



**Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
"Национальный исследовательский университет
"Высшая школа экономики"**

Факультет физики
Базовая кафедра физики конденсированных сред

**Рабочая программа дисциплины
Оптика конденсированных сред**

для образовательной программы направления 03.04.02 «Физика»
уровень - магистр

Разработчики программы
Девятов Э.В., д.ф-м.н., dev@issp.ac.ru

Одобрена на заседании факультета физики «__»_____ 2017 г.
Декан факультета физики Трунин М.Р. _____

Утверждена Академическим советом образовательной программы
«__»_____ 2017 г., № протокола _____

Академический руководитель
образовательной программы Лебедев В.В. _____

Москва, 2017

Настоящая программа не может быть использована другими подразделениями университета и другими вузами без разрешения подразделения-разработчика программы.



1 Область применения и нормативные ссылки

Настоящая программа учебной дисциплины устанавливает минимальные требования к образовательным результатам и результатам обучения студента и определяет содержание и виды учебных занятий и отчетности.

Программа предназначена для преподавателей, ведущих данную дисциплину, учебных ассистентов и студентов направления подготовки 03.04.02 «Физика» подготовки магистров.

Программа учебной дисциплины разработана в соответствии с:

- Образовательным стандартом НИУ ВШЭ 03.04.02 «Физика» по подготовке магистров;
- Учебным планом университета по образовательной программе 03.04.02 «Физика» подготовки магистров, утвержденным в 2017 г.

2 Цели освоения дисциплины

Целями освоения дисциплины "Оптика конденсированных сред" являются:

- формирование у студентов профессиональных компетенций, связанных с использованием современных теоретических концепций области в спектроскопии и физики конденсированных сред;
- развитие умений, основанных на полученных теоретических знаниях, позволяющих на творческом уровне создавать и применять физические модели для оптического исследования свойств конденсированных сред, анализировать процессы, происходящие в твердых телах
- получение студентами навыков самостоятельной исследовательской работы, предполагающей изучение специфических алгоритмов, инструментов и средств, необходимых для решения задач в области оптики конденсированных сред;
- получение практических навыков использования экспериментальных и теоретических данных для решения задач в области оптики конденсированных сред, проектирования свойств простейших опто-электронных устройств.

3 Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины

Код по ФГОС/НИУ	Компетенция	Дескрипторы-показатели достижения компетенций	Способы формирования
УК-2	Способен создавать новые теории, изобретать новые способы и инструменты профессиональной деятельности	РБ/СД – знает методику определения основных характеристик, - отличия и способы реализации твердотельных объектов, проявляющих свойства различной размерности	Семинары, работа в малых группах
УК-7	Способен организовать многостороннюю коммуникацию и управлять ею	РБ – иметь представление о технологических процессах, используемых для изготовления наноструктур в современной лаборатории и технологию проведения эксперимента	Лекции, семинары



ОПК-3	Способен определять, транслировать общие цели в профессиональной и социальной деятельности	РБ – имеет навыки работы с современной научной литературой в области физики конденсированных сред	Семинары, индивидуальные задания на моделирование плазменных процессов в солнечно-земной среде
ОПК-9	Способен создавать, описывать и ответственно контролировать выполнение технологических требований и нормативов в профессиональной деятельности	РБ – критически анализировать статьи в области физики конденсированных сред, опубликованные в научных журналах и доложенные на международных конференциях	Лекции, семинары
ПК-1	Способен ставить задачи в области физики и проводить научные эксперименты и/или теоретические (аналитические и имитационные) исследования для их решения	РБ/СД – умеет использовать: - разнообразные методики для оптических исследований твердых тел; - оценки основных параметров твердотельных объектов и наноструктур, влияющих на их оптические свойства; анализа оптических спектров твердотельных объектов и извлечения информации об их энергетическом спектре	Домашняя работа, индивидуальные задания по решению указанных задач

4 Место дисциплины в структуре образовательной программы

Настоящая дисциплина относится к вариативной части профессионального цикла дисциплин студентов, выбравшим специализацию на базовой кафедре «Физика конденсированных сред». В соответствии с рабочим учебным планом по направлению «Физика» дисциплина «Оптика конденсированных сред» читается студентам первого курса магистратуры в 3-4 модулях.

Трудоемкость курса – 5 з.е.

Общее количество часов – 190

Количество аудиторных часов 32, в том числе: 40 часа лекций, 20 часов семинаров.

Количество часов самостоятельной работы – 130.

Контроль: контрольные работы (решения 3-4-х задач на пройденные темы) в конце 3-го модуля, прием экзамена в устной форме после 4-го модуля

Изучение данной дисциплины базируется на знаниях, полученных студентами при освоении учебных дисциплин:

- Квантовая механика
- Теория поля
- Электронные свойства твердых тел



- Физика нелинейных явлений в конденсированных средах

Основные положения дисциплины должны быть использованы в дальнейшем при изучении дисциплин:

- «Электроны в неупорядоченных средах»
- «Топологические эффекты в современной физике твёрдого тела»

5 Тематический план учебной дисциплины

№	Название раздела	Всего часов	Аудиторные часы		Самостоятельная работа
			Лекции	Семинары	
1	<u>Оптические свойства объемных твердых тел</u>	26	12	4	10
2	Низкоразмерные структуры	52	8	4	40
3	<u>Экситоны в кристаллах и наноструктурах</u>	56	10	6	40
4	Плазмоны в <u>металлах и низкоразмерных проводниках</u>	38	4	4	30
5	Комбинационное рассеяние света в кристаллах и наноструктурах	18	6	2	10
	Итого:	190	40	20	130

6 Формы контроля знаний студентов:

Тип контроля	Форма контроля	модули		Параметры
		3	4	
Текущий	Контрольная работа 1	9-я неделя		Письменное решение 3 задач по пройденному материалу
Текущий	Контрольная работа 2		15-я неделя	Письменное решение 3 задач по пройденному материалу
Итоговый	Экзамен		20 неделя	Устный экзамен 60 мин.

6.1 Критерии оценки знаний, навыков

Оценки по всем формам контроля выставляются по 10-ти балльной шкале.

Текущий контроль предусматривает две контрольные работы, выполняемые в конце 1-го и 2-го модулей соответственно, а также учет посещаемости занятий.

Контрольная работа включает письменное решение трех задач в выбранном каждым студентом билете по темам пройденного материала в течение 1.5 часов.

Итоговый контроль: экзамен в конце 2-го модуля. Проводится в устной форме. Билет содержит 2 вопроса.



6.2 Порядок формирования оценок по дисциплине

Текущая оценка $O_{\text{текущая}}$ рассчитывается как взвешенная сумма оценок за две контрольные работы:

$$O_{\text{текущая}} = 0,5 * O_{\text{кр1}} + 0,5 * O_{\text{кр2}},$$

где каждая оценка ($O_{\text{кр1}}$ и $O_{\text{кр2}}$) выставляется по 10-ти бальной шкале. Способ округления – арифметический.

Итоговая оценка определяется соотношением

$$O_{\text{итоговая}} = 0,5 * O_{\text{текущая}} + 0,5 * O_{\text{экс}},$$

где $O_{\text{экс}}$ – оценка за экзамен.

Студенты, у которых $O_{\text{накопленная}} = 10$, освобождаются от устного экзамена и получают итоговую оценку 10. Студенты с оценкой $O_{\text{накопленная}} = 8$ или $O_{\text{накопленная}} = 9$ могут отвечать только на половину билета (1 вопрос по выбору) на устном экзамене.

7 Содержание дисциплины

7.1. Содержание лекций

1. Раздел 1 Оптические свойства объемных твердых тел

1. Адиабатическое приближение для электронной и ядерной подсистем в задачах о твердом теле. Одноэлектронное приближение. Метод Хартри-Фока. Основные результаты зонной теории. Лекции 1,2

2. Осцилляционная модель диэлектрической функции среды. Комплексная диэлектрическая проницаемость и соотношения Крамерса-Кронига. Лекция 3

3. Поглощение и отражение света с участием фононов. Фононные поляритоны. Лекция 4

4. Межзонные оптические переходы. Правила отбора при оптических переходах. Лекции 5,6

Источники:

Базовый учебник: Часть 1. Главы: 1,2,3,5,6,7,8,9,10,11.

Основная литература: Книги 2, 3, 4.

Общий объем самостоятельной работы:

6 часов.

2. Раздел 2 Низкоразмерные структуры

1. Полупроводниковые наноструктуры. Размерное квантование и энергетический спектр низкоразмерных систем. Особенности Ван-Хова для межзонных и внутризонных переходов в системах пониженной размерности. Метод матриц переноса для вывода закона дисперсии квазичастиц. Электроны и фотоны в сверхрешетках. Фотонные кристаллы Лекции 7-10

Источники:



Базовый учебник: Часть 1. Главы 9, 13,14 и Часть 2. Главы: 1,2,3,4.
Основная литература: Книга 2.

Общий объем самостоятельной работы:
4 часа

3. Раздел 3 Экситоны в кристаллах и наноструктурах

1. Экситоны Френкеля в молекулярных кристаллах. Экситоны Ванье-Мотта трехмерные и низкоразмерные. Экситонные поляритоны в трехмерных и двумерных системах. Лекции 11,12
2. Размерное квантование носителей заряда и экситонов в квантовых точках. Поглощение света и излучение квантовых точек. Лекция 13
3. Люминесценция полупроводниковых материалов и наноструктур. Фотовозбуждение и излучательная рекомбинация. Принципы оптической ориентации спинов свободных носителей в полупроводниках. Эффект Ханле. Лекции 14,15

Источники:

Базовый учебник: Часть 1. Главы 20, 21,22 и Часть 2. Главы: 2.
Основная литература: Книги 2, 4.

Общий объем самостоятельной работы:
5 часа

4. Раздел 4 Плазмоны в металлах и низкоразмерных проводниках

1. Оптические свойства свободных электронов в металле. Лекция 16
2. Плазменные колебания в низкоразмерных проводниках. Объемные и поверхностные плазмоны. Понятие о плазмонике. Лекция 17

Источники:

Базовый учебник: Часть 1. Главы 16, 17.
Основная литература: Книги 2, 4.
Дополнительная литература: Книга Стефана А. Майера.

Общий объем самостоятельной работы:
2 часа

5. Раздел 5 Комбинационное рассеяние света в кристаллах и наноструктурах

1. Комбинационное рассеяние света. Рассеяние на нейтральных возбуждениях: изучение дисперсии одночастичных и коллективных возбуждений. Межподзонные возбуждения и магнитоэкситоны в низкоразмерных электронных системах. Лекция 18
2. Оптические свойства металлических наночастиц. Теория Ми. Эффекты гигантского усиления комбинационного рассеяния и фотолюминесценции. Нелинейные оптические свойства металлических наночастиц. Лекция 19,20

Источники:

Базовый учебник: Часть 1. Глава 17.
Основная литература: Книги 2, 4.



Дополнительная литература: Статья Кулик Л.В. . . . , Статья М. Moskovits

Общий объем самостоятельной работы:
3 часа

7.2. Содержание практических занятий

Решение типовых задач на тему предшествующих лекций и обзор дополнительной литературы.

8 Образовательные технологии

Выполнение заданий, предлагаемых на практических занятиях, предполагает, в том числе, и самостоятельное изучение материала, связанного с темой лекции. Работа на практических занятиях (ПР) предполагает самостоятельное или коллективное решение задач.

8.1 Методические рекомендации преподавателю

Рекомендуется сочетать использование проектора изображений с изложением материала на доске. Проектор незаменим для представления иллюстраций, фото-видео материала по теме лекции. Вывод формул целесообразно проводить «в реальном времени» на классной доске для лучшего усвоения материала студентами.

8.2 Методические указания студентам

Целесообразно конспектировать подаваемый материал и выполнять домашнее задание после каждой лекции для более глубокого восприятия материала лекций и практических занятий.

9 Оценочные средства для текущего контроля и аттестации студента

9.1 Контрольная работа

Примерный вариант контрольной работы. Состоит из 3-х задач по пройденным темам:

Задача 1. Оценить количество нульмерных размерно-квантованных состояний в зоне проводимости интерфейсной $GaAs/AlAs$ квантовой точки, образованной за счет одномонослойной флуктуации ширины квантовой ямы $GaAs/AlAs$. Считать $E_{gap}(GaAs)=1.5эВ$, $E_{gap}(AlAs)=\infty$, $m_e(GaAs)=0.067m_0$, ширина $GaAs$ квантовой ямы $d=5.7нм$ постоянная решетки $a_{GaAs}=0.565нм$, размер интерфейсной квантовой точки в плоскости – квадрат со стороной $b=30нм$. Определить энергию края оптического поглощения такой интерфейсной квантовой точки.

Задача 2. Оценить средний радиус r_{av} и размерную дисперсию σ_r core-shell $CdSe/ZnS$ квантовых точек в водном растворе, если $FWHM$ -ширина пика люминесценции ансамбля КТ равна $80нм$, а его максимум приходится на $520нм$. Считать квантовые точки сферическими и что фотолюминесценция обусловлена рекомбинацией $e-h$ пар только в первом размерно-квантованном состоянии. $E_{gap}(CdSe)=1.74эВ$, $E_{gap}(ZnS)=3.6эВ$, $m_e(CdSe)=m_e(ZnS)=0.13m_0$, $m_h(CdSe)=m_h(ZnS)=0.44m_0$, считать ZnS оболочку тонкой.

Задача 3. Построить качественную зависимость функции плотности электронных состояний от величины перпендикулярного магнитного поля для КВАЗИ-двумерной электронной системы в одиночной прямоугольной квантовой яме с бесконечными барьерами. Ширина ямы – a , эффективная масса электрона – m^* .



9.2 Вопросы для оценки качества освоения дисциплины

Примеры вопросов, задач, заданий для зачета или экзамена.

Билет N.

Вопрос 1: Правила отбора при оптических переходах. Вывод выражения для коэффициента поглощения. Комплексная диэлектрическая проницаемость и соотношения Крамерса-Кронига .

Вопрос 2: Экситоны Ванье-Мотта: трехмерные, квазидвумерные и квазинульмерные (в т.ч. в квантовых точках). Экситоны в магнитном поле.

Задача: Определить энергию края оптического поглощения в CuCl кубической квантовой точке с длиной ребра куба $a=3\text{нм}$. Считать $E_{\text{gap}}(\text{CuCl})=3.2\text{эВ}$, $m_e(\text{CuCl})=m_h(\text{CuCl})=0.6m_0$, $\varepsilon_{\text{CuCl}}=4$. Экситоны какого типа конфайнмента будут образовываться в таких КТ.

10 Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

10.1 Базовый учебник

Оптическая спектроскопия объемных полупроводников и наноструктур: учебное пособие / В. Б. Тимофеев. – СПб.; М.; Краснодар: Лань, 2015. – 512 с. – (Сер. "Учебники для вузов. Специальная литература") . - ISBN 978-5-8114-1745-2.

10.2 Дополнительная литература

Книга:

С.В.Гапоненко, Н.Н.Розанов, Е.Л.Ивченко, А.В.Федоров, А.М.Бонч-Бруевич, Т.А.Вартанян, С.Г.Пржибельский, Оптика наноструктур. Под редакцией А.В.Федорова: Спб «Недра» , 2005.

Книга:

Стефан А. Майер, Плазмоника. Теория и приложения, 2011, Издательство: НИЦ "Регулярная и хаотическая динамика" ISBN: 978-5-93972-875-1

Статья в журнале:

М. Moskovits, Surface-enhanced spectroscopy, Rev.Mod.Phys. **57**: 3, pp.783-826.

Статья в Журнале:

Кулик Л.В. и Кирпичев В.Е., Спектроскопия неупругого рассеяния света электронных систем в одиночных и двойных квантовых ямах, Успехи Физических Наук, 176:4, 365 (2006).

Книга:

Оптические свойства наноструктур, Воробьев Л.Е., Ивченко Е.Л., Фирсов Д.А., Шалыгин В.А., 2001, ISBN 5-02-024

Книга :

Kittel.C, "Introduction to Solid State Physics", 8th Edition, 2005, ISBN : 978-0-471-41526-8

Книга 3:

Mark Fox, «Optical properties of Solids», 2nd edition, ISBN: 0199573379, 0199573360 (2010)



10.3 Справочники, словари, энциклопедии

Справочник основных физических постоянных. Например:

<http://infotables.ru/fizika/90-osnovnye-fizicheskie-postoyannye-velichiny-tablitsa>

«Большая физическая энциклопедия» в 5-ти томах Год выпуска: 1988 Автор: А.М. Прохоров

10.4 Программные средства Дистанционная поддержка дисциплины

Дистанционная поддержка дисциплины обеспечивается использованием LMS. В разделе дисциплины «Электронные свойства твердых тел» размещаются дополнительные материалы, связанные с лекциями, материалы для самоподготовки, оценки текущего и итогового контроля.

11 Материально-техническое обеспечение дисциплины

Проектор для лекций и семинаров.