

# 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<br>(ак.час)*               | Практические занятия<br>(ак.час) | Лабораторные занятия<br>(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<br>(ак.ч.) | Практика<br>(ак.ч.) |
|--|-------------------|---------------------|
| <b>1. Вводная часть. Общие подходы к описанию взаимодействия света с веществом.</b>  |                   |                     |
| <p>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</p> <p>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</p>   | 4                 | 4                   |
| <b>2. Оптика объемных полупроводников</b>  |                   |                     |
| <p>2.1. Оптика полупроводников. Основные процессы поглощения света в ПП (свободными электронами и дырками, связанными электронами (валентными или локализованными на примесях и дефектах).</p> <p>2.2. Оптика полупроводников. Межзонное поглощение в прямозонных полупроводниках. Поглощение света при непрямых переходах. Особенности поглощения света в вырожденных полупроводниках. Эффект Бурштейна-Мосса.</p> <p>2.3. Оптика полупроводников. Влияние примесей на поглощение ЭМП. Поглощение света в сильно легированных и неупорядоченных полупроводниках. Правило Урбаха. Примесное поглощение при малых концентрациях</p> <p>2.4. Оптика полупроводников. Экситонное поглощение в ПП. Коллективные эффекты, экситонные комплексы.</p> <p>2.5. Оптика полупроводников. Взаимодействие света с фононами. Взаимодействие света со сводными носителями в ПП. Объемные поляритоны и поверхностные поляритоны.</p>  | 8                 | 8                   |
| <b>3. Оптические свойства полупроводников во внешних полях поле.</b>   |                   |                     |
| <p>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.</p> <p>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.</p> <p>3.3. Внешнее магнитное поле. Эффект Ханле. Экситон Ванье в магнитном поле.</p> <p>3.4. Фотоэмиссия. Внешний и внутренний фотоэффект. Квантовый выход. Принципы фотоэмиссионной спектроскопии.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия (РФЭС).</li> <li>- Ультрафиолетовая фотоэлектронная спектроскопия (УФЭС).</li> <li>- Фотоэлектронная спектроскопия с угловым разрешением (ARPES).</li> <li>- Оже спектроскопия. - Обратная фотоэмиссия.</li> </ul> | 14                | 14                  |
| <b>4. Основы оптики низкоразмерных структур</b>  |                   |                     |

|  |   |   |
|--|---|---|
| <p>4.1. Особенности оптики низкоразмерных систем. Классификация гетероструктур -&gt; 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.</p> <p>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.</p> <p>4.3. 1D и 0D квантовые системы. Электронные волновые функции, плотность состояний, энергетические уровни. Правила отбора. Электронные возбуждения в квантовых точках. Экситонные состояния в квантовых точках. Спектроскопия одиночной квантовой точки. Резонансная люминесценция.</p> <p>4.4. Основы полупроводниковой оптоэлектроники. Полупроводниковые лазеры и лазерные диоды. Светодиоды. Фотодетекторы. Однофотонные источники излучения на основе квантовых точек.</p> | 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.