

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования  
"Казанский (Приволжский) федеральный университет"  
Институт физики



**УТВЕРЖДАЮ**

Проректор по образовательной деятельности КФУ  
проф. Таюрский Д.А.

"\_\_" \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

## **Программа дисциплины**

Специальный физический практикум Б1.Б.1

Направление подготовки: 03.04.02 - Физика

Профиль подготовки: Теоретическая и математическая физика

Квалификация выпускника: магистр

Форма обучения: очное

Язык обучения: русский

Год начала обучения по образовательной программе: 2018

**Автор(ы):** Деминов Р.Г.

**Рецензент(ы):** Прошин Ю.Н.

### **СОГЛАСОВАНО:**

Заведующий(ая) кафедрой: Прошин Ю. Н.

Протокол заседания кафедры No \_\_\_\_ от "\_\_\_\_" \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

Учебно-методическая комиссия Института физики:

Протокол заседания УМК No \_\_\_\_ от "\_\_\_\_" \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

Казань  
2018

## Содержание

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы
2. Место дисциплины в структуре основной профессиональной образовательной программы высшего образования
3. Объем дисциплины (модуля) в зачетных единицах с указанием количества часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся
4. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий
  - 4.1. Структура и тематический план контактной и самостоятельной работы по дисциплине (модулю)
  - 4.2. Содержание дисциплины
5. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине (модулю)
6. Фонд оценочных средств по дисциплине (модулю)
  - 6.1. Перечень компетенций с указанием этапов их формирования в процессе освоения образовательной программы и форм контроля их освоения
  - 6.2. Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания
  - 6.3. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы
  - 6.4. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций
7. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля)
  - 7.1. Основная литература
  - 7.2. Дополнительная литература
8. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины (модуля)
9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)
10. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)
11. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)
12. Средства адаптации преподавания дисциплины к потребностям обучающихся инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья

Программу дисциплины разработал(а)(и) доцент, к.н. (доцент) Деминов Р.Г. (Кафедра теоретической физики, Отделение физики), Raphael.Deminov@kpfu.ru

### 1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы

Выпускник, освоивший дисциплину, должен обладать следующими компетенциями:

Шифр компетенции	Расшифровка приобретаемой компетенции
ОК-3	готовностью к саморазвитию, самореализации, использованию творческого потенциала
ПК-5	способностью использовать навыки составления и оформления научно-технической документации, научных отчетов, обзоров, докладов и статей
ОПК-3	способностью к активной социальной мобильности, организации научно-исследовательских и инновационных работ
ОПК-4	способностью адаптироваться к изменению научного профиля своей профессиональной деятельности, социокультурных и социальных условий деятельности
ПК-2	способностью свободно владеть разделами физики, необходимыми для решения научно-инновационных задач, и применять результаты научных исследований в инновационной деятельности
ПК-1	способностью самостоятельно ставить конкретные задачи научных исследований в области физики и решать их с помощью современной аппаратуры и информационных технологий с использованием новейшего отечественного и зарубежного опыта
ОПК-6	способностью использовать знания современных проблем и новейших достижений физики в научно-исследовательской работе
ПК-4	способностью планировать и организовывать физические исследования, научные семинары и конференции
ПК-7	способностью руководить научно-исследовательской деятельностью обучающихся бакалавров в области физики

Выпускник, освоивший дисциплину:

Должен знать:

теоретические основы физики низкоразмерных структур;  
современные проблемы и новейшие достижения физики;  
разделы физики, необходимые для решения научно-инновационных задач

Должен уметь:

использовать знание теоретических основ физики низкоразмерных структур при анализе различных эффектов в низкоразмерных структурах;  
самостоятельно ставить конкретные задачи научных исследований в области физики и решать их с использованием новейшего отечественного и зарубежного опыта;  
планировать и организовывать физические исследования, научные семинары и конференции

Должен владеть:

навыками вычисления различных свойств низкоразмерных систем;  
навыками составления и оформления научно-технической документации, научных отчетов, обзоров, докладов и статей;  
навыками руководства научно-исследовательской деятельностью обучающихся бакалавров в области физики

Должен демонстрировать способность и готовность:

к саморазвитию, самореализации, использованию творческого потенциала;  
к активной социальной мобильности, организации научно-исследовательских и инновационных работ;

к активной социальной мобильности, организации научно-исследовательских и инновационных работ; использовать знания современных проблем и новейших достижений физики в научно-исследовательской работе;

самостоятельно ставить конкретные задачи научных исследований в области физики и решать их с использованием новейшего отечественного и зарубежного опыта;

свободно владеть разделами физики, необходимыми для решения научно-инновационных задач, и применять результаты научных исследований в инновационной деятельности;

планировать и организовывать физические исследования, научные семинары и конференции;

использовать навыки составления и оформления научно-технической документации, научных отчетов, обзоров, докладов и статей;

руководить научно-исследовательской деятельностью обучающихся бакалавров в области физики

## 2. Место дисциплины в структуре основной профессиональной образовательной программы высшего образования

Данная учебная дисциплина включена в раздел "Б1.Б.04 Дисциплины (модули)" основной профессиональной образовательной программы 03.04.02 "Физика (Теоретическая и математическая физика)" и относится к базовой (общепрофессиональной) части.

Осваивается на 1 курсе в 1, 2 семестрах.

## 3. Объем дисциплины (модуля) в зачетных единицах с указанием количества часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся

Общая трудоемкость дисциплины составляет 5 зачетных(ые) единиц(ы) на 180 часа(ов).

Контактная работа - 72 часа(ов), в том числе лекции - 0 часа(ов), практические занятия - 0 часа(ов), лабораторные работы - 72 часа(ов), контроль самостоятельной работы - 0 часа(ов).

Самостоятельная работа - 108 часа(ов).

Контроль (зачёт / экзамен) - 0 часа(ов).

Форма промежуточного контроля дисциплины: отсутствует в 1 семестре; зачет во 2 семестре.

## 4. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий

### 4.1 Структура и тематический план контактной и самостоятельной работы по дисциплине (модулю)

N	Раздел дисциплины/ модуля	Семестр	Виды и часы контактной работы, их трудоемкость (в часах)			Самостоятельная работа
			Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	
1.	Тема 1. Основные типы низкоразмерных квантовых структур.	1	0	0	10	20
2.	Тема 2. Квантовая механика простейших структур.	1	0	0	12	24
3.	Тема 3. Квантовые состояния в гетероструктурах.	1	0	0	14	28
4.	Тема 4. Оптика квантовых структур.	2	0	0	10	10
5.	Тема 5. Туннельные эффекты.	2	0	0	12	12
6.	Тема 6. Кулоновская блокада туннелирования.	2	0	0	14	14
	Итого		0	0	72	108

### 4.2 Содержание дисциплины

#### Тема 1. Основные типы низкоразмерных квантовых структур.

Гетероструктуры на основе GaAs-AlGaAs. Инверсионные слои на границе Si - окись кремния. Структуры на основе Ge-Si. Квантовые нити и точки.

#### Тема 2. Квантовая механика простейших структур.

Прямоугольная яма. Треугольная яма. Квантовые состояния в нитях и точках. Двойная квантовая яма. Двумерный канал (микросужение). Электронные состояния в структурах с периодически модулированной поверхностью. Квантовые структуры в магнитном поле. Плотность состояний.

### **Тема 3. Квантовые состояния в гетероструктурах.**

Приближение эффективной массы в простой зоне. Приближение эффективной массы в сложной зоне. Модель Кейна. Влияние деформации на электронный спектр. Типы гетеропереходов. Граничные условия. Электронные и дырочные состояния в подзонах размерного квантования ям и минизонах сверхрешеток.

### **Тема 4. Оптика квантовых структур.**

Взаимодействие электромагнитного поля с электронами. Правила отбора. Коэффициент поглощения при межзонных переходах. Экситонное поглощение. Метод люминесценции для исследования энергетического спектра двумерных электронов. Многофотонное поглощение в квантовых ямах. Лазеры на структурах с квантовыми ямами.

### **Тема 5. Туннельные эффекты.**

Двухбарьерные структуры. Коэффициенты отражения и прохождения. Квазистационарные состояния электрона в яме между барьерами. Энергетическая зависимость резонансного коэффициента прохождения. Резонансно-туннельный диод. Туннелирование электронов из квантовой ямы в скрещенных электрическом и магнитном полях.

### **Тема 6. Кулоновская блокада туннелирования.**

Метод туннельного гамильтониана. Вероятность ухода электрона из одного металла в другой в единицу времени. Туннелирование через гранулу. Кондактанс туннельного контакта с затвором. Кулоновская блокада туннелирования через две гранулы.

## **5. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине (модулю)**

Самостоятельная работа обучающихся выполняется по заданию и при методическом руководстве преподавателя, но без его непосредственного участия. Самостоятельная работа подразделяется на самостоятельную работу на аудиторных занятиях и на внеаудиторную самостоятельную работу. Самостоятельная работа обучающихся включает как полностью самостоятельное освоение отдельных тем (разделов) дисциплины, так и проработку тем (разделов), осваиваемых во время аудиторной работы. Во время самостоятельной работы обучающиеся читают и конспектируют учебную, научную и справочную литературу, выполняют задания, направленные на закрепление знаний и отработку умений и навыков, готовятся к текущему и промежуточному контролю по дисциплине.

Организация самостоятельной работы обучающихся регламентируется нормативными документами, учебно-методической литературой и электронными образовательными ресурсами, включая:

Порядок организации и осуществления образовательной деятельности по образовательным программам высшего образования - программам бакалавриата, программам специалитета, программам магистратуры (утвержден приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 5 апреля 2017 года N301).

Письмо Министерства образования Российской Федерации N14-55-996ин/15 от 27 ноября 2002 г. "Об активизации самостоятельной работы студентов высших учебных заведений"

Положение от 24 декабря 2015 г. ♦ 0.1.1.67-06/265/15 "О порядке проведения текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования "Казанский (Приволжский) федеральный университет""

Положение N 0.1.1.67-06/241/15 от 14 декабря 2015 г. "О формировании фонда оценочных средств для проведения текущей, промежуточной и итоговой аттестации обучающихся федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования "Казанский (Приволжский) федеральный университет""

Положение N 0.1.1.56-06/54/11 от 26 октября 2011 г. "Об электронных образовательных ресурсах федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования "Казанский (Приволжский) федеральный университет""

Регламент N 0.1.1.67-06/66/16 от 30 марта 2016 г. "Разработки, регистрации, подготовки к использованию в учебном процессе и удаленного электронных образовательных ресурсов в системе электронного обучения федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования "Казанский (Приволжский) федеральный университет""

Регламент N 0.1.1.67-06/11/16 от 25 января 2016 г. "О балльно-рейтинговой системе оценки знаний обучающихся в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования "Казанский (Приволжский) федеральный университет""

Регламент N 0.1.1.67-06/91/13 от 21 июня 2013 г. "О порядке разработки и выпуска учебных изданий в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего профессионального образования "Казанский (Приволжский) федеральный университет""

Кочелаев Б.И. Квантовая теория (Конспект лекций). - [http://kpfu.ru/portal/docs/F1738320152/Quantum\\_Theory.pdf](http://kpfu.ru/portal/docs/F1738320152/Quantum_Theory.pdf)

## **6. Фонд оценочных средств по дисциплине (модулю)**

**6.1 Перечень компетенций с указанием этапов их формирования в процессе освоения образовательной программы и форм контроля их освоения**

Этап	Форма контроля	Оцениваемые компетенции	Темы (разделы) дисциплины
<b>Семестр 1</b>			
	<b>Текущий контроль</b>		
1	Лабораторные работы	ПК-5, ПК-4, ПК-2, ПК-1, ОПК-6, ОПК-4, ОПК-3, ОК-3	1. Основные типы низкоразмерных квантовых структур. 2. Квантовая механика простейших структур. 3. Квантовые состояния в гетероструктурах.
<b>Семестр 2</b>			
	<b>Текущий контроль</b>		
1	Лабораторные работы	ПК-5, ПК-4, ПК-2, ПК-1, ОПК-6, ОПК-4, ОПК-3, ОК-3	4. Оптика квантовых структур. 5. Туннельные эффекты. 6. Кулоновская блокада туннелирования.
	<b>Зачет</b>	ОК-3, ОПК-3, ОПК-4, ОПК-6, ПК-1, ПК-2, ПК-4, ПК-5, ПК-7	

**6.2 Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания**

Форма контроля	Критерии оценивания				Этап
	Отлично	Хорошо	Удовл.	Неуд.	
<b>Семестр 1</b>					
<b>Текущий контроль</b>					
Лабораторные работы	Оборудование и методы использованы правильно. Проявлена превосходная теоретическая подготовка. Необходимые навыки и умения полностью освоены. Результат лабораторной работы полностью соответствует её целям.	Оборудование и методы использованы в основном правильно. Проявлена хорошая теоретическая подготовка. Необходимые навыки и умения в основном освоены. Результат лабораторной работы соответствует её целям.	Оборудование и методы частично использованы правильно. Проявлена удовлетворительная теоретическая подготовка. Необходимые навыки и умения частично освоены. Результат лабораторной работы частично соответствует её целям.	Оборудование и методы использованы неправильно. Проявлена неудовлетворительная теоретическая подготовка. Необходимые навыки и умения не освоены. Результат лабораторной работы не соответствует её целям.	1
<b>Семестр 2</b>					
<b>Текущий контроль</b>					
Лабораторные работы	Оборудование и методы использованы правильно. Проявлена превосходная теоретическая подготовка. Необходимые навыки и умения полностью освоены. Результат лабораторной работы полностью соответствует её целям.	Оборудование и методы использованы в основном правильно. Проявлена хорошая теоретическая подготовка. Необходимые навыки и умения в основном освоены. Результат лабораторной работы соответствует её целям.	Оборудование и методы частично использованы правильно. Проявлена удовлетворительная теоретическая подготовка. Необходимые навыки и умения частично освоены. Результат лабораторной работы частично соответствует её целям.	Оборудование и методы использованы неправильно. Проявлена неудовлетворительная теоретическая подготовка. Необходимые навыки и умения не освоены. Результат лабораторной работы не соответствует её целям.	1
	<b>Зачтено</b>			<b>Не зачтено</b>	

Форма контроля	Критерии оценивания				Этап
	Отлично	Хорошо	Удовл.	Неуд.	
<b>Зачет</b>	Обучающийся обнаружил знание основного учебно-программного материала в объеме, необходимом для дальнейшей учебы и предстоящей работы по специальности, справился с выполнением заданий, предусмотренных программой дисциплины.		Обучающийся обнаружил значительные пробелы в знаниях основного учебно-программного материала, допустил принципиальные ошибки в выполнении предусмотренных программой заданий и не способен продолжить обучение или приступить по окончании университета к профессиональной деятельности без дополнительных занятий по соответствующей дисциплине.		

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

**Семестр 1**

**Текущий контроль**

**1. Лабораторные работы**

Темы 1, 2, 3

Лабораторная работа по теме 1 Основные типы низкоразмерных квантовых структур

1. Получить выражение для плотности состояний свободной частицы, совершающей движение в трехмерном пространстве.
2. Получить выражение для плотности состояний свободной частицы, совершающей движение в двумерном пространстве.
3. Получить выражение для плотности состояний свободной частицы, совершающей движение в одномерном пространстве.
4. Построить графики зависимости плотности состояний от энергии, используя полученные в пунктах 1-3 выражения.
5. Как изменятся эти графики, если частица движется в периодическом потенциальном поле (электрон в кристаллическом твердом теле)?

Лабораторная работа по теме 2 Квантовая механика простейших структур

1. Решить стационарное уравнение Шредингера для частицы в одномерной прямоугольной потенциальной яме бесконечной глубины.
2. Решить стационарное уравнение Шредингера для частицы в одномерной прямоугольной потенциальной яме конечной глубины.
3. Решить стационарное уравнение Шредингера для частицы в одномерной треугольной потенциальной яме.
4. Решить стационарное уравнение Шредингера для электрона в квантовой нити, предполагая, что потенциальная энергия имеет цилиндрическую симметрию.

Лабораторная работа по теме 3 Квантовые состояния в гетероструктурах

1. Решить стационарное уравнение Шредингера в приближении эффективной массы в простой зоне. Рассмотреть вид электронного спектра в окрестности экстремума. Для простоты пренебречь спин-орбитальным взаимодействием. Пусть экстремум n-той зоны располагается в точке с квазиимпульсом  $k = k_0$ , где существует только двукратное вырождение по спину (окрестность дна зоны проводимости полупроводников Ge, Si, GaAs и других полупроводников A3B5). Воспользоваться теорией возмущений. Определить спектр (зависимость энергии от квазиимпульса) вводя тензор обратных эффективных масс ( $k_p$  - метод).
2. Освоить метод матрицы распространения (трансфер-матрицы) для расчета электронных и дырочных состояний в подзонах размерного квантования ям и минизонах сверхрешеток. Рассчитать электронный спектр и волновые функции в сверхрешетке, т.е. в периодической последовательности квантовых ям, разделенных туннельно-прозрачными барьерами. В качестве сверхрешетки рассмотреть структуру  $Al_{0.2}Ga_{0.8}As / GaAs$ .

**Семестр 2**

**Текущий контроль**

**1. Лабораторные работы**

Темы 4, 5, 6

Лабораторная работа по теме 4 Оптика квантовых структур

1. Получить выражения для коэффициента поглощения плоской электромагнитной волны в объемном полупроводнике при прямых межзонных переходах. Рассмотреть простейший случай, когда минимум энергии в зоне проводимости и максимум энергии в валентной зоне расположены в центре зоны Бриллюэна и зависимости энергии от квазиимпульса для электронов и дырок характеризуются скалярными эффективными массами.
2. Показать, что вблизи пороговой частоты оптического поглощения частотная зависимость коэффициента поглощения n-мерной структуры определяется соответствующей плотностью состояний  $D(nd)(\epsilon = \epsilon_0 - \epsilon_g)$ .

3. Получить выражение для уровней энергии экситона большого радиуса (экситона Ванье-Мотта), находящегося в узкой (ширина много меньше эффективного боровского радиуса экситона) бесконечно глубокой прямоугольной квантовой яме.

Лабораторная работа по теме 5 Туннельные эффекты

1. Рассмотреть двухбарьерную структуру, состоящую из прямоугольных барьеров с разными высотами и ширинами. Найти амплитуды отражения  $R$  и прохождения  $D$  через структуру, не решая уравнения Шредингера, а рассматривая многократные переотражения волн от барьеров. Амплитуды отражения и прохождения для первого и второго барьеров считать известными. Показать, что для толстых, но одинаковых барьеров коэффициент прохождения через такую структуру равен единице - эффект резонансного туннелирования.

2. Рассмотреть задачу о квазистационарных состояниях частицы в яме между барьерами. Убедиться, что резонансное туннелирование осуществляется через квазистационарные уровни энергии электрона в яме.

3. Исследовать энергетическую зависимость резонансного коэффициента прохождения. Убедиться, что коэффициент прохождения имеет лоренцевскую форму зависимости от энергии падающих на двухбарьерную структуру частиц (при значениях  $E$ , близких к  $E_n$ ).

Лабораторная работа по теме 6 Кулоновская блокада туннелирования

1. Получить выражение для потенциальной энергии гранулы (точки), находящейся между двумя массивными металлическими контактами (берегами). Прямые туннельные переходы от одного металла к другому считаются пренебрежимо малыми, учитываются только туннельные переходы через гранулу.

2. Получить кинетическое уравнение для вероятности  $wp$  того, что на грануле находится  $n$  избыточных электронов. В качестве примера найти функцию распределения  $wp$  в случае, когда туннельный контакт находится в стационарном состоянии, причем потенциалы берегов равны ( $V_1 = V_2 = V$ ).

3. Найти кондактанс туннельного контакта с затвором в случае малых напряжений на контакте, когда мал параметр  $\Gamma = e(V_1 - V_2)/(kBT)$ . Кондактанс  $G$  величина, обратная дифференциальному сопротивлению  $R$  туннельного контакта при нулевом напряжении -  $G = 1/(V_1 - V_2) \Gamma$  при  $V_1 - V_2 \ll 0$ .

#### Зачет

Вопросы к зачету:

1. Основные типы низкоразмерных квантовых структур.
2. Прямоугольная яма. Треугольная яма.
3. Двойная квантовая яма. Двумерный канал (микросужение).
4. Электронные состояния в структурах с периодически модулированной поверхностью.
5. Квантовые структуры в магнитном поле. Плотность состояний.
6. Приближение эффективной массы в простой зоне.
7. Приближение эффективной массы в сложной зоне.
8. Модель Кейна.
9. Влияние деформации на электронный спектр.
10. Типы гетеропереходов. Граничные условия.
11. Электронные и дырочные состояния в подзонах размерного квантования ям и минизонах сверхрешеток.
12. Взаимодействие электромагнитного поля с электронами. Правила отбора.
13. Коэффициент поглощения при межзонных переходах. Экситонное поглощение.
14. Метод люминесценции для исследования энергетического спектра двумерных электронов.
15. Многофотонное поглощение в квантовых ямах. Лазеры на структурах с квантовыми ямами.
16. Двухбарьерные структуры. Коэффициенты отражения и прохождения.
17. Квазистационарные состояния электрона в яме между барьерами. Энергетическая зависимость резонансного коэффициента прохождения.
18. Резонансно-туннельный диод.
19. Туннелирование электронов из квантовой ямы в скрещенных электрическом и магнитном полях.
20. Метод туннельного гамильтониана.
21. Вероятность ухода электрона из одного металла в другой в единицу времени.
22. Туннелирование через гранулу.
23. Кондактанс туннельного контакта с затвором.
24. Кулоновская блокада туннелирования через две гранулы.

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

В КФУ действует балльно-рейтинговая система оценки знаний обучающихся. Суммарно по дисциплине (модулю) можно получить максимум 100 баллов за семестр, из них текущая работа оценивается в 50 баллов, итоговая форма контроля - в 50 баллов.

Для зачёта:

56 баллов и более - "зачтено".

55 баллов и менее - "не зачтено".

Для экзамена:

86 баллов и более - "отлично".



71-85 баллов - "хорошо".

56-70 баллов - "удовлетворительно".

55 баллов и менее - "неудовлетворительно".

Форма контроля	Процедура оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций	Этап	Количество баллов
<b>Семестр 1</b>			
<b>Текущий контроль</b>			
Лабораторные работы	В аудитории, оснащённой соответствующим оборудованием, обучающиеся проводят учебные эксперименты и тренируются в применении практико-ориентированных технологий. Оцениваются знание материала и умение применять его на практике, умения и навыки по работе с оборудованием в соответствующей предметной области.	1	25
<b>Семестр 2</b>			
<b>Текущий контроль</b>			
Лабораторные работы	В аудитории, оснащённой соответствующим оборудованием, обучающиеся проводят учебные эксперименты и тренируются в применении практико-ориентированных технологий. Оцениваются знание материала и умение применять его на практике, умения и навыки по работе с оборудованием в соответствующей предметной области.	1	25
<b>Зачет</b>	Зачёт нацелен на комплексную проверку освоения дисциплины. Обучающийся получает вопрос (вопросы) либо задание (задания) и время на подготовку. Зачёт проводится в устной, письменной или компьютерной форме. Оценивается владение материалом, его системное освоение, способность применять нужные знания, навыки и умения при анализе проблемных ситуаций и решении практических заданий.		50

## 7. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля)

### 7.1 Основная литература:

1. Борисенко, В.Е. Нанoeлектроника: теория и практика [Электронный ресурс] / В.Е. Борисенко, А.И. Воробьева, Е.А. Уткина, А.Л. Данилюк. - М. : Издательство 'Лаборатория знаний', 2015. - 369 с. -Режим доступа: <http://e.lanbook.com/book/84103>
2. Кузнецов, Н.Т. Основы нанотехнологии [Электронный ресурс] / Н.Т. Кузнецов, В.М. Новоторцев, В.А. Жабрев, В.И. Марголин. - М. : Издательство 'Лаборатория знаний', 2017. - 400 с. - Режим доступа: <http://e.lanbook.com/book/94129>
3. Шишкин, Г.Г. Нанoeлектроника. Элементы, приборы, устройства [Электронный ресурс] / Г.Г. Шишкин, И.М. Агеев. - М. : Издательство 'Лаборатория знаний', 2015. - 411 с. - Режим доступа: <http://e.lanbook.com/book/66208>

### 7.2. Дополнительная литература:

1. Барыбин, А.А. Физико-технологические основы макро-, микро- и нанoeлектроники [Электронный ресурс] / А.А. Барыбин, В.И. Томилин, В.И. Шаповалов. - М. : Физматлит, 2011. - 784 с. - Режим доступа: <http://e.lanbook.com/book/5258>
2. Шука, А.А. Нанoeлектроника. [Электронный ресурс] / А.А. Шука. - М. : Издательство 'Лаборатория знаний', 2015. - 345 с. - Режим доступа: <http://e.lanbook.com/book/84102>

## 8. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины (модуля)

журнал Наноструктуры. Математическая физика и моделирование - [http://www.nano-journal.ru/Заглавная\\_страница](http://www.nano-journal.ru/Заглавная_страница)  
 Междисциплинарный научный сервер - <http://www.scientific.ru/>  
 МФТИ / Кафедра теоретической физики / Библиотека / Учебно-методические пособия - <http://theorphys.mipt.ru/biblio/metodichki.html>  
 Нанометр. Нанотехнологическое сообщество - <http://www.nanometer.ru/>  
 Учебное пособие Физика низкоразмерных систем - <http://www.interkal.narod.ru/lowdimensional.pdf>

## 9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)

Вид работ	Методические рекомендации
лабораторные работы	<p>Методические рекомендации по подготовке к лабораторным работам Тема: Основные типы низкоразмерных квантовых структур. Обратит внимание на классификацию основных типов низкоразмерных квантовых структур - двумерные (слои), одномерные (нити и проволоки) и нульмерные (квантовые точки). Плотность состояний свободной частицы существенно различным образом зависит от энергии в зависимости от характера движения: является оно трехмерным, двумерным или одномерным. Если частица движется в периодическом потенциальном поле (электрон в кристаллическом твердом теле), то зависимость плотности состояний от энергии соответствует зонной картине.</p> <p>Тема: Квантовая механика простейших структур. Рассматривается решение стационарного уравнения Шредингера для простейших структур: прямоугольная яма, треугольная яма, нити и точки, двойная квантовая яма. В случае прямоугольной потенциальной ямы бесконечной глубины обратит внимание на то, что при уменьшении ширины ямы (размера наночастицы) приближение бесконечной глубины становится все менее справедливым. В случае прямоугольной потенциальной яме конечной глубины обратит внимание на то, что по мере увеличения энергии частицы волновая функция все более простирается в область вне ямы. В случае одномерной треугольной потенциальной ямы решением уравнения Шредингера будет функция Эйри. Воспользовавшись квазиклассическим приближением можно получить асимптотические формулы для волновых функций и спектра. При помещении квантовой структуры в магнитное поле происходит изменение энергетического спектра и дисперсионного соотношения, что важно с точки зрения технических приложений.</p> <p>Тема: Квантовые состояния в гетероструктурах. Простым, но в тоже время важным, при рассмотрении гетероструктур является приближение эффективной массы. Обратит внимание на электронные и дырочные состояния в подзонах размерного квантования ям. Рассмотреть вид электронного спектра в окрестности экстремума. Для простоты пренебречь спин-орбитальным взаимодействием. Освоить метод матрицы распространения (трансфер-матрицы) для расчета электронных и дырочных состояний в подзонах размерного квантования ям и минизонах сверхрешеток.</p> <p>Тема: Оптика квантовых структур. Большой интерес представляет многофотонное поглощение в квантовых ямах и лазеры на структурах с квантовыми ямами. Обратит внимание на то, что вблизи пороговой частоты оптического поглощения частотная зависимость коэффициента поглощения <math>n</math>-мерной структуры определяется соответствующей плотностью состояний. Относительно просто получить выражение для уровней энергии экситона большого радиуса (экситона Ванье-Мотта), находящегося в узкой (ширина много меньше эффективного боровского радиуса экситона) бесконечно глубокой прямоугольной квантовой яме.</p> <p>Тема: Туннельные эффекты. Явление туннелирования находит применение в различных устройствах микро- и нанoeлектроники. В этой связи необходимо рассмотреть такие вопросы: Двухбарьерные структуры. Коэффициенты отражения и прохождения. Квазистационарные состояния электрона в яме между барьерами. Энергетическая зависимость резонансного коэффициента прохождения. Резонансно-туннельный диод. Туннелирование электронов из квантовой ямы в скрещенных электрическом и магнитном полях.</p> <p>Тема: Кулоновская блокада туннелирования. При рассмотрении одноэлектронных устройств нанoeлектроники существенным становится учет изменения электростатической энергии наночастиц (гранул), что может привести к кулоновской блокаде туннелирования через две гранулы. В связи с этим важно последовательно получить выражение для потенциальной энергии гранулы (точки), находящейся между двумя массивными металлическими контактами (берегами), и кинетическое уравнение для вероятности <math>wp</math> того, что на грануле находится <math>n</math> избыточных электронов.</p>

Вид работ	Методические рекомендации
самостоятельная работа	<p>Если преподаватель предписал разобрать часть материала более подробно самостоятельно по доступным письменным или электронным источникам, то необходимо своевременно это сделать. - При возникновении каких-либо трудностей с пониманием материала рекомендуется попросить помощи у своих одногруппников или сокурсников. Также можно обратиться за помощью к преподавателю. Для этого можно лично подойти к преподавателю, либо написать ему электронное письмо, сформулировав в нём возникающие вопросы. К письму можно прикрепить какие-либо электронные материалы, связанные с возникшими вопросами, например, отсканированные или сфотографированные листочки с рукописными комментариями, пометками, выкладками и т.п. Самостоятельное изучение части материала. Если часть учебного материала отведена на самостоятельное изучение, то необходимо приступить к этому незамедлительно после указания преподавателя и освоить материал в отведенные им сроки. Материал следует изучить по доступным письменным и электронным источникам, о которых сообщит преподаватель.</p>
зачет	<p>Подготовка к зачету. Залогом успешной сдачи всех зачетов являются систематические, добросовестные занятия студента. Однако это не исключает необходимости специальной работы в период сдачи зачетов. Специфической задачей работы студента в период сдачи зачетов являются повторение, обобщение и систематизация всего материала, который изучен в течение года. В основу повторения должна быть положена только программа. Не следует повторять ни по билетам, ни по контрольным вопросам. Повторение по билетам нарушает систему знаний и ведет к механическому заучиванию, к 'натаскиванию'. Повторение по различного рода контрольным вопросам приводит к пропускам и пробелам в знаниях и к недоработке иногда весьма важных разделов программы. Повторение - процесс индивидуальный; каждый студент повторяет то, что для него трудно, неясно, забыто. Поэтому, прежде чем приступить к повторению, рекомендуется сначала внимательно посмотреть программу, установить наиболее трудные, наименее усвоенные разделы и выписать их на отдельном листе. В процессе повторения анализируются и систематизируются все знания, накопленные при изучении программного материала. Само повторение рекомендуется вести по темам программы и по главам учебника. Закончив работу над темой (главой), необходимо ответить на вопросы учебника или выполнить задания, а самое лучшее - воспроизвести весь материал. Очень важно не пропускать занятия и своевременно выполнять лабораторные работы, не оставлять переписывание невыполненных заданий на зачет.</p>

#### 10. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)

Освоение дисциплины "Специальный физический практикум" предполагает использование следующего программного обеспечения и информационно-справочных систем:

Браузер Mozilla Firefox  
 Браузер Google Chrome  
 Adobe Reader XI

Учебно-методическая литература для данной дисциплины имеется в наличии в электронно-библиотечной системе "БиблиоРоссика", доступ к которой предоставлен обучающимся. В ЭБС "БиблиоРоссика" представлены коллекции актуальной научной и учебной литературы по гуманитарным наукам, включающие в себя публикации ведущих российских издательств гуманитарной литературы, издания на английском языке ведущих американских и европейских издательств, а также редкие и малотиражные издания российских региональных вузов. ЭБС "БиблиоРоссика" обеспечивает широкий законный доступ к необходимым для образовательного процесса изданиям с использованием инновационных технологий и соответствует всем требованиям федеральных государственных образовательных стандартов высшего образования (ФГОС ВО) нового поколения.

Учебно-методическая литература для данной дисциплины имеется в наличии в электронно-библиотечной системе "ZNANIUM.COM", доступ к которой предоставлен обучающимся. ЭБС "ZNANIUM.COM" содержит произведения крупнейших российских учёных, руководителей государственных органов, преподавателей ведущих вузов страны, высококвалифицированных специалистов в различных сферах бизнеса. Фонд библиотеки сформирован с учетом всех изменений образовательных стандартов и включает учебники, учебные пособия, учебно-методические комплексы, монографии, авторефераты, диссертации, энциклопедии, словари и справочники, законодательно-нормативные документы, специальные периодические издания и издания, выпускаемые издательствами вузов. В настоящее время ЭБС ZNANIUM.COM соответствует всем требованиям федеральных государственных образовательных стандартов высшего образования (ФГОС ВО) нового поколения.

Учебно-методическая литература для данной дисциплины имеется в наличии в электронно-библиотечной системе Издательства "Лань", доступ к которой предоставлен обучающимся. ЭБС Издательства "Лань" включает в себя электронные версии книг издательства "Лань" и других ведущих издательств учебной литературы, а также электронные версии периодических изданий по естественным, техническим и гуманитарным наукам. ЭБС Издательства "Лань" обеспечивает доступ к научной, учебной литературе и научным периодическим изданиям по максимальному количеству профильных направлений с соблюдением всех авторских и смежных прав.

### **11. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)**

Освоение дисциплины "Специальный физический практикум" предполагает использование следующего материально-технического обеспечения:

Мультимедийная аудитория, вместимостью более 60 человек. Мультимедийная аудитория состоит из интегрированных инженерных систем с единой системой управления, оснащенная современными средствами воспроизведения и визуализации любой видео и аудио информации, получения и передачи электронных документов. Типовая комплектация мультимедийной аудитории состоит из: мультимедийного проектора, автоматизированного проекционного экрана, акустической системы, а также интерактивной трибуны преподавателя, включающей тач-скрин монитор с диагональю не менее 22 дюймов, персональный компьютер (с техническими характеристиками не ниже Intel Core i3-2100, DDR3 4096Mb, 500Gb), конференц-микрофон, беспроводной микрофон, блок управления оборудованием, интерфейсы подключения: USB, audio, HDMI. Интерактивная трибуна преподавателя является ключевым элементом управления, объединяющим все устройства в единую систему, и служит полноценным рабочим местом преподавателя. Преподаватель имеет возможность легко управлять всей системой, не отходя от трибуны, что позволяет проводить лекции, практические занятия, презентации, вебинары, конференции и другие виды аудиторной нагрузки обучающихся в удобной и доступной для них форме с применением современных интерактивных средств обучения, в том числе с использованием в процессе обучения всех корпоративных ресурсов. Мультимедийная аудитория также оснащена широкополосным доступом в сеть интернет. Компьютерное оборудование имеет соответствующее лицензионное программное обеспечение.

Специализированная лаборатория оснащена оборудованием, необходимым для проведения лабораторных работ, практических занятий и самостоятельной работы по отдельным дисциплинам, а также практик и научно-исследовательской работы обучающихся. Лаборатория рассчитана на одновременную работу обучающихся академической группы либо подгруппы. Занятия проводятся под руководством сотрудника университета, контролирующего выполнение видов учебной работы и соблюдение правил техники безопасности. Качественный и количественный состав оборудования и расходных материалов определяется спецификой образовательных программ.

### **12. Средства адаптации преподавания дисциплины к потребностям обучающихся инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья**

При необходимости в образовательном процессе применяются следующие методы и технологии, облегчающие восприятие информации обучающимися инвалидами и лицами с ограниченными возможностями здоровья:

- создание текстовой версии любого нетекстового контента для его возможного преобразования в альтернативные формы, удобные для различных пользователей;
- создание контента, который можно представить в различных видах без потери данных или структуры, предусмотреть возможность масштабирования текста и изображений без потери качества, предусмотреть доступность управления контентом с клавиатуры;
- создание возможностей для обучающихся воспринимать одну и ту же информацию из разных источников - например, так, чтобы лица с нарушениями слуха получали информацию визуально, с нарушениями зрения - аудиально;
- применение программных средств, обеспечивающих возможность освоения навыков и умений, формируемых дисциплиной, за счёт альтернативных способов, в том числе виртуальных лабораторий и симуляционных технологий;
- применение дистанционных образовательных технологий для передачи информации, организации различных форм интерактивной контактной работы обучающегося с преподавателем, в том числе вебинаров, которые могут быть использованы для проведения виртуальных лекций с возможностью взаимодействия всех участников дистанционного обучения, проведения семинаров, выступления с докладами и защиты выполненных работ, проведения тренингов, организации коллективной работы;
- применение дистанционных образовательных технологий для организации форм текущего и промежуточного контроля;
- увеличение продолжительности сдачи обучающимся инвалидом или лицом с ограниченными возможностями здоровья форм промежуточной аттестации по отношению к установленной продолжительности их сдачи:
- продолжительности сдачи зачёта или экзамена, проводимого в письменной форме, - не более чем на 90 минут;
- продолжительности подготовки обучающегося к ответу на зачёте или экзамене, проводимом в устной форме, - не более чем на 20 минут;
- продолжительности выступления обучающегося при защите курсовой работы - не более чем на 15 минут.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО и учебным планом по направлению 03.04.02 "Физика" и магистерской программе Теоретическая и математическая физика .