

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



УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

физики полупроводников и микроэлектроники

факультет

*(Е.Н.Бормонтов)* (Е.Н.Бормонтов)

31.08.2024

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ  
*Б1.О.11 Физика приборов наноэлектроники*

1. Шифр и наименование направления подготовки/специальности: **11.04.04**  
*Электроника и наноэлектроника*

2. Профиль подготовки/специализации: \_\_\_\_\_

*Интегральная электроника и наноэлектроника*

3. Квалификация (степень) выпускника: \_\_\_\_\_ *магистр*

4. Форма образования: \_\_\_\_\_ *очная*

5. Кафедра, отвечающая за реализацию дисциплины: \_\_\_\_\_  
*физики полупроводников и микроэлектроники*

6. Составители программы: *Жукалин Дмитрий Алексеевич,*  
*кандидат физико-математических наук*

7. Рекомендована: *НМС физического факультета протокол №6 от 26.06.2024*

8. Учебный год: *2024-2025* Семестр: *1*

**9. Цели и задачи учебной дисциплины:** цель дисциплины состоит в формировании систематических знаний и фундаментальных принципов, определяющих структуру квантовых низкоразмерных систем, а также в изучении явлений и процессов в наноструктурах, использующихся при разработке приборов нанoeлектроники.

При изучении курса ставятся следующие основные задачи: получение представлений о физических идеях и принципах современной нанoeлектроники; формирование комплекса теоретических знаний о физических свойствах низкоразмерных электронных систем, важнейших физических процессах и явлениях, составляющих фундаментальную основу нанoeлектроники; знакомство с существующими моделями, теориями различных физических явлений и основными областями применения нанoeлектронных структур.

Задачи учебной дисциплины:

- получение у обучающихся представлений о физических идеях и принципах современной нанoeлектроники, формирование комплекса теоретических знаний о физических свойствах низкоразмерных электронных систем, важнейших физических процессах и явлениях, составляющих фундаментальную основу нанoeлектроники;
- знакомство с существующими моделями, теориями различных физических явлений и основными областями применения нанoeлектронных структур;
- изучение явлений и процессов в наноструктурах, использующихся при разработке элементов и приборов нанoeлектроники;
- формирование навыков применения теоретических знания о физических свойствах нанoeлектронных систем для исследования важнейших физических процессов и явлений, составляющих фундаментальную основу нанoeлектроники;
- овладение навыками расчета параметров и характеристик приборов и устройств нанoeлектроники, выбора экспериментальных методов исследования, соответствующих поставленным задачам.

**10. Место учебной дисциплины в структуре ОПОП:** Дисциплина включена в число дисциплин обязательной части блока Б1 по направлению подготовки **11.04.04 Электроника и нанoeлектроника**.

Для ее усвоения требуются знания, формируемые при освоении ОПОП бакалавриата в рамках курсов математики, физики, компьютерного моделирования.

В результате прохождения данной дисциплины обучающийся должен приобрести знания, умения, навыки общепрофессиональных компетенций, необходимых для обеспечения трудовых функций В/02.7 «Разработка функционального описания цифровых блоков аппаратной части СнК» и Е/02.7 «Проектировка поведенческой модели аналоговой части проекта для моделирования в составе всей системы в целом» профессионального стандарта 40.016 «Инженер в области проектирования и сопровождения интегральных схем и систем на кристалле».

Знания, полученные при освоении дисциплины «Физика приборов нанoeлектроники», необходимы при выполнении научно-исследовательских работ, учебной и производственных проектно-конструкторских практик написания магистерской выпускной квалификационной работы в области микро- и нанoeлектроники.

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

Компетенции		Индикаторы		Планируемые результаты обучения
Код	Наименование компетенции	Код(ы)	Наименование индикатора(ов)	
ОПК-1	Способен представлять современную научную картину мира, выявлять естественнонаучную сущность проблем, определять пути их решения и оценивать эффективность сделанного выбора	ОПК-1.1	Способен выявлять естественнонаучную сущность проблем в профессиональной сфере	<p><i>Знать:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- явления и процессы в наноструктурах, использующихся при разработке элементов и приборов нанoeлектроники;</li> </ul> <p><i>Уметь:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- выявлять естественнонаучную сущность проблем в профессиональной сфере;</li> </ul> <p><i>Владеть:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- методологией системного и критического анализа проблемных ситуаций;</li> <li>- методами постановки цели, определения способов ее достижения, разработки стратегий действий</li> </ul>
		ОПК-1.2	Использует передовой отечественный и зарубежный опыт в профессиональной сфере деятельности для решения научно-технических задач	<p><i>Знать:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- современные достижения в области микро- и нанoeлектроники;</li> </ul> <p><i>Уметь:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- анализировать и использовать передовой отечественный и зарубежный опыт в профессиональной сфере деятельности для решения научно-технических задач;</li> </ul> <p><i>Владеть:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- навыками формулирования целей и задач научных исследований в соответствии с тенденциями и перспективами развития электроники и нанoeлектроники, а также смежных областей науки и техники;</li> <li>- навыками обоснованно выбирать современные теоретические и экспериментальные методы и средства решения сформулированных задач</li> </ul>

ОПК-3	Способен приобретать и использовать новую информацию в своей предметной области, предлагать новые идеи и подходы к решению инженерных задач	ОПК-3.3	Предлагает на основе полученной информации новые идеи и оценивает возможность их реализации при решении инженерных задач в профессиональной сфере деятельности	<p><b>Знать:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- явления и процессы в наноструктурах, использующихся при разработке элементов и приборов наноэлектроники;</li> <li>- передовой отечественный и зарубежный опыт решения научно-технических задач в области наноэлектроники;</li> </ul> <p><b>Уметь:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- выявлять естественнонаучную сущность проблем в профессиональной сфере;</li> <li>- оценивать возможность реализации новых идей при решении инженерных задач в области наноэлектроники;</li> </ul> <p><b>Владеть:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- методологией системного и критического анализа проблемных ситуаций;</li> <li>- методиками постановки цели, определения способов ее достижения, разработки стратегий действий при разработке новых и модернизации существующих приборов наноэлектроники</li> </ul>
-------	---	---------	--	---

**12. Объем дисциплины в зачетных единицах/часах в соответствии с учебным планом — 3/108.**

**Форма промежуточной аттестации – экзамен**

**13 Трудоемкость по видам учебной работы:**

Вид учебной работы	Трудоемкость (часы)	
	Всего	По семестрам
		1 сем.
Аудиторные занятия	30	30
в том числе: лекции	30	30
Самостоятельная работа	42	42
Экзамен	36	36
Итого:	108	108

### 13.1 Содержание разделов дисциплины:

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела дисциплины
1	Введение. Размерное квантование. Основные типы наноструктур и их квантово-механические модели	Размерное квантование. Квантовый конфайнмент и размерность электронной системы. Элементарные наноструктуры: квантовые ямы, квантовые нити, квантовые точки и полупроводниковые сверхрешетки.
2	Электронные свойства квантовых низкоразмерных систем	Энергетический спектр и волновые функции двумерного (2D), одномерного (1D) и нульмерного (0D) электронного газа. Распределение плотности состояний и равновесные концентрации электронов в системах пониженной размерности. Энергетический спектр сверхрешетки. Влияние на энергетический спектр магнитного поля. Эффективное понижение размерности системы. Движение электрона в однородном электрическом поле.
3	Двумерный электронный газ в МДП- и гетероструктурах	Основные типы композиционных гетероструктур. Описание электронных состояний методом огибающей. Условия образования 2D-электронного газа в инверсионном слое МДП-структуры. Размерные эффекты.
4	Кинетические эффекты в наноструктурах; Квантовый эффект Холла	Кинетические явления в двумерных структурах и сверхрешетках. Квантование Ландау и осцилляции Ванье - Штарка. Целочисленный квантовый эффект Холла (ЦКЭХ). Условия наблюдения и результаты эксперимента. Проявление мировых постоянных ( $e$ , $h$ ). Эффекты локализации и их роль в ЦКЭХ. Аргументы Лафлина. Дробный квантовый эффект Холла и его интерпретация. Структура квантовой жидкости как основного сильно коррелированного состояния двумерного электронного газа в сильном магнитном поле и свойства ее элементарных возбуждений. Дробные заряды и промежуточная статистика. Композитные фермионы.
5	Мезоскопические системы; баллистический транспорт	Модулированное легирование. Полевые транзисторы на электронах с высокой подвижностью. Баллистический транспорт. Приборы на основе баллистического транспорта.
6	Оптические свойства гетероструктур; фотонные кристаллы; гетеролазеры на квантовых ямах и квантовых точках	Оптика квантовых структур. Вероятность перехода в поле электромагнитной волны. Правила отбора. Возможность управления оптическими параметрами в широких пределах. Фотонные кристаллы. Возможность реализации лазерной генерации в непрерывном режиме при комнатной температуре. Каскадные лазеры на междузонных переходах в системе квантовых ям.
7	Электронная структура и физические свойства фуллеренов и нанотрубок	Электронная структура и физические свойства фуллеренов, нанотрубок и мультиграфеновых систем. Размерные эффекты в углеродных наноматериалах и гибридных структурах на их основе.
8	Резонансное туннелирование; туннельно-резонансные приборы	Вывод условий для реализации туннелирования с единичной вероятностью. Эффект резонансного туннелирования в двухбарьерной структуре с квантовой ямой и в многобарьерных квантовых структурах. ВАХ двух- и многобарьерных структур. Приборы на основе резонансного туннелирования.
9	Кулоновская блокада туннелирования; одноэлек-	Запирание туннельного тока за счет увеличения кулоновской энергии системы при добавлении одного электрона. Условия наблюдения эффекта. ВАХ асимметричного тун-

	троника	нельного контакта без затвора. Механизм образования ступеней. Кулоновская блокада туннелирования через две гранулы. Одноэлектронный транзистор. Устройства на основе одноэлектронных транзисторов. Новые типы электронных схем.
10	Магнитные наноструктуры; спинтроника	Гигантское магнетосопротивление наноструктур, состоящих из чередующихся магнитных и немагнитных слоев; элементы записи, хранения и считывания информации. Инжекция спиновых токов как основа нового класса приборов; квантовый компьютер.

### 13.2 Разделы дисциплины и виды занятий:

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Виды занятий (часов)		
		Лекции	Самостоятельная работа	Всего
1	Введение. Размерное квантование. Основные типы наноструктур и их квантово-механические модели	2	2	4
2	Электронные свойства квантовых низкоразмерных систем	2	2	4
3	Двумерный электронный газ в МДП- и гетероструктурах	2	4	6
4	Кинетические эффекты в наноструктурах; Квантовый эффект Холла	4	4	8
5	Мезоскопические системы; баллистический транспорт	4	4	8
6	Оптические свойства гетероструктур; фотонные кристаллы; гетеролазеры на квантовых ямах и квантовых точках	4	6	10
7	Электронная структура и физические свойства фуллеренов и нанотрубок	4	6	10
8	Резонансное туннелирование; туннельно-резонансные приборы	4	6	10
9	Кулоновская блокада туннелирования; одноэлектроника	2	4	6
10	Магнитные наноструктуры; спинтроника	2	4	6
	Экзамен			36
	Всего	30	42	108

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

Изучение дисциплины «Физика приборов наноэлектроники» предусматривает осуществление учебной деятельности состоящей из двух частей: обучения студентов преподавателем и самостоятельной учебной деятельности студентов по изучению дисциплины.

В учебном процессе используются следующие образовательные технологии по образовательным формам: лекции; 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.). Дисциплина может

реализовываться с применением электронного обучения и дистанционных образовательных технологий.

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 понятые 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 выделить 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, участием в семинарских и

лабораторных занятиях, подготовкой и сдачей зачета по дисциплине, в структуре которых также большое значение имеет самостоятельная работа студента.

Самостоятельная работа обучающихся наряду с аудиторной представляет одну из форм учебного процесса и является существенной ее частью, что наиболее ярко представлено в процессе подготовки бакалавров. 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. 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 обучающегося 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 обучающихся, выполняемая по заданию и при методическом руководстве преподавателя, но без его непосредственного участия. Преподаватель, ведущий занятия, организует, направляет самостоятельную работу обучающихся и оказывает им необходимую помощь. Однако самостоятельность обучающихся 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 обучающегося по изучению дисциплины, получению необходимых знаний и навыков.

Получение образования предполагает обучение решению задач определенной сферы деятельности. Однако, как бы хорошо не обучались обучающиеся 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 обучающимся 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 обучающегося 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).

Самостоятельная работа обучающихся при изучении «Физика приборов наноэлектроники» включает в себя: подготовку и участие в изучении теоретической части курса, подготовку к экзамену.

Самостоятельная работа студента при изучении «Физика приборов наноэлектроники» включает в себя:



### 13. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины:

#### а) основная литература:

№ п/п	Источник
1	Драгунов В.П. Микро- и наноэлектроника / В.П. Драгунов ; Остертак Д. И. — Новосибирск : НГТУ, 2012 .— 38 с. // Электронно-библиотечная система. — URL : <a href="http://biblioclub.ru">http://biblioclub.ru</a>
2	Троян П.Е. Наноэлектроника / П.Е. Троян ; Сахаров Ю. В. — Томск : Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2010 .— 88 с. // Электронно-библиотечная система. — URL : <a href="http://biblioclub.ru">http://biblioclub.ru</a>
3	Щука А.А. Наноэлектроника / А.А. Щука .— 2-е изд. (эл.) .— Москва : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2012 .— 349 с. // Электронно-библиотечная система. — URL : <a href="http://biblioclub.ru">http://biblioclub.ru</a>
4	Борисенко В.Е. Наноэлектроника: теория и практика / В.Е. Борисенко .— 3-е изд. (эл.) .— Москва : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2013 .— 371 с. — (Учебник для высшей школы) . // Электронно-библиотечная система. — URL : <a href="http://biblioclub.ru">http://biblioclub.ru</a>
5	Шишкин, Г.Г. Наноэлектроника. Элементы, приборы, устройства / Г.Г. Шишкин ; Агеев И. М. — 2-е изд. (эл.) .— Москва : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2012 .— 413 с. // Электронно-библиотечная система. — URL : <a href="http://biblioclub.ru">http://biblioclub.ru</a>
	Сергеев В. А. Элементы и устройства наноэлектроники: учебное пособие / В.А. Сергеев. - Ульяновский государственный технический университет, 2016. – 137 с. [Электронный ресурс. ЭБС Лань] (неограниченный доступ). <a href="https://e.lanbook.com/book/165019">https://e.lanbook.com/book/165019</a> .

#### б) дополнительная литература:

№ п/п	Источник
6	Кардона М., Ю П. Основы физики полупроводников. Пер. с англ. - М.: Физматлит, 2002. - 560 с. (5)
7	Широкозонные полупроводники : Учебное пособие для студ. вузов, обуч. по направлению "Техн. физика" / Ю. Г. Шретер, Ю. Т. Ребане, В. А. Зыков, В. Г. Сидоров; Под ред. В. И.Ильина, А. Я. Шика .— СПб. : Наука, 2001 .— 123, [1] с. (5)
8	Драгунов, Валерий Павлович. Основы наноэлектроники : учебное пособие для студ. вузов, обуч. по направлению "Электроника и микроэлектроника", специальностям "Микроэлектроника и твердотельная электроника" и "Микросистемная техника" / В. П. Драгунов, И. Г. Неизвестный, В. А. Гридчин .— М. : Физматкнига : Логос, 2006 .— 494 с. : (4)
9	Драгунов, Валерий Павлович. Основы наноэлектроники : Учебное пособие для студ. вузов, обуч. по спец. "Микроэлектроника и полупроводниковые приборы" / В. П. Драгунов, И. Г. Неизвестный, В. А. Гридчин .— Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2000 . (10)
10	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, [1] с. (5)
11	Демиховский В.Я., Вугальтер Г.А. Физика квантовых низкоразмерных структур. - М.: Логос, 2000. - 248 с. (4)
12	Овсюк, Виктор Николаевич. Электронные процессы в полупроводниках с областями пространственного заряда / В.Н. Овсюк ; АН СССР, Институт физики полупроводников; Отв. ред. А.В. Ржанов .— Новосибирск : Наука, 1984 .— 252,[1] с. (5)
13	Бормонтов, Е.Н. Физика и метрология МДП-структур : учеб. пособие для студ. вузов, обуч. по специальностям 200.100 "Физика и технология материалов и компонентов электронной техники" и 200.200 "Микроэлектроника и полупроводниковые приборы" /

	Воронеж. гос. ун-т .— Воронеж, 1997 .— 183,[1]с. (19)
14	Андо Т., Фаулер А., Стерн Ф. Электронные свойства двумерных систем. М.: Мир, 1985. - 416 с. (3)

в) информационные электронно-образовательные ресурсы:

№ п/п	Источник
15	<a href="http://www.lib.vsu.ru">http://www.lib.vsu.ru</a> – ЗНБ ВГУ
16	Электронная библиотека учебно-методических материалов ВГУ <a href="http://www.lib.vsu.ru/cgi-bin/zgate?Init+lib.xml,simple.xml+rus">http://www.lib.vsu.ru/cgi-bin/zgate?Init+lib.xml,simple.xml+rus</a>
17	Сайт <a href="http://www.aiportal.ru">www.aiportal.ru</a> Портал искусственного интеллекта

#### 16. Учебно-методическое обеспечение для организации самостоятельной работы:

№ п/п	Источник
1	Яковенко Н.В. Самостоятельная работа студентов : методические рекомендации / Н. В. Яковенко, О.Ю. Сушкова .— Воронеж, 2015 .— 22 с.
2	АСМ-микроскопия нанообъектов [Электронный ресурс] : учебно-методическое пособие : [для студ. физ. фак. очной формы обучения по программам бакалавриата и магистратуры для направлений : 11.03.04 (бакалавриат), 11.04.04 (магистратура) - Электроника и нанoeлектроника]. Ч. 1. Тестирование. Обработка и анализ изображения / Воронеж. гос. ун-т ; [сост.: М.В. Гречкина и др.] .— Электрон. текстовые дан. — Воронеж : Издательский дом ВГУ, 2018 .— Загл. с титула экрана .— Свободный доступ из интрасети ВГУ .— Текстовый файл .— <URL: <a href="http://www.lib.vsu.ru/elib/texts/method/vsu/m18-139.pdf">http://www.lib.vsu.ru/elib/texts/method/vsu/m18-139.pdf</a> >.

#### 17. Образовательные технологии, используемые при реализации учебной дисциплины:

Метод преподавания – проблемный, форма обучения – групповая, форма общения – интерактивная. В учебном процессе используются следующие образовательные технологии по образовательным формам: лекции; 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.). Дисциплина может реализовываться с применением электронного обучения и дистанционных образовательных технологий.

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

Для обеспечения освоения дисциплины необходимо наличие учебной аудитории, снабженной мультимедийными средствами для представления презентаций лекционного материала. Для лекций разработаны слайды презентаций в программе PowerPoint. Используется ноутбук Samsung X11 с мультимедиапроектором Epson EM-62 LCD с проекционным экраном Consul. Учебный фильм «На пути к нанотехнологиям».

Реализация дисциплины с применением электронного обучения и дистанционных образовательных технологий осуществляется через образовательный портал "Электронный университет ВГУ".

### 19. Оценочные средства для проведения текущей и промежуточной аттестаций

Порядок оценки освоения обучающимися учебного материала определяется содержанием следующих разделов дисциплины:

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Компетенция	Индикаторы достижения компетенции	Оценочные средства
1	Введение. Размерное квантование. Основные типы наноструктур и их квантовомеханические модели	ОПК-1 ОПК-3	ОПК-1.1 ОПК-1.2 ОПК-3.3	Опрос
2	Электронные свойства квантовых низкоразмерных систем	ОПК-1 ОПК-3	ОПК-1.1 ОПК-1.2 ОПК-3.3	Опрос
3	Двумерный электронный газ в МДП- и гетероструктурах	ОПК-1 ОПК-3	ОПК-1.1 ОПК-1.2 ОПК-3.3	Опрос
4	Кинетические эффекты в наноструктурах; Квантовый эффект Холла	ОПК-1 ОПК-3	ОПК-1.1 ОПК-1.2 ОПК-3.3	Опрос
5	Мезоскопические системы; баллистический транспорт	ОПК-1 ОПК-3	ОПК-1.1 ОПК-1.2 ОПК-3.3	Опрос
6	Оптические свойства гетероструктур; фотонные кристаллы; гетеролазеры на квантовых ямах и квантовых точках	ОПК-1 ОПК-3	ОПК-1.1 ОПК-1.2 ОПК-3.3	Опрос
7	Электронная структура и физические свойства фуллеренов и нанотрубок	ОПК-1 ОПК-3	ОПК-1.1 ОПК-1.2 ОПК-3.3	Опрос
8	Резонансное туннелирование; туннельно-резонансные приборы	ОПК-1 ОПК-3	ОПК-1.1 ОПК-1.2 ОПК-3.3	Опрос
9	Кулоновская блокада туннелирования; одноэлектроника	ОПК-1 ОПК-3	ОПК-1.1 ОПК-1.2 ОПК-3.3	Опрос
10	Магнитные наноструктуры; спинтроника	ОПК-1 ОПК-3	ОПК-1.1 ОПК-1.2 ОПК-3.3	Опрос
Промежуточная аттестация: форма контроля - экзамен				Комплект КИМ

## 20.1 Текущий контроль успеваемости

Текущий контроль успеваемости по дисциплине осуществляется с помощью опроса на занятиях

### Перечень вопросов

1. Основные принципы теории познания.
2. Системный анализ.
3. Общие методы научного познания.
4. Природа естественнонаучных методов познания.
5. Анализ, синтез, индукция, дедукция и абдукция в научном исследовании.
6. Экспериментальные и теоретические методы исследования.
7. Системные методы исследования.
8. Понятие технологического уклада по Кондратьеву.
9. Инфраструктура V и VI технологических укладов постиндустриального общества.
10. История и методология формирования научных основ современной электроники: волновой механики, квантовой механики, волновой механики систем.
11. Микроскопическая теория необратимых процессов.
12. Неравновесная термодинамика.
13. Научно-методологические аспекты современных электронных технологий.
14. Технические аспекты современных электронных технологий.
15. Технологические аспекты современных электронных технологий.

## 20.2 Промежуточная аттестация

Промежуточная аттестация по дисциплине осуществляется с помощью следующих оценочных средств - КИМ

### Комплект КИМ

#### Контрольно-измерительный материал № 1

1. Размерное квантование. Квантовый конфайнмент и размерность электронной системы.
2. Гигантское магнетосопротивление наноструктур, состоящих из чередующихся магнитных и немагнитных слоев; элементы записи, хранения и считывания информации.

#### Контрольно-измерительный материал № 2

1. Элементарные наноструктуры: квантовые ямы, квантовые нити, квантовые точки и полупроводниковые сверхрешетки.
2. Инжекция спиновых токов как основа нового класса приборов; квантовый компьютер..

#### Контрольно-измерительный материал № 3

1. Энергетический спектр и волновые функции двумерного (2D), одномерного (1D) и нульмерного (0D) электронного газа.
2. Запирание туннельного тока за счет увеличения кулоновской энергии системы при добавлении одного электрона. Условия наблюдения эффекта.

#### **Контрольно-измерительный материал № 4**

1. Распределение плотности состояний и равновесные концентрации электронов в системах пониженной размерности. Энергетический спектр сверхрешетки. Влияние на энергетический спектр магнитного поля.
2. ВАХ асимметричного туннельного контакта без затвора. Механизм образования ступеней.

#### **Контрольно-измерительный материал № 5**

1. Эффективное понижение размерности системы. Движение электрона в однородном электрическом поле.
2. Кулоновская блокада туннелирования через две гранулы. Одноэлектронный транзистор.

#### **Контрольно-измерительный материал № 6**

1. Основные типы композиционных гетероструктур. Описание электронных состояний методом огибающей.
2. Устройства на основе одноэлектронных транзисторов. Новые типы электронных схем.

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

1. Условия образования 2D-электронного газа в инверсионном слое МДП-структуры. Размерные эффекты..
2. Вывод условий для реализации туннелирования с единичной вероятностью.

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

1. Кинетические явления в двумерных структурах и сверхрешетках. Квантование Ландау и осцилляции Ванье - Штарка.
2. Эффект резонансного туннелирования в двухбарьерной структуре с квантовой ямой и в многобарьерных квантовых структурах. ВАХ двух- и многобарьерных структур.

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

1. Целочисленный квантовый эффект Холла (ЦКЭХ). Условия наблюдения и результаты эксперимента..
2. Приборы на основе резонансного туннелирования.

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

1. Дробный квантовый эффект Холла и его интерпретация.
2. Электронная структура и физические свойства фуллеренов, нанотрубок и мультиграфеновых систем.

#### **Контрольно-измерительный материал № 11**

1. Структура квантовой жидкости как основного сильно коррелированного состояния двумерного электронного газа в сильном магнитном поле и свойства ее элементарных возбуждений.

2. Размерные эффекты в углеродных наноматериалах и гибридных структурах на их основе.

### **Контрольно-измерительный материал № 12**

1. Модулированное легирование. Полевые транзисторы на электронах с высокой подвижностью. 2. Оптика квантовых структур. Вероятность перехода в поле электромагнитной волны. Правила отбора. Возможность управления оптическими параметрами в широких пределах.

### **Контрольно-измерительный материал № 13**

1. Баллистический транспорт. Приборы на основе баллистического транспорта.
2. Каскадные лазеры на междузонных переходах в системе квантовых ям.

### **Контрольно-измерительный материал № 14**

1. Проявление мировых постоянных ( $e$ ,  $h$ ). Эффекты локализации и их роль в ЦКЭХ. Аргументы Лафлина.
2. Фотонные кристаллы. Возможность реализации лазерной генерации в непрерывном режиме при комнатной температуре.

### **Описание технологии проведения промежуточной аттестации**

Промежуточная аттестация по дисциплине – экзамен. В приложение к диплому вносится оценка *отлично/хорошо/удовлетворительно*.

Оценка уровня освоения дисциплины «Физика приборов наноэлектроники» осуществляется по следующим показателям:

- качество ответов при опросе на занятиях;
- полнота ответов на вопросы контрольно-измерительного материала;
- полнота ответов на дополнительные вопросы.

Критерии оценки освоения дисциплины «Физика приборов наноэлектроники»:

– оценка *отлично* выставляется при полном соответствии работы студента всем вышеуказанным показателям. Соответствует высокому (углубленному) уровню сформированности компетенций: компетенции сформированы полностью, проявляются и используются систематически, в полном объеме. Данный уровень превосходит, по крайней мере, по одному из перечисленных выше показателей повышенный (продвинутый) уровень;

– оценка *хорошо* выставляется в случае, если работа студента при освоении дисциплины не соответствует одному из перечисленных показателей или в случае предоставления курсовых работ и отчетов по лабораторным работам позже установленного срока. Соответствует повышенному (продвинутому) уровню сформированности компетенций: компетенции в целом сформированы, но проявляются и используются фрагментарно, не в полном объеме. Данный уровень превосходит, по крайней мере, по одному из перечисленных выше показателей пороговый (базовый) уровень;

– оценка *удовлетворительно* выставляется в случае, если работа студента при освоении дисциплины не соответствует любым двум из перечисленных показателей. Соответствует пороговому (базовому) уровню сформированности компетенций: компетенции сформированы в общих чертах, проявляются и используются ситуативно, частично. Данный уровень обязателен для всех осваивающих основную образовательную программу;

– оценка *неудовлетворительно* выставляется в случае несоответствия работы студента всем показателям, его неорганизованности, безответственности и низкого качества работы при выполнении лабораторных работ, предусмотренных программой дисциплины.

Факт невыполнения требований, предъявляемых к студенту при освоении дисциплины «Физика приборов наноэлектроники» и отраженных в вышеперечисленных критериях, фиксируется в ведомости оценкой *неудовлетворительно*.

Если студент не осваивает дисциплину в установленном программой объеме и в сроки, определенные графиком учебного процесса, он не допускается к промежуточной аттестации по данному виду учебной работы.

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 выполнения практических заданий. 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.

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