть. Общие подходы к описанию взаимодействия света с веществом.		
1.1. Микро- и макроскопические уравнения Максвелла. Два подхода к выделению источников – квазистационарный и высокочастотный. Волновое уравнение в общем виде с выделением источников. Материальные уравнения. Классификация сред. Общие свойства тензоров диэлектрической/магнитной проницаемости. Соотношения Крамерса-Кронига – преобразование Гильберта. Трудности в применении соотношений К.-К. для восстановления вещественной части диэлектрической проницаемости по известному спектру поглощения для конечного спектрального интервала 1.2. Однородный изотропный диэлектрик. Одномерная и двумерная постановка задачи модели Друде-Лоренца. Дисперсия среды в приближении Друде-Лоренца (одночастотный случай и обобщение на случай спектра). Дисперсия среды двухуровневых атомов. Полуклассический подход на основе решения уравнений матрицы плотности	4	4
2. Оптика объемных полупроводников		
2.1. Оптика полупроводников. Основные процессы поглощения света в ПП (свободными электронами и дырками, связанными электронами (валентными или локализованными на примесях и дефектах). 2.2. Оптика полупроводников. Межзонное поглощение в прямозонных полупроводниках. Поглощение света при непрямых переходах. Особенности поглощения света в вырожденных полупроводниках. Эффект Бурштейна-Мосса. 2.3. Оптика полупроводников. Влияние примесей на поглощение ЭМП. Поглощение света в сильно легированных и неупорядоченных полупроводниках. Правило Урбаха. Примесное поглощение при малых концентрациях 2.4. Оптика полупроводников. Экситонное поглощении в ПП. Коллективные эффекты, экситонные комплексы. 2.5. Оптика полупроводников. Взаимодействие света с фононами. Взаимодействие света со сводными носителями в ПП. Объёмные поляритоны и поверхностные поляритоны.	8	8
3. Оптические свойства полупроводников во внешних полях поле.		
3.1. Оптические свойства полупроводников во внешнем электростатическом поле. Феноменологическое описание влияния электрического поля на оптические свойства полупроводника. Поправки к тензору диэлектрической проницаемости. Эффект Поккельса, Керра Франца – Келдыша. Применение этих эффектов в модуляционной спектроскопии. Метод ВКБ для описания электропоглощения. Полупроводники типа GaAs, поляризационные зависимости электропоглощения в кристаллах кубической симметрии. Кулоновские поправки. Экситон в электростатическом поле. Эффект Штарка. Ионизация. 3.2. Оптические свойства полупроводников во внешнем магнитном поле. Феноменологическое описание, диэлектрическая проницаемость кубического кристалла в магнитном поле. Эффект Фарадея и естественная оптическая активность. Эффект Фарадея на внутрицентровых переходах. Влияние магнитного поля на состояния свободных носителей, уровни Ландау. 3.3. Внешнее магнитное поле. Эффект Ханле. Экситон Ванье в магнитном поле. 3.4. Фотоэмиссия. Внешний и внутренний фотоэффект. Квантовый выход. Принципы фотоэмиссионной спектроскопии. - Рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия (РФЭС). - Ультрафиолетовая фотоэлектронная спектроскопия (УФЭС). - Фотоэлектронная спектроскопия с угловым разрешением (ARPES). - Оже спектроскопия. - Обратная фотоэмиссия.	14	14
4.Основы оптики низкоразмерных структур		

4.1. Особенности оптики низкоразмерных систем. Классификация гетероструктур -> ямы, проволоки, точки. Размерное квантование (кратко). Межзонные и внутризонные оптические переходы между подзонами размерного квантования. Поляризационные свойства оптических переходов из подзон тяжелых и легких дырок. 4.2. Двумерные системы с квантовыми ямами и сверхрешетками, двумерные полупроводники. Электронные волновые функции, плотность состояний, энергетические уровни. Правила отбора. Электрон-фононное взаимодействие. Экситонные состояния в двумерных квантовых ямах и двумерных полупроводниках. Размерно-квантовый эффект Штарка. Сверхрешетки в электрическом поле, Штарковская лестница. Магнитоэкситоны в структурах с квантовыми ямами. 4.3. 1D и 0D квантовые системы. Электронные волновые функции, плотность состояний, энергетические уровни. Правила отбора. Электронные возбуждения в в квантовых точках. Экситонные состояния в квантовых точках. Спектроскопия одиночной квантовой точки. Резонансная люминесценция. 4.4. Основы полупроводниковой оптоэлектроники. Полупроводниковые лазеры и лазерные диоды. Светодиоды. Фотодетекторы. Однофотонные источники излучения на основе квантовых точек.	6	6

Рекомендуемые ресурсы

1. Ландау Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика. Том 8. Электродинамика сплошных сред, 1982.
2. Питер Ю, Кардона М. Основы физики полупроводников, М.: ФИЗМАТЛИТ, 2002
3. M. Dressel and G. Gruner, Electrodynamics of Solids. Cambridge University Press, Cambridge, 2002.
4. Тимофеев В.Б. Оптическая спектроскопия объемных полупроводников и наноструктур: учебное пособие, Лань, 2015
5. Lechonera, K. Optical Properties of Solids: An Introductory Textbook. Singapore, (2016)
6. M. Fox. Optical Properties of Solids (Vol. Second edition). Oxford: OUP Oxford, (2010).
7. Ансельм А. И. Введения в теорию полупроводников, 2008.
8. Блум К. Теория матрицы плотности и ее приложения. – Рипол Классик, 1983.
9. Гапоненко С.В., Розанов Н.Н., Ивченко Е.Л., Федоров А.В., А. В. Баранов А.В., Бонч-Бруевич А.М., Вартанян Т.А., Пржибельский С.Г. Оптика наноструктур. Под редакцией А. В. Федорова: СПб «Недра», 2005 г. – 326 с.

Политика оценивания

Оценочные средства дисциплины: практическое задание, семинарское занятие, доклад, коллоквиум, экзамен.

Практическое задание: выполнение практических заданий с защитой и обсуждением на семинарском занятии. Обучающийся в электронном виде получает список задач (до 5 шт.), сроки предоставления решения указываются при выдаче задания (в среднем 2-3 недели). Общее количество домашних заданий - 13.
Максимальное количество баллов за каждое выполненное задание - 3.

Доклад: порядок выбора обучающимся темы – из предложенного списка или предлагается инициативная тема в течение первого месяца обучения. Данная активность не является обязательной на курсе и выполняется по желанию студента. Срок представления работы – к началу последнего месяца семестра.
Максимальное количество баллов - 11.

Коллоквиум: выбираются 2 вопроса случайным образом, на подготовку дается 60 минут. Разрешено 3 раза (каждый раз в течение 5 минут) воспользоваться своим конспектом и справочными материалами (оптические константы, рисунки с изображением спектров и зонных диаграмм и т.п.), далее - устное собеседование по вопросам на основе рукописной подготовки после получения вопросов. **Максимальное количество баллов - 25, минимальное - 12.**

Экзамен: в случае, если не пройден коллоквиум, или оценка по коллоквиуму ниже 12 баллов, то в день экзамена сначала сдается коллоквиум, а затем экзамен. На подготовку дается 60 минут. Разрешено 3 раза, каждый раз в течение 5 минут воспользоваться своим конспектом и справочными материалами (оптические константы, рисунки с изображением спектров и зонных диаграмм и т. п.) Экзамен проводится в виде устного собеседования по вопросам на основе записи студента, сделанных при подготовке после получения вопросов. **Максимальное количество баллов - 25.**

Знания, умения и навыки обучающихся при промежуточной аттестации в форме экзамена определяются оценками «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно».
«Отлично» – от 90 до 103 баллов - обучающийся глубоко и прочно усвоил весь программный материал, исчерпывающе, последовательно, грамотно и логически стройно его излагает, не затрудняется с ответом при видоизменении задания, свободно справляется с задачами и практическими заданиями, правильно обосновывает принятые решения, умеет самостоятельно обобщать и излагать материал, не допуская ошибок.
«Хорошо» – от 74 до 90 баллов - обучающийся твердо знает программный материал, грамотно и по существу излагает его, не допускает существенных неточностей в ответе на вопрос, может правильно применять теоретические положения и владеет необходимыми умениями и навыками при выполнении практических заданий.
«Удовлетворительно» – от 60 до 74 баллов - обучающийся усвоил только основной материал, но не знает отдельных деталей, допускает неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушает последовательность в изложении программного материала и испытывает затруднения в выполнении практических заданий.

«Неудовлетворительно» – от 0 до 60 баллов - обучающийся не знает значительной части программного материала, допускает существенные ошибки, с большими затруднениями выполняет практические задания, задачи.