

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ
Н.Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Институт физики

УТВЕРЖДАЮ
Директор Института физики,
профессор
С.Б. Вениг
« 09 » 11 2021 г.



Рабочая программа дисциплины
Физика приборов на квантовых эффектах

Направление подготовки бакалавриата
11.03.04 «Электроника и наноэлектроника»

Профиль подготовки бакалавриата
«Физика и технология твердотельных электронных микро- и наноструктур»

Квалификация (степень) выпускника
Бакалавр

Форма обучения
очная

Саратов,
2021

Статус	ФИО	Подпись	Дата
Преподаватель-разработчик	Кабанов В.Ф.		20.10.2021
Председатель НМК	Скрипаль Ан. В.		22.10.2021
Заведующий кафедрой	Михайлов А.И.		20.10.2021
Специалист Учебного управления			

1. Цели освоения дисциплины

Целью освоения дисциплины «Физика приборов на квантовых эффектах» является формирование у студентов комплекса профессиональных знаний умений и владений и усвоение физических принципов действия различных типов приборов на квантовых эффектах, их сравнительных особенностей и возможностей применения в электронной аппаратуре.

2. Место дисциплины в структуре ООП магистратуры

Дисциплина «Физика приборов на квантовых эффектах» относится к дисциплинам, формируемым участниками образовательных отношений блока Б1 «Дисциплины (модули)» учебного плана ООП, и изучается студентами дневного отделения факультета нано- и биомедицинских технологий СГУ по направлению подготовки бакалавров 11.03.04 «Электроника и наноэлектроника» и профилю «Физика и технология твердотельных электронных микро- и наноструктур» в течение 7-го учебного семестра. Материал дисциплины опирается на ранее приобретенные студентами знания, умения и владения, полученные в процессе освоения дисциплин «Введение в общую физику», «Механика и молекулярная физика», «Химия», «Электричество и магнетизм», «Оптика», «Термодинамика», «Ядерная физика, физика атома и конденсированного состояния», «Физика полупроводников», «Квантовая механика», «Физико-химические основы технологии электроники и наноэлектроники», «Технология материалов и структур электроники», и подготавливает студентов к изучению таких дисциплин, как «Твердотельная электроника», «Микроэлектроника и наноэлектроника», а также к прохождению научно-исследовательской и преддипломной практик.

3. Результаты обучения по дисциплине

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора (индикаторов) достижения компетенции	Результаты обучения
ПК-1 Способен проводить математическую обработку результатов измерений с учетом аппаратных характеристик и условий измерений по данным протоколов измерений и вносить информацию в базы данных	1.1_Б. ПК-1. Способен обрабатывать результаты измерений в соответствии с калибровочными параметрами аппаратуры и условиями измерений	<u>Знать</u> принципы обработки результатов измерений <u>Уметь</u> проводить математическую обработку результатов измерений <u>Владеть</u> навыками корректно заносить информацию в базы данных
ПК-3. Способен аргументированно выбирать и реализовывать на практике эффективную методику теоретического и экспериментального исследования параметров и характеристик приборов, схем, устройств и установок электроники и	1.1_Б. ПК-3. Аргументированно применяет методики проведения теоретических и экспериментальных исследований параметров и характеристик узлов и блоков установок электроники и наноэлектроники	<u>Знать</u> физические процессы, протекающие в материалах и структурах, используемых в приборах на квантовых эффектах их основные параметры и характеристики, примеры возможных применения;

наноэлектроники различного функционального назначения	3.1_Б. ПК-3. Обрабатывает и анализирует результаты теоретических и экспериментальных исследований, определяет элементы новизны в разработке	<u>Уметь</u> анализировать физические процессы в квантово-размерных структурах, прогнозировать параметры и характеристики приборов на квантовых эффектах; <u>Владеть</u> методики проведения теоретических и экспериментальных исследований физических процессов в приборах на квантовых эффектах.
---	---	---

4. Структура и содержание дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 2 зачетных единицы, 72 часа.

№ п/п	Раздел дисциплины	Се-местр	Не-деля се-местр а	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)				Формы промежуточной аттестации (по семестрам)
				5	6	7	8	
1	<u>2</u>	3	4	5	6	7	8	
				Лек	Лаб	Пр	СРС	
1.	Введение.	7	1-2	2			2	
2.	Основные представления квантовой физики	7	3-4	2			2	Проверка выполнения текущей и самостоятельной работы
3.	Квантовые эффекты и их возможные применения	7	5-7	4			10	Проверка выполнения текущей и самостоятельной работы
4.	Квантовые ямы, квантовые нити, квантовые точки. Энергетические спектры электрона	7	7-8	4		4	6	Проверка выполнения <u>ра-боты проме-жуточного контроля</u>
5.	Плотность состояний и концентрация носителей заряда	7	9-10	2		2	8	Проверка выполнения текущей и самостоятельной работы
6.	Сверхрешетки. Особенности энергетического спектра	7	11-12			4	8	Проверка выполнения текущей и самостоятельной работы

№ п/п	Раздел дисциплины	Се- местр	Не- деля се- местр а	Виды учебной работы, включая самостоятель- ную работу студентов и трудоемкость (в часах)				Формы про- межуточной аттестации (по семест- рам)
				5	6	7	8	
1	<u>2</u>	3	4	Лек	Лаб	Пр	СРС	
7.	Применение квантово-раз- мерных структур в прибо- рах микро- и наноэлектро- ники.	7	13-14			4	8	Проверка вы- полнения те- кущей и само- стоятельной работы
	Промежуточная аттестация	7						Зачет
	Итого:	7		14		14	44	
	Общая трудоемкость дис- циплины			72				

Содержание дисциплины

1. Введение. Квантовые эффекты и их возможные применения для создания при-
боров.
2. Основные представления квантовой физики (теории). Описание движения
макротел и микрочастиц. От классической механики к квантовой механике.
Важнейшие элементы квантовой теории: гипотеза де Бройля, корпускулярно-
волновой дуализм, длина волны де Бройля, принцип неопределенности Гей-
зенберга.
3. Волны. Уравнение Шредингера. Волновая функция – функция, описывающая
волну.
4. Размерное квантование и квантово-размерные структуры. Квантовые ямы,
нити, точки. Гетероструктуры и сверхрешетки. Наночастицы (нанокластеры)
и их свойства.
5. Энергетические спектры электрона в изолированных квантовых ямах, нитях,
точках.
6. Туннельный эффект. Туннелирование через квантоворазмерные полупровод-
никовые структуры; отрицательное дифференциальное сопротивление. Резо-
нансное туннелирование.
7. Квантовый эффект Холла. Сильные магнитные поля. Двумерные системы в
магнитном поле. Квантовый эффект Холла (целочисленный и дробный).
8. Физические основы одноэлектроники. Кулоновская блокада. Одноэлектрон-
ный транзистор.
9. Физические идеи квантовой информатики. Квантовый компьютер.
10. Возможности применения квантово-размерных структур в приборах микро- и
наноэлектроники.

В ходе изучения дисциплины студенты выполняют работу промежуточного контроля.

При подготовке к работе промежуточного контроля необходимо использовать материал прочитанных лекций.

Работа промежуточного контроля:

Физические основы размерного квантования энергии электронов.

При выполнении контрольной работы студент должен продемонстрировать знания основных элементов квантовой теории (гипотеза Луи де Бройля, принцип неопределенности Гейзенберга, физических основ размерного квантования энергии электронов, учет особенностей свойств материалов для приборов на квантовых эффектах).

Результаты выполнения работы промежуточного контроля учитываются при проведении промежуточной аттестации студентов на зачете.

5. Образовательные технологии, применяемые при освоении дисциплины

При реализации различных видов учебной работы (лекции, практические занятия (семинары), самостоятельная работа) используются следующие современные образовательные технологии:

- информационно-коммуникационные технологии;
- проблемное обучение.

Лекционные занятия проводятся в основном в традиционной форме. При проведении лекционных занятий используется ПК и мультимедийный проектор.

При проведении практических занятий (семинаров) в активной форме проводится детальный анализ вопросов физики, технологии, конструирования и проектирования конкретных типов твердотельных электронных приборов на квантовых эффектах в соответствии с разделами программы дисциплины.

Примерная тематика практических занятий (семинаров)

1. Размерное квантование и квантово-размерные структуры. Особенности энергетического спектра. Квантовые ямы, нити, точки. Размерное квантование во внешних полях Квантовые ямы в электрическом поле.
2. Гетероструктуры и сверхрешетки. Наночастицы (нанокластеры) и их свойства.
3. Туннельный эффект. Туннелирование через квантоворазмерные полупроводниковые структуры; отрицательное дифференциальное сопротивление. Резонансное туннелирование.
4. Гигантское магнетосопротивление в нанопленках. Анизотропное магнетосопротивление.
5. Квантовый эффект Холла. Сильные магнитные поля. Двумерные системы в магнитном поле. Квантовый эффект Холла (целочисленный и дробный).
6. Физические основы одноэлектроники. Кулоновская блокада. Одноэлектронный транзистор.
7. Физические идеи квантовой информатики. Квантовый компьютер.

При проведении более 80 % лекционных и практических (семинарских) занятий используется ПК и мультимедийный проектор.

Самостоятельная внеаудиторная работа студентов по дисциплине проводится в течение всего учебного семестра и заключается в чтении и изучении литературы, подготовке к лекциям, практическим занятиям, к контрольной работе, в выполнении заданий лектора, работе в компьютерном классе или библиотеке.

Удельный вес занятий, проводимых в интерактивных формах, определяется главной целью (миссией) программы, особенностью контингента обучающихся и содержанием дисциплины, и в целом в учебном процессе они должны составлять не менее 50 % аудиторных занятий. Занятия лекционного типа для соответствующих групп студентов не могут составлять более 50 % аудиторных занятий.

Условия обучения инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья:

- предоставление инвалидам по зрению или слабовидящим возможностей использовать крупноформатные наглядные материалы;
- организация коллективных занятий в студенческих группах с целью оказания помощи в получении информации инвалидам и лицам с ограниченными возможностями по здоровью;
- проведение индивидуальных коррекционных консультаций для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья;
- использование индивидуальных графиков обучения;
- использование дистанционных образовательных технологий.

6. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины.

Самостоятельная внеаудиторная работа студентов по дисциплине проводится в течение всего учебного семестра и заключается в чтении и изучении литературы, подготовке к лекциям, практическим занятиям, к контрольной работе, в выполнении индивидуальных заданий преподавателя, работе в компьютерном классе или библиотеке.

Рекомендуется:

- для качественного усвоения материала лекций разбирать вопросы, изложенные в каждой очередной лекции, до следующей, по непонятым деталям консультироваться у лектора, читать соответствующую литературу;
- при подготовке к практическим занятиям (семинарам) пользоваться рекомендациями преподавателя, ведущего семинары, готовить краткий конспект по вопросам темы, изучать рекомендуемую основную и дополнительную литературу;
- при подготовке к контрольной работе пользоваться лекциями и рекомендованной литературой;
- задания, которые даются лектором во время лекции по отдельным вопросам, обязательны для выполнения, и качество их выполнения будет проверяться во время зачета.

Промежуточная аттестация проводится в форме зачета.

Контрольные вопросы для проведения промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины

1. Основные физические идеи, тенденции и перспективы развития приборов на квантовых эффектах.
2. Квантово-размерный эффект. Условия наблюдения квантово-размерных эффектов.
3. Энергетический спектр частицы в потенциальной яме.
4. Структуры с двумерным электронным газом. Структуры с одномерным электронным газом (квантовые нити). Структуры с нуль-мерным электронным газом (квантовые точки).
5. Энергетический спектр сверхрешеток.
6. Плотность состояний в электронных системах с пониженной размерностью. Особенности статистики носителей заряда в низкоразмерных структурах.
7. Примесные состояния в электронных системах с пониженной размерностью.
8. Оптические свойства квантовых ям. Межзонное поглощение. Межуровневые переходы. Оптическая ионизация квантовых ям.
9. Кинетические эффекты в двумерных системах. Время релаксации и подвижность. Механизмы рассеяния.
10. Баллистический транспорт.
11. Размерное квантование во внешних полях Квантовые ямы в электрическом поле.
12. Энергетический спектр и плотность состояний двумерных систем в магнитном поле.
13. Эффект сильного магнитного поля. Целочисленный и дробный квантовые эффекты Холла.
14. Свойства квантовых нитей и квантовых точек. Баллистическая проводимость квантовых нитей.
15. Лазеры с квантовыми ямами и квантовыми точками.
16. Фоточувствительные квантово-размерные структуры.
17. Фотоприемники на квантовых ямах и квантовых точках.
18. Резонансно-туннельные диоды и транзисторы.
19. Приборы на баллистических эффектах.
20. Одноэлектроника.
21. Квантовый компьютер: идея и проблемы реализации.

7. Данные для учета успеваемости студентов в БАРС

Таблица 1.1 Таблица максимальных баллов по видам учебной деятельности.

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Семестр	Лекции	Лабораторные занятия	Практические занятия	Самостоятельная работа	Автоматизированное тестирование	Другие виды учебной деятельности	Промежуточная аттестация	Итого
7	20	0	20	20	0	0	40	100

Программа оценивания учебной деятельности бакалавра

7 семестр

Лекции

Посещаемость, активность работы в аудитории, правильность ответов при опросах, качество выполнения заданий лектора – от 0 до 20 баллов.

Лабораторные занятия

Не предусмотрены

Практические занятия

Посещаемость, активность работы в аудитории, правильность ответов при опросах и выполнении заданий, уровень подготовки к занятиям и др. – от 0 до 20 баллов.

Самостоятельная работа

Качество подготовки к лекционным и практическим занятиям (семинарам), активность на занятиях, качество выполнения контрольной работы – от 0 до 20 баллов.

Автоматизированное тестирование

Не предусмотрены

Другие виды учебной деятельности

Не предусмотрены

Промежуточная аттестация по дисциплине «Физика приборов на квантовых эффектах» оценивается от 0 до 40 баллов и проводится в форме зачета.

При проведении промежуточной аттестации в форме зачета:

ответ на «зачтено» оценивается от 24 до 40 баллов;

ответ на «не зачтено» оценивается от 0 до 23 баллов.

Таким образом, максимально возможная сумма баллов за все виды учебной деятельности студента по дисциплине «Физика приборов на квантовых эффектах» при проведении промежуточной аттестации в форме зачёта составляет 100 баллов.

Таблица 2. 1 Таблица пересчета полученной студентом суммы баллов по дисциплине в зачет

60 баллов и более	«зачтено»
меньше 60 баллов	«не зачтено»

8. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

а) литература:

1. Материаловедение и технологии электроники [Электронный ресурс] : Учебное пособие / В И Капустин, Александр Сергеевич Сигов. - Москва : ООО "Научно-издательский центр ИНФРА-М", 2014. - 427 с. - ISBN 978-5-16-008966-9
2. Шалимова К. В. Физика полупроводников [Электронный ресурс]: учебник. - 4-е изд., стер. - СПб.; М.; Краснодар: Лань, 2010. – 390 с. – Режим доступа: http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&pl1_id=648. – ЭБС "ЛАНЬ".
3. Нанoeлектроника [Электронный ресурс]: учебное пособие / Троян П. Е. - Томск : Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2010. - 88 с. ЭБС IPRbooks.
4. Методы исследования микроэлектронных и нанoeлектронных материалов и структур. Часть II [Текст] / А. А. Величко, Н. И. Филимонова. - Новосибирск : Новосибирский государственный технический университет (НГТУ), 2014. - 227 с. - ISBN 978-5-7782-2534-3 : Б. ц. ЭБС ИНФРА-М.
5. Микро- и нанoeлектроника [Текст] / В. П. Драгунов, Д. И. Остертак. - Новосибирск : Новосибирский государственный технический университет (НГТУ), 2012. - 38 с. - ISBN 978-5-7782-2095-9 : Б. ц. ЭБС ИНФРА-М.
6. Материаловедение и технологии электроники [Текст] : Учебное пособие / В И Капустин, Александр Сергеевич Сигов. - Москва : ООО "Научно-издательский центр ИНФРА-М", 2014. - 427 с. - ISBN 978-5-16-008966-9 : Б. ц. ЭБС ИНФРА-М.
7. Лозовский В.Н., Константинова Г.С., Лозовский С.В. Нанотехнология в электронике. Введение в специальность: учеб. пособие. - 2-е изд., испр. - СПб.; М.; Краснодар: Лань, 2008. - 327 с. (в ЗНБ СГУ 6 экз.)
8. Драгунов В.П., Неизвестный И.Г., Гридчин В.А. Основы нанoeлектроники: Учебное пособие. – М.: Университетская книга; Логос; Физматкнига, 2006. – 494 с. (в ЗНБ СГУ 14 экз.)
9. Нанoeлектроника: учеб. пособие / В. Е. Борисенко, А. И. Воробьева, Е. А. Уткина. - Москва : БИНОМ. Лаб. знаний, 2011. - 223, с. (А987192-ОХФ).

б) программное обеспечение и Интернет-ресурсы

1. Windows XP Prof
2. Антивирус Касперского 6.0 для Windows Workstations
3. Microsoft Office профессиональный 2010
4. MathCad 14.0
5. Каталог образовательных Интернет-ресурсов. – Режим доступа: <http://window.edu.ru/window/>
6. Зональная научная библиотека им. В.А.Артисевич Саратовского государственного университета им.Н.Г.Чернышевского. – Режим доступа: <http://library.sgu.ru/>

9. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Занятия по дисциплине «Физика приборов на квантовых эффектах» проводятся в аудиториях, оснащенных компьютерной техникой, проекторами, соответствующих действующим санитарным и противопожарным нормам, а также требованиям техники безопасности при проведении учебных и научно-производственных работ.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению 11.03.04 «Электроника и нанoeлектроника» и профилю «Физика и технология твердотельных электронных микро- и наноструктур».

Автор: Кабанов В.Ф.

Программа одобрена на заседании кафедры физики полупроводников от 22 мая 2019 года, протокол № 6.

Программа актуализирована в 2021 г. и одобрена на заседании кафедры физики полупроводников от 20 октября 2021 года, протокол № 2.