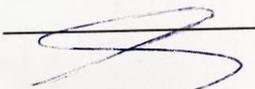


МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
(ФГБОУ ВО «ВГУ»)

УТВЕРЖДАЮ  
Заведующий кафедрой  
физики твердого тела и наноструктур  
(Середин П.В.)  
  
31.08.2022

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**  
**Б1.В.ДВ.04.01 Физика наноструктур**

**1. Код и наименование направления подготовки/специальности:**

03.04.02 Физика

**2. Профиль подготовки/специализация:**

Физика наносистем

**3. Квалификация выпускника:** магистр

**4. Форма обучения:** очная

**5. Кафедра, отвечающая за реализацию дисциплины:**

кафедра физики твердого тела и наноструктур

**6. Составители программы:**

Терновая Вера Евгеньевна, кандидат физико-математических наук, ст. преподаватель

**7. Рекомендована:**

НМС физического факультета протокол №6 от 14.06.2022

**8. Учебный год:** 2022/2023

**Семестр:** 1

## 9. Цели и задачи учебной дисциплины:

Целью освоения курса квантовой физики наносистем является ознакомление студентов с основными законами современной физики микромира и возможностями их применения при решении задач, возникающих в их последующей профессиональной деятельности. Квантовая физика наносистем позволяет научить студентов строить физические модели происходящего и устанавливать связь между явлениями, прививать понимание причинно-следственной связи между явлениями. Обладая логической стройностью и опираясь на экспериментальные факты, дисциплина «Квантовая физика наносистем» является идеальной для решения этой задачи, формируя у студентов подлинно научное мировоззрение.

## 10. Место учебной дисциплины в структуре ООП:

Дисциплина «Квантовая физика наносистем» является дисциплиной по выбору вариативной части блока Б1.

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

Компетенция		Планируемые результаты обучения
Код	Название	
ОПК-6	способностью использовать знания современных проблем и новейших достижений физики в научно-исследовательской работе	знать: теоретические основы физики микромира уметь: использовать полученные знания для анализа квантовых явлений и решения логических задач владеть (иметь навык(и)): использованием полученных знаний в научно-исследовательской работе
ПК-2	способностью свободно владеть разделами физики, необходимыми для решения научно-инновационных задач, и применять результаты научных исследований в инновационной деятельности	знать: все пройденные разделы квантовой физики наносистем уметь: применять на практике и анализировать полученные в ходе обучения знания и навыки в научной деятельности владеть (иметь навык(и)): разделами физики для решения научно-исследовательских задач
ПК-3	способностью принимать участие в разработке новых методов и методических подходов в научно-инновационных исследованиях и инженерно-технологической деятельности	знать: новые методические подходы пройденной дисциплины уметь: разрабатывать научно-инновационные подходы в инженерно-технологической деятельности владеть (иметь навык(и)): пройденным материалом курса для дальнейшей разработки новых методов и подходов в научной деятельности

## 12. Объем дисциплины в зачетных единицах/час — 3/108.

Форма промежуточной аттестации экзамен

### 13. Виды учебной работы

Вид учебной работы	Трудоемкость			
	Всего	По семестрам		
		1 семестр		
Аудиторные занятия	16	16		
в том числе: лекции	16	16		
практические	–	–		
лабораторные	56	56		
Контроль	–	–		
Самостоятельная работа				
Форма промежуточной аттестации	36	36		
Итого:	108	108		

#### 13.1. Содержание дисциплины

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела дисциплины
<b>1. Лабораторные работы</b>		
1.1	Особенности энергетического спектра частиц в системах пониженной размерности	Рассеяние частиц на потенциальной ступеньке. Потенциальный барьер конечной ширины. Частица в прямоугольной потенциальной яме. Особенности движения частиц над потенциальной ямой. Структура со сдвоенной квантовой ямой. Энергетический спектр сверхрешеток.
1.2	Транспортные явления	Стационарная дрейфовая скорость. Рассеяние электронов в 2D-системах. ТермоЭДС в квазидвумерных системах. Асимметричные наноструктуры в магнитном поле. Подвижность электронов в системах с селективным легированием. Особенности электрон-фононного взаимодействия в системах пониженной размерности.
1.3	Экранирование электрического поля в структурах пониженной размерности	Приповерхностная область пространственного заряда. Уравнение Пуассона. Разновидности областей пространственного заряда. Решение уравнения Пуассона. Поверхностное квантование.
1.4	Распределение квантовых состояний в системах пониженной размерности	Особенности распределения плотности состояний в 2D-системах. Зависимость положения уровня Ферми от концентрации электронов и толщины пленки для 2D-систем. Распределение плотности состояний в квантовых проволоках и квантовых точках. Энергетический спектр мелких примесных состояний в системах пониженной размерности. Влияние размерного квантования на состояния мелкого экситона. Энергетический спектр в полупроводниковых пленках с вырожденными зонами.

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

№ п/п	Наименование темы (раздела) дисциплины	Виды занятий (часов)				Всего
		Лекции	Контроль	Лабораторные	Самостоятельная работа	
1	Особенности энергетического спектра частиц в системах пониженной размерности	4	-	14	8	18
2	Транспортные явления	4	-	14	8	18
3	Экранирование электрического поля в	4	-	14	10	18

	структурах пониженной размерности					
4	Распределение квантовых состояний в системах пониженной размерности	4	-	14	10	18
	Итого:	16	-	56	36	72

#### 14. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

Изучение дисциплины «Квантовая физика наносистем» предусматривает осуществление учебной деятельности состоящей из двух частей: обучения студентов преподавателем и самостоятельной учебной деятельности студентов по изучению дисциплины.

Самостоятельная работа студентов наряду с аудиторной представляет одну из форм учебного процесса и является существенной ее частью, что наиболее ярко представлено в процессе подготовки магистров. Последнее обусловлено тем, что самостоятельная работа предназначена для формирования навыков самостоятельной работы как вообще, так и в учебной, научной деятельности, формирование и развитие способности принимать на себя ответственность, самостоятельно решать проблему, находить конструктивные решения, выход из кризисной ситуации и т.д.

Самостоятельная работа формирует самостоятельность не только как совокупность умений и навыков, но и как черту характера, играющую существенную роль в структуре личности современного специалиста высшей квалификации. Она воспитывает самостоятельность как черту характера. Никакие знания, полученные на уровне пассивного восприятия, не ставшие объектом собственной умственной или практической работы, не могут считаться подлинным достоянием человека.

Давая возможность расширять и обогащать знания, умения по индивидуальным направлениям, самостоятельная работа студента позволяет создать разносторонних специалистов. В процессе самостоятельной работы развивают творческие возможности обучающегося, при этом самостоятельная работа завершает задачи всех видов учебной работы.

Самостоятельная работа - это планируемая работа студентов, выполняемая по заданию и при методическом руководстве преподавателя, но без его непосредственного участия. Преподаватель, ведущий занятия, организует, направляет самостоятельную работу студентов и оказывает им необходимую помощь. Однако самостоятельность студента должна превышать объем работы, контролируемой преподавателем работы, и иметь в своей основе индивидуальную мотивацию обучающегося по получению знаний, необходимых и достаточных для будущей профессиональной деятельности в избранной сфере. Преподаватель при необходимости может оказывать содействие в выработке и коррекции данной мотивации, лежащей в основе построения самостоятельной деятельности студента по изучению дисциплины, получению необходимых знаний и навыков.

Получение образования предполагает обучение решению задач определенной сферы деятельности. Однако как бы хорошо не обучались учащиеся способам решения задач в аудитории, сформировать средства практической деятельности не удастся, так как каждый случай практики особый и для его решения следует выработать особый профессиональный стиль мышления.

Основой самостоятельной работы служит научно-теоретический курс, комплекс полученных студентом знаний. Основной, наиболее экономичной формой получения и усвоения информации, теоретических знаний в вузе является лекция, позволяющая воспринять значительную сумму основных знаний и потому способствующая повышению продуктивности всех других форм учебного труда.

Результат обучения и самостоятельной работы студента предполагает наличие следующих составляющих:

- понимание методологических основ построения изучаемых знаний;
- выделение главных структур учебного курса;
- формирование средств выражения в данной области;
- построение методик решения задач и ориентации в проблемах (ситуациях).

В учебном процессе используются следующие образовательные технологии (по образовательным формам): лекции и индивидуальные занятия. По преобладающим методам и приемам обучения: 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; компьютерные; мультимедийные (работа с сайтами академических структур, научно-исследовательских организаций, электронных библиотек и др., разработка презентаций, сообщений и докладов, работа с электронными обучающими программами и т.п.).

Подготовка к лекциям является одним из видов самостоятельной работы студентов-магистров. Студентам, чтобы хорошо овладеть учебным материалом, необходимо выработать навыки правильной и планомерной работы. Перед началом лекционных занятий надо просмотреть все, что было сделано в предыдущий раз. Это позволит сосредоточить внимание и восстановить в памяти уже имеющиеся знания по данному предмету. Кроме того, такой метод поможет лучше запомнить как старое, так и новое, углубит

понимание того и другого, так как при этом устанавливаются связи нового со старым, что является не только обязательным, но и основным условием глубокого овладения материалом. Чем детальнее изучаемое ассоциируется с известным ранее, тем прочнее сохраняется в памяти и быстрее вспомнить, когда требуется.

Приступая к изучению нового материала, необходимо сосредоточиться, т.е. сконцентрировать внимание и не отвлекаться от выполняемой работы, помня, что желание запомнить является гарантией успешной работы, отсутствие же воли к запоминанию снижает эффект восприятия.

Следует помнить о том, что через лекцию передается не только систематизированный теоретический материал, но и постигается методика научного исследования и умение самостоятельно работать, анализировать различного рода явления.

Записывать на лекции необходимо главное, не стремясь зафиксировать все слово в слово. Выбрать же главное без понимания предмета невозможно. Наличие собственного конспекта лекций позволяет еще раз ознакомиться, продумать, разобраться в новом материале, так как недостаточно хорошо понятое во время лекции положения могут быть восстановлены в памяти, сопоставлены с другими, додуманы, дополнены, уяснены и расширены с помощью учебной литературы. Записи являются пособиями для повторения, дают возможность охватить содержание лекции и всего курса в целом.

При этом хорошо овладеть содержанием лекции – это:

- знать тему;
- понимать значение и важность ее в данном курсе;
- четко представлять план;
- уметь выделить основное, главное;
- усвоить значение примеров и иллюстраций;
- связать вновь полученные сведения о предмете или явлении с уже имеющимися;
- представлять возможность и необходимость применения полученных сведений.

Существует несколько общих правил работы на лекции:

- лекции по каждому предмету записывать удобнее в отдельных тетрадях, оставляя широкие поля для пометок;

- к прослушиванию лекций следует готовиться, что позволит в процессе лекции отделить главное от второстепенного;

- лекции необходимо записывать с самого начала, так как оно часто бывает ключом ко всей теме;

- так как дословно записать лекцию невозможно, то необходимо в конспекте отражать: формулы, определения, схемы, трудные места, мысли, примеры, факты и положения от которых зависит понимание главного, новое и незнакомое, неопубликованные данные, материал отсутствующий в учебниках и т.п.;

- записывать надо сжато;

- во время лекции важно непрерывно сохранять рабочую установку, умственную активность.

Изучение теоретического материала в данном курсе не ограничивается подготовкой к лекциям и работой на данном виде занятий. Лекционная часть курса органически взаимосвязана с иными видами работ: написанием рефератов, подбором, изучением, анализом и конспектированием рекомендованной литературы, подготовкой и сдачей экзамена по дисциплине, в структуре которых также большое значение имеет самостоятельная работа студента-магистра.

Самостоятельная работа студента-магистра при изучении дисциплины «Квантовая физика наносистем» включает в себя: подготовку и участие в изучении теоретической части курса, выполнение рефератов, подбор, изучение, анализ и конспектирование рекомендованной литературы, подготовку к экзамену.

## 15. Перечень основной и дополнительной литературы, ресурсов интернет, необходимых для освоения дисциплины

а) основная литература:

№ п/п	Источник
1.	Драгунов, В.П. Микро- и нанoeлектроника : учебное пособие / В.П. Драгунов, Д.И. Остертак. - Новосибирск : НГТУ, 2012. - 38 с. // Электронно-библиотечная система. — URL : <a href="http://biblioclub.ru">http://biblioclub.ru</a>

б) дополнительная литература:

№ п/п	Источник
1.	Стин, Эндрю. Квантовые вычисления / Э. Стин; Пер. с англ. И. Д. Пасынкова. — М. : Регуляр. и хаотич. динамика, 2000. — 111 с.
2.	Фабрикант, Валентин Александрович. Физика. Оптика. Квантовая электроника : Избранные статьи / В.А. Фабрикант ; Сост.: А. Г. Глазунов и др. — М. : Изд-во МЭИ, 2000. — 209 с

в) информационные электронно-образовательные ресурсы (официальные ресурсы интернет)\*:

№ п/п	Ресурс
-------	--------

1.	<a href="http://www.lib.vsu.ru">http://www.lib.vsu.ru</a> – ЗНБ ВГУ
2.	<a href="http://xxx.lanl.gov">http://xxx.lanl.gov</a> Базы знаний и библиотеки периодических изданий и препринтов в Интернете
3.	<a href="http://www.lib.vsu.ru/cgi-bin/zgate?lnit+lib.xml,simple.xsl+rus">http://www.lib.vsu.ru/cgi-bin/zgate?lnit+lib.xml,simple.xsl+rus</a> Электронная библиотека учебно-методических материалов ВГУ

## 16. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы

№ п/п	Источник
1.	<a href="http://www.lib.vsu.ru">http://www.lib.vsu.ru</a> – ЗНБ ВГУ
2.	<a href="http://xxx.lanl.gov">http://xxx.lanl.gov</a> Базы знаний и библиотеки периодических изданий и препринтов в Интернете
3.	<a href="http://www.lib.vsu.ru/cgi-bin/zgate?lnit+lib.xml,simple.xsl+rus">http://www.lib.vsu.ru/cgi-bin/zgate?lnit+lib.xml,simple.xsl+rus</a> Электронная библиотека учебно-методических материалов ВГУ

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

Необходимо пользоваться возможностью интерактивного проведения лекций, задавать вопросы, высказываться по проблематике материала. На занятиях выполнение учебных заданий осуществляется в аудитории и дома. Обязательно посещение текущих аттестаций.

## 18. Материально-техническое обеспечение дисциплины:

Компактный рентгеновский дифрактометр-спектрометр Радиан ДР-02

## 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)
ПК-2,3	Знать: все пройденные разделы курса квантовой физики наносистем, а также новые методические подходы пройденной дисциплины	Особенности энергетического спектра частиц в системах пониженной размерности	Лаб. №1
	Уметь: использовать полученные знания для анализа квантовых явлений и решения логических задач, а также разрабатывать научно-инновационные подходы в инженерно-технологической деятельности	Транспортные явления	Лаб. №2
	Владеть: (иметь навык(и)): использованием полученных знаний в научно-исследовательской работе	Экранирование электрического поля в структурах пониженной размерности	Лаб. №3
ОПК-6	Знать: теоретические основы физики микромира	Распределение квантовых состояний в системах пониженной размерности	Лаб. №4
<b>Промежуточная аттестация</b>			Комплект КИМ

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

Для оценивания результатов обучения на экзамене используются следующие показатели

- 1) знание учебного материала и владение понятийным аппаратом физики низкоразмерных систем (в точности, пройденного материала);
- 2) знание основные физические методы и правила для разработки дальнейших инновационных и перспективных технологиях;
- 3) умение связывать и применять теоретические знания на практике, умение : реализовать возможности, заложенные в аппаратуру для проведения спектральных измерений путем реализации описанных и разработки новых методик;
- 4) умение иллюстрировать ответ примерами, фактами, данными научных исследований;
- 5) умение установить и запустить в работу новый прибор, распознать и, по возможности, устранить наиболее распространенные неисправности;
- 5) владение применения результатов научных исследований в инновационной деятельности;
- 6) владение навыками разработки новых методик для научно-инновационных и инженерно-технологической деятельности.

Для оценивания результатов обучения на экзамене используется 4-балльная шкала: «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно».

Соотношение показателей, критериев и шкалы оценивания результатов обучения.

Критерии оценивания компетенций	Уровень сформированности компетенций	Шкала оценок
Обучающийся в полной мере владеет понятийным аппаратом данной области науки (теоретическими основами дисциплины), способен иллюстрировать ответ примерами, фактами, данными научных исследований, применять теоретические знания для выполнения тестов решения практических задач при выполнении лабораторных работ	Повышенный уровень	Отлично
Обучающийся владеет понятийным аппаратом данной области науки (теоретическими основами дисциплины), допускает незначительные ошибки при выполнении тестов и лабораторных задач	Базовый уровень	Хорошо
Обучающийся владеет частично теоретическими основами дисциплины, фрагментарно способен проходить тестирование и выполнять лабораторные задания	Пороговый уровень	Удовлетворительно
Неудовлетворительное выполнение тестовых заданий. Обучающийся демонстрирует отрывочные, фрагментарные знания, допускает грубые ошибки при выполнении практических задач лабораторных работ	–	Неудовлетворительно

### 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 экзамену:

##### Контрольно-измерительный материал № 1

1. Рассеяние частиц на потенциальной ступеньке.
2. Особенности движения частиц над потенциальной ямой.

##### Контрольно-измерительный материал № 2

1. Потенциальный барьер конечной ширины.
2. ТермоЭДС в квазидвумерных системах.

##### Контрольно-измерительный материал № 3

1. Энергетический спектр и волновые функции линейного, плоского и сферического осциллятора.
2. Энергетический спектр сверхрешётки из квантовых точек в постоянном электрическом поле.

##### Контрольно-измерительный материал № 4

1. Частица в прямоугольной потенциальной яме.
2. Энергетический спектр электронов в размерно-квантовых плёнках Ge и Si.

##### Контрольно-измерительный материал № 5

1. Интерференционные эффекты при надбарьерном пролёте частиц.
2. Энергетический спектр мелких примесных состояний в системах пониженной размерности.

##### Контрольно-измерительный материал № 6

1. Энергетические состояния в прямоугольной квантовой яме сложной формы.
2. Особенности распределения плотности состояний в 2D- системах.

#### **Контрольно-измерительный материал № 7**

1. Движение частиц в сферически симметричной прямоугольной потенциальной яме.
2. Влияние однородного электрического поля на двухэлектронные состояния в двойной квантовой точке.

#### **Контрольно-измерительный материал № 8**

1. Классификация полупроводниковых сверхрешёток.
2. Особенности электрон-фононного взаимодействия в системах пониженной размерности.

#### **Контрольно-измерительный материал № 9**

1. Потенциальная ступенька в однородном электрическом поле.
2. Особенности рассеяния квазидвумерных электронах в сверхрешетках.

#### **Контрольно-измерительный материал № 10**

1. Прохождение частиц через двухбарьерную структуру в электрическом поле.
2. Рассеяние электронов в 2D- системах.

### **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 индивидуального устного опроса.

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 и позволяющее(ие) оценить степень сформированности умений и навыков.

При оценивании используются качественные шкалы оценок. Критерии оценивания приведены выше.

Программа рекомендована НМС физического факультета протокол №6 от 14.06.2022