

МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ» (ФГБОУ ВО  
«ВГУ»)

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой  
Оптики и спектроскопии  
наименование кафедры, отвечающей за реализацию дисциплины  
Овчинников О.В.  
подпись, расшифровка подписи  
21.06.2023 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ  
ДИСЦИПЛИНЫ**

Б1.В.ДВ.03.02 Оптика квантовых ям

Код и наименование дисциплины в соответствии с учебным планом

1. Шифр и наименование направления подготовки/специальности:  
03.04.02 – Физика
2. Профиль подготовки /специализации/ магистерская программа:  
Оптика и нанофотоника
3. Квалификация (степень) выпускника:  
Высшее образование (магистр)
4. Форма образования: очная
5. Кафедра, отвечающая за реализацию дисциплины:  
кафедра оптики и спектроскопии
1. 6. Составители программы:  
Овчинников Олег Владимирович,  
доктор физико-математических наук, профессор
7. Рекомендована: НМС физического  
факультета протокол №6 от 20.06.2023 г.  
(наименование рекомендующей структуры, дата, номер протокола)
- (отметки о продлении вносятся вручную)
8. Учебный год: 2024/2025 Семестр(ы): 3

## 9. Цели и задачи учебной дисциплины:

Целями освоения учебной дисциплины являются: формирование профессиональной компетенции у магистрантов физического факультета, обучающихся по программе “Оптика и нанофотоника”, в области оптики квантово-размерных систем, свойства которых все шире применяются в нанофотонике и других областях наукоемких технологий.

Задачи учебной дисциплины:

- изучить устройство квантовой ямы;
- освоить основные подходы к квантованию состояний электронов и дырок в квантовых ямах.

**10. Место учебной дисциплины в структуре ООП:** Курс Б1.В.ДВ.03.02 относится к вариативной части цикла Б1. Является дисциплиной по выбору.

**11. Планируемые результаты обучения по дисциплине/модулю (знания, умения, навыки), соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями выпускников):**

Код	Название компетенции	Код(ы)	Индикатор(ы)	Планируемые результаты обучения
ПК-1	Способен к формулировке и анализу поставленной задачи исследований в области оптики и нанофотоники, а также смежных областей науки и техники, обоснованно выбирать теоретические и экспериментальные методы	ПК-1.1	Проводит поиск научно-технической информации для разработки и анализа методик контроля технологических процессов создания наноструктурированных материалов для приборов квантовой электроники и фотоники	Знать: фундаментальные основы оптики квантово-размерных систем, свойства которых применяются в фотонике;  Уметь: описывать размерные эффекты в квантовых ямах;  Владеть: методами расчета размерных эффектов в квантовых ямах.
		ПК-2.1	Осуществляет подготовку реестра допустимых значений физических свойств и параметров наноструктурных материалов и комплектующих для разработки технологических процессов	
ПК-2	Способен создавать базы данных о физических свойствах и технологических особенностях наноструктурных материалов, проводить экспериментальную проверку выбранных технологических решений производства оптических и акустооптических приборов, исследовать параметры наноструктурных материалов в соответствии с самостоятельно выбранной и утвержденной			

методикой			
-----------	--	--	--

**12. Объем дисциплины в зачетных единицах/час.** (в соответствии с учебным планом) — 2/72.

**Форма промежуточной аттестации** зачет

### 13. Виды учебной работы

Вид учебной работы		Трудоемкость	
		Всего	По семестрам
			3
Аудиторные занятия		30	30
в том числе:	лекции	30	30
	практические		
	лабораторные		
Самостоятельная работа		42	42
в том числе: курсовая работа (проект)			
Форма промежуточной аттестации <b>зачет</b>			
Итого:		72	72

### 13.1. Содержание дисциплины

п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела дисциплины
<b>1. Лекции</b>		
1.1	<i>Введение. Предмет и задачи курса.</i>	<i>Введение. Предмет и задачи курса "Оптика квантовых ям". Понятие квантовой ямы, сверхрешетки и т.п. Приближение эффективной массы</i>
1.2	<i>Размерное квантование в полупроводниковых квантовых ямах.</i>	<i>Решение квантово-механической задачи в случае прямоугольной ямы с бесконечно высокими стенками и стенками конечной глубины. Особенности размерного квантования энергетического спектра в тонкой монокристаллической полупроводниковой квантовой яме. Квантование электронных и дырочных состояний: сходства и различия. Тяжелые и легкие дырки. Гамильтониан Латинжера. Многослойная (трехслойная) полупроводниковая структура и ее аппроксимация прямоугольной квантовой ямы с бесконечно высокими стенками и стенками конечной высоты. Вероятность оптического перехода для полупроводниковых квантовых ям. Сверхрешетки.</i>

### 13.2. Темы (разделы) дисциплины и виды занятий

№ п/п	Наименование темы (раздела) дисциплины	Виды занятий (часов)				
		Лекции и	Практические	Лабораторные	Самостоятельная работа	Всего
1.1	<i>Введение. Предмет и задачи курса.</i>	5	-	-	20	30
1.2	<i>Размерное квантование в полупроводниковых квантовых ямах.</i>	25	-	-	22	42
	Итого:	30	-		42	72

**14. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины**  
Основными этапами освоения дисциплины являются:

- Изучение учебной, научной и методической литературы, материалов периодических изданий с привлечением электронных средств научной информации.

- Подготовка к лекционным занятиям.

В ходе подготовки к текущим аттестациям и промежуточной аттестации студенту рекомендуется активно использовать электронный образовательный портал Moodle – электронная среда дисциплины, с предоставлением презентаций лекций, заданий для выполнения лабораторных работ, дополнительного теоретического материала и нормативно-правовых документов по темам и перечней вопросов для подготовки к текущим аттестациям и промежуточной аттестации. Также студенту рекомендуется использовать весь набор методов и средств современных информационных технологий для изучения отечественной и зарубежной литературы по дисциплине, оценки и анализа ее текущего состояния и перспектив развития. Ему предоставляется возможность работать в компьютерных классах факультета (313а аудитория), иметь доступ к Интернет-ресурсам и электронной почте, использовать имеющиеся на кафедре оптики и спектроскопии физического факультета информационные технологии, использовать ресурсы Зональной научной библиотеки ВГУ, в том числе электронно-библиотечные системы.

**15. Перечень основной и дополнительной литературы, ресурсов интернет, необходимых для освоения дисциплины** (список литературы оформляется в соответствии с требованиями ГОСТ и используется общая сквозная нумерация для всех видов источников)

а) основная литература:

№ п/п	Источник
1.	Гусев, А.И. Наноматериалы, наноструктуры, нанотехнологии / А. И. Гусев. — Изд. 2-е., испр. — М. : Физматлит, 2007. — 414 с.
2.	Кульбачинский, В. А. Физика наносистем / В. А. Кульбачинский. — Москва : Физматлит, 2022. — 768 с. : ил., табл, схем. — Режим доступа: по подписке. — URL: <a href="https://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=687716">https://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=687716</a>

б) дополнительная литература:

№ п/п	Источник
3.	Демиховский, В.Я. Физика квантовых низкоразмерных структур / В. Я. Демиховский, Г. А. Вугальтер. — М.: Логос, 2000. — 246 с.
4.	Физика низкоразмерных систем : Учебное пособие для студ. вузов, обуч. по направлению "Техн. физика" / А. Я. Шик, Л. Г. Бакуев, С. Ф. Мусихин, С. А. Рыков; Под общ.ред. В.И.Ильина, А. Я. Шика. — СПб. : Наука, 2001. — 154 с.
5.	Флюгге, З. Задачи по квантовой механике / З.Флюгге; Пер. с англ. Б.А. Лысова; Под ред. А.А. Соколова. — Череповец : Меркурий-Пресс, 2000-Т. 1. — 2000. — 341 с.
6.	Флюгге, З. Задачи по квантовой механике / З.Флюгге; Пер. с англ. Б.А.Лысова; Под ред. А.А.Соколова. — Череповец : Меркурий-Пресс, 2000-Т.2. — 2000. — 315 с.
7.	Оптика наноструктур / С.В. Гапоненко [и др] под ред. А.В. Федорова. — СПб. : Недра, 2005 — 326 с.
8.	Брандт, Н.Б. Квазичастицы в физике конденсированного состояния / Н.Б. Брандт, В.А. Кульбачинский. — Изд. 2-е, испр. — М. : ФИЗМАТЛИТ, 2007. — 631 с.
9.	Ю, Питер. Основы физики полупроводников / Питер Ю, Мануэль Кардона; Пер. И.И. Решинной; Под ред. Б.П. Захарченя. — 3-е изд. — М. : Физматлит, 2002. — 560 с.
10.	Нокс, Р. Теория экситонов / Р.Нокс; Пер. с англ. Ю.В. Конобеева; под ред. В.М. Аграновича. — М. : Мир, 1966. — 219 с.

11.	Слэтер, Дж. Диэлектрики, полупроводники, металлы / Дж. Слэтер; пер. с англ. Е. Г. Ландсберга и др. под ред. В. Л. Бонч-Бруевича. — М. : Мир, 1969. — 644 с.
12.	Давыдов, А.С. Теория твердого тела : учебное пособие для студ. физ. спец. вузов / А.С. Давыдов. — М. : Наука, 1976. — 639 с.
13.	Андо, Т. Электронные свойства двумерных систем : Пер. с англ / Т. Андо, А. Фаулер, Ф. Стерн. — М. : Мир, 1985. — 415 с.

в) информационные электронно-образовательные ресурсы:

№ п/п	Источник
14.	Поисковая система <a href="http://e-library.ru">e-library.ru</a>
15.	Поисковая система <a href="http://google.ru">google.ru</a>
16.	Архив научных журналов <a href="http://arch.neicon.ru/">http://arch.neicon.ru/</a>
17.	Единое окно доступа к образовательным ресурсам. Библиоотека <a href="http://window.edu.ru/">http://window.edu.ru/</a>
18.	Электронный каталог ЗНБ ВГУ <a href="https://www.lib.vsu.ru/">https://www.lib.vsu.ru/</a>
19.	Электронная библиотека Попечительского совета механико-математического факультета МГУ <a href="http://lib.mexmat.ru">lib.mexmat.ru</a>

**16. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы**  
(учебно-методические рекомендации, пособия, задачки, методические указания по выполнению практических (контрольных) работ и др.)

№ п/п	Источник
1.	Основы оптики и спектроскопии квантовых точек : учебно-методическое пособие для вузов : [для проведения специального физ. практикума студ. 1 к. магистратуры, обуч. по программам "Физика опт. явлений" и "Оптика наноструктурированных материалов" на каф. оптики и спектроскопии физ. фак. Воронеж. гос. ун-та для направления 010700 - Физика] / Воронеж. гос. ун-т ; [сост. : О.В. Овчинникови др.] .— Воронеж : Издательско-полиграфический центр Воронежского государственного университета, 2013. — 80 с. : ил. <URL: <a href="http://www.lib.vsu.ru/elib/texts/method/vsu/m13-155.pdf">http://www.lib.vsu.ru/elib/texts/method/vsu/m13-155.pdf</a> >.
2.	Алтунин, К.К. Оптика наноструктур и наноматериалов : учебное пособие / К.К. Алтунин. - 2-е изд. - Москва : Директ-Медиа, 2014. - Ч. 1. Микроскопические уравнения электродинамики. - 82 с. - ISBN 978-5-4475-0322-2 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <a href="http://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=240553">http://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=240553</a> .
3.	Алтунин, К.К. Оптика наноструктур и наноматериалов : учебное пособие / К.К. Алтунин. - 2-е изд. - Москва : Директ-Медиа, 2014. - Ч. 2. Уравнения для атомных переменных. - 61 с. - ISBN 978-5-4475-0323-9 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <a href="http://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=240554">http://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=240554</a> .

**17. Информационные технологии, используемые для реализации учебной дисциплины, включая программное обеспечение и информационно-справочные системы (при необходимости)**

В учебном процессе используются следующие образовательные технологии. По образовательным формам: лекционные и практические занятия. Преобладающими методами и приемам обучения являются: объяснительно-иллюстративные (объяснение, показ – демонстрация учебного материала и др.); активные (анализ учебной и научной литературы, составление схем и др.) и интерактивные, в том числе и групповые (взаимное обучение в форме подготовки и обсуждения докладов); информационные; мультимедийные (работа с сайтами академических структур, научно-исследовательских организаций, электронных библиотек и и др., разработка презентаций, сообщений и докладов, работа с электронными обучающими программами и т.п.).

Организационная структура лекционного занятия: 1. Формулировка темы, целей занятия, постановка проблемного вопроса. 2. Разъяснение вопросов теоретического и практического плана для решения поставленной проблемы. 3. Рассмотрение путей решения проблемного вопроса на конкретных примерах. 4. Заключение, формулировка выводов. 5. Формулировка задания для самостоятельной домашней работы. Озвучивание темы следующего занятия.

Текущий контроль проводится путем проверки конспектов лекций, входного контроля (в виде самостоятельных и контрольных работ, докладов и рефератов).

При реализации дисциплины с использованием дистанционных образовательных технологий используются инструменты электронной информационно-образовательной среды ВГУ «Электронный университет ВГУ» (<https://edu.vsu.ru>) и/или «МООК ВГУ» (<https://mooc.vsu.ru>), сервисы видеоконференций (BigBlueButton, Zoom, Discord и др.), электронная почта, мессенджеры и соцсети.

1	Поисковая система e-library.ru
2	Поисковая система google.ru
3	Архив научных журналов <a href="http://arch.neicon.ru/">http://arch.neicon.ru/</a>

**18. Материально-техническое обеспечение дисциплины:**

Ноутбук Asus, с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду ВГУ, Проектор BenQ MS 612ST, Доска магнитно-маркерная 100\*200. Программное обеспечение: ОС Windows (WinPro 8 RUS Upgrd OLP NL Acdmc), Microsoft Office (OfficeSTD 2013 RUS OLP NL Acdmc).

Программная система для обнаружения текстовых заимствований в учебных и научных работах «Антиплагиат.ВУЗ». Office Standard 2019 Single OLV NL Each AcademicEdition Additional Product. Программный комплекс для ЭВМ - MathWorks. Система инженерного моделирования ANSYS HF Academic Research.

Реализация дисциплины с применением электронного обучения и дистанционных образовательных технологий осуществляется через образовательный портал "Электронный университет ВГУ" (<https://edu.vsu.ru>).

## 19. Фонд оценочных средств:

### 19.1. Перечень компетенций с указанием этапов формирования и планируемых результатов обучения

Код и содержание компетенции (или ее части)	Планируемые результаты обучения (показатели достижения заданного уровня освоения компетенции посредством формирования знаний, умений, навыков)	Этапы формирования компетенции (разделы (темы) дисциплины или модуля и их наименование)	ФОС (средства оценивания)
<p>ПК-1. Способен к формулировке и анализу поставленной задачи исследований в области оптики и нанофотоники, а также смежных областей науки и техники, обоснованно выбирать теоретические и экспериментальные методы</p> <p>ПК-2. Способен создавать базы данных о физических свойствах и технологических особенностях наноструктурных материалов, проводить экспериментальную проверку выбранных технологических решений производства оптических и акустооптических приборов, исследовать параметры наноструктурных материалов в соответствии с самостоятельно выбранной и утвержденной методикой</p>	<p>Знать: фундаментальные основы оптики квантово-размерных систем, свойства которых применяются в фотонике;</p> <p>Уметь: описывать размерные эффекты в квантовых ямах;</p> <p>Владеть: методами расчета размерных эффектов в квантовых ямах.</p>	<p>Введение. Предмет и задачи курса.</p> <p>Размерное квантование в полупроводниковых квантовых ямах.</p>	<p>Устный опрос.</p>
<b>Промежуточная аттестация (зачет)</b>			КИМ

## 19.2 Описание критериев и шкалы оценивания компетенций (результатов обучения) при промежуточной аттестации

Для оценивания результатов обучения на зачете используются следующие показатели (ЗУНы из 19.1):

- знание учебного материала, владение понятийным аппаратом и теоретическими основами дисциплины;
- умение связывать теорию с практикой;
- умение описывать основные характеристики спектральных приборов;
- 4) владение знаниями о теоретических основах и современных методах молекулярной спектроскопии.

**Соотношение показателей, критериев и шкалы оценивания результатов обучения.**

Критерии оценивания компетенций	Уровень сформированности компетенций	Шкала оценок
<i>Посещение лабораторных занятий. Правильно и вовремя выполненные лабораторные задания. Правильные ответы на контрольные вопросы во время зачета.</i>	<i>Повышенный базовый и пороговый уровни</i>	<i>зачтено</i>
<i>Систематические пропуски занятий без уважительных причин. Невыполненные лабораторные задания. Неверно сформулированные ответы на контрольные вопросы во время зачета.</i>	–	<i>незачтено</i>

## 19.3 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующие этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы

### 19.3.1 Перечень вопросов к зачету:

1. Предмет и задачи курса “Оптика квантовых ям”. Понятие квантовой ямы, сверхрешетки и т.п.
2. Приближение эффективной массы.
3. Решение квантово-механической задачи в случае прямоугольной ямы с бесконечно высокими стенками
4. Решение квантово-механической задачи в случае прямоугольной ямы со стенками конечной высоты.
5. Особенности размерного квантования энергетического спектра в тонкой монокристаллической полупроводниковой квантовой яме.
6. Квантование электронных и дырочных состояний: сходства и различия.
7. Тяжелые и легкие дырки.
8. Гамильтониан Латинжера.
- 20 Многослойная (трехслойная) полупроводниковая структура и ее аппроксимация прямоугольной квантовой ямой с бесконечно высокими стенками и стенками конечной высоты.
- 21 Вероятность оптического перехода для полупроводниковых квантовых ям.
- 22 Сверхрешетки.

### 19.4. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций

Оценка знаний, умений и навыков, характеризующая этапы формирования компетенций в рамках изучения дисциплины осуществляется в ходе текущей и промежуточной аттестаций.

Текущая аттестация проводится в соответствии с Положением о текущей аттестации обучающихся по программам высшего образования Воронежского государственного университета. Текущая аттестация проводится в форме: устного опроса (индивидуальный опрос, фронтальная беседа); тестирования; оценки результатов практической деятельности (выполнение

лабораторных работ). Критерии оценивания приведены выше.

Промежуточная аттестация проводится в соответствии с Положением о промежуточной аттестации обучающихся по программам высшего образования.

Контрольно-измерительные материалы промежуточной аттестации включают в себя теоретические вопросы, позволяющие оценить уровень полученных знаний. Практический уровень полученных знаний оценивается при сдаче отчетов по лабораторным работам.

При оценивании используется качественная шкала оценок. Критерии оценивания приведены выше.