

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Новосибирский национальный исследовательский государственный университет»
(Новосибирский государственный университет, НГУ)

**Физический факультет
Кафедра физики полупроводников**



ПТВЕРЖДАЮ
Декан ФФ, д.ф.-м.н
В.Е.Блинов
2022 г.

**Рабочая программа дисциплины
ФИЗИКА ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ТОНКИХ СЛОЁВ
И НИЗКОРАЗМЕРНЫХ СИСТЕМ 2**

направление подготовки: **03.03.02 Физика**
направленность (профиль): **Общая и фундаментальная физика**

Форма обучения
Очная

Семестр	Общий объем	Виды учебных занятий (в часах)				Промежуточная аттестация (в часах)				
		Контактная работа обучающихся с преподавателем			Самостоятельная работа, не включая период сессии	Самостоятельная подготовка к промежуточной аттестации	Контактная работа обучающихся с преподавателем			
		Лекции	Практические занятия	Лабораторные занятия			Консультации	Зачет	Дифференцированный зачет	Экзамен
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
8	72	32	16		2	18	2			2
Всего 72 часа / 2 зачётные единицы, из них: - контактная работа 52 часа										
Компетенции ПК-1										

Ответственный за образовательную программу,
д.ф.-м.н., проф.

С. В. Цыбуля

Новосибирск, 2022

Содержание

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесённых с планируемыми результатами освоения образовательной программы.	3
2. Место дисциплины в структуре образовательной программы.	4
4. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведённого на них количества академических часов и видов учебных занятий.	5
5. Перечень учебной литературы.	8
6. Перечень учебно-методических материалов по самостоятельной работе обучающихся.	8
7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины.	8
8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине.	9
9. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине.	9
10. Оценочные средства для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине.	9

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесённых с планируемыми результатами освоения образовательной программы.

Цель учебного курса «**Физика полупроводниковых тонких слоев и низкоразмерных систем 2**» – дать магистрантам базовые знания, умения и навыки по основам дать бакалаврам базовые знания, умения и навыки по основам физики низкоразмерных систем, ознакомить их с квантовыми явлениями в низкоразмерных электронных системах и наноструктурах.

Для достижения поставленной цели выделяются следующие задачи курса:

1. Овладение феноменологическим и микроскопическим подходами к описанию квазилаассических и квантовых свойств электронов и дырок в низкоразмерных системах и наноструктурах на основе полупроводников.
2. Ознакомление с основными физическими принципами описания квантовых явлений в низкоразмерных электронных системах на основе полупроводников

Дисциплина нацелена на формирование у выпускника следующей профессиональной компетенции:

Результаты освоения образовательной программы (компетенции)	Индикаторы	Результаты обучения по дисциплине
<p>ПК-1 Способность использовать специализированные знания в области физики при построении теоретических моделей физических явлений и процессов в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования</p>	<p>ПК 1.1 Применяет специализированные знания в области физики при воспроизведении учебного материала с требуемой степенью научной точности и полноты.</p> <p>ПК 1.2 Использует специализированные знания при проведении научных изысканий в избранной области.</p> <p>ПК 1.3 Выбирает наиболее эффективные методы построения теоретических моделей физических явлений и процессов в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования</p>	<p>Знать основы феноменологического (макроскопического) описания квантовых свойств вещества и микроскопические механизмы квантовых явлений в полупроводниках;</p> <p>основы решения задач по совершенствованию приборов полупроводниковой квантовой микро- и наноэлектроники.</p> <p>Уметь применять эти знания для анализа квантовых свойств приповерхностной области пространственного заряда, квантовых ям и сверхрешеток, двумерных, одномерных и нульмерных электронных систем, квантовых проволок, интерферометров и точек, квантового эффекта Холла и квантования баллистического сопротивления.</p> <p>Владеть методами самосогласованного решения уравнения Шредингера и Пуассона в условиях линейного и нелинейного экранирования, кинетического уравнения для двумерных электронов на основе борновского приближения, построения гамильтониана дву-</p>

Результаты освоения образовательной программы (компетенции)	Индикаторы	Результаты обучения по дисциплине
		мерного электрона в магнитном поле, анализа поведения уровней Ландау.

2. Место дисциплины в структуре образовательной программы.

Учебный курс «Физика полупроводниковых тонких слоёв и низкоразмерных систем 2» реализуется в весеннем семестре 4-го курса для бакалавров, обучающихся по направлению **03.03.02 Физика, направленность «Общая и фундаментальная физика»**. Для успешного освоения курса обучающиеся должны обладать предварительными знаниями основ электродинамики, квантовой механики, статистической физики в объеме бакалавриата физического факультета НГУ.

3. Трудоёмкость дисциплины в зачётных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающегося с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу.

Семестр	Общий объем	Виды учебных занятий (в часах)				Промежуточная аттестация (в часах)				
		Контактная работа обучающихся с преподавателем			Самостоятельная работа, не включая период сессии	Самостоятельная подготовка к промежуточной аттестации	Контактная работа обучающихся с преподавателем			
		Лекции	Практические занятия	Лабораторные занятия			Консультации	Зачет	Дифференцированный зачет	Экзамен
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
8	72	32	16		2	18	2			2
Всего 72 часа / 2 зачётные единицы, из них: - контактная работа 52 часа										
Компетенции ПК-1										

Реализация дисциплины предусматривает практическую подготовку при проведении следующих видов занятий, предусматривающих участие обучающихся в выполнении отдельных элементов работ, связанных с будущей профессиональной деятельностью: лекции, практические занятия, самостоятельная работа студента и её контроль преподавателями с помощью заданий, консультации, экзамен.

Программой дисциплины предусмотрены следующие виды контроля:

- текущий контроль успеваемости: задания для самостоятельного решения.
- промежуточная аттестация: экзамен.

Общая трудоёмкость рабочей программы дисциплины составляет 2 зачетные единицы.

- занятия лекционного типа – 32 часа;
- практические занятия – 16 часов;
- самостоятельная работа обучающегося в течение семестра, не включая период сессии-2 часа;
- промежуточная аттестация (самостоятельная подготовка к экзамену, консультации, экзамен) – 22 часа.

Объём контактной работы обучающегося с преподавателем (занятия лекционного типа, практические занятия, консультации, экзамен) составляет 52 часа.

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

Общая трудоемкость дисциплины составляет 2 зачетные единицы, 72 академических часа.

№ п/п	Раздел дисциплины	Неделя семестра	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)				Промежуточная аттестация (в часах)
			Всего	Аудиторные часы		Сам. работа во время занятий (не включая период сессии)	
				Лекции	Практические занятия		
1	2	3	4	5	6	7	8
1.	Размерное квантование. Приближение эффективной массы в задаче о размерном квантовании. Квантование спектра в двойной гетероструктуре и в ОПЗ.	1	3	2	1		
2.	Система уравнений Шредингера и Пуассона для ОПЗ. Оптические переходы между уровнями размерного квантования.	2	3	2	1		
3.	Двумерный квантовый предел. Двумерная Ферми-система. Примесь в двумерном слое. Экранирование в двумерном электронном газе.	4	3	2	1		
4.	Рассеяние двумерных электронов. Примесное рассеяние. Фонное рассеяние. Рассеяние на шероховатостях	5	3	2	1		
5.	Плазменные колебания в двумерном электронном газе. Двумерный вигнеровский кристалл.	6	3	2	1		
6.	Модулированные полупроводниковые структуры: легированные и композиционные, классические и квантовые. Селективное легирование модулированных структур.	7	6	4	2		
7.	Рассеяние на удаленных кулоновских центрах. Спейсер. Двумерный электронный газ с высокой подвижностью.	8	3	2	1		
8.	Квантовые ямы и сверхрешетки. Расчет энергетического спектра сверхрешеток в приближении слабой и сильной связи. Минищели и мини-зоны. Плотность состояний. Изоэнергетические поверхности. Двумерный и одномерный случаи.	8	3	2	1		

9.	Перенос заряда в сверхрешетке. Блоховские осцилляции. Отрицательная дифференциальная проводимость	10	3	2	1			
10.	Приборы на основе модулированных полупроводниковых структур. НЕМТ-транзистор. Лазер. Фотоприемники.	11	3	2	1			
11.	Низкоразмерные системы: двумерные, одномерные (квантовые проволоки) и нульмерные (квантовые точки). Энергетический спектр и плотность состояний.	12	3	2	1			
12.	Локализационные явления. Модель Андерсона. Переход металл-диэлектрик. Масштабная теория локализации. Слабая локализация. Когерентные явления при рассеянии электронов. Влияние магнитного поля. Эффект Ааронова-Бома. Осцилляции Альтшульра-Аронова-Спивака. Аномальное магнитосопротивление.	13	3	2	1			
13.	Двумерный электронный газ в магнитном поле. Энергетический спектр. Магнитная длина. Кратность вырождения уровня Ландау. Плотность состояний. Осцилляции Шубникова-де Гааза. Квантовый эффект Холла.	14	3	2	1			
14.	Осцилляции Шубникова-де Гааза. Квантовый эффект Холла. Краевые токовые состояния.	15	4	2	1	1		
15.	Что такое мезоскопика? Универсальные флуктуации полной проводимости. Нелокальность. Формула Ландауэра. Баллистический квантовый транспорт. Квантовый точечный контакт. Квантование полной проводимости. Квантовые приборы. Электронный интерферометр Фабри-Перо. Кольцевой интерферометр. Эффекты кулоновской блокады. Одноэлектронные транзисторы.	16	4	2	1	1		
16.	Самостоятельная работа в период подготовки к промежуточной аттестации		18				18	
17.	Консультации		2				2	
18.	Экзамен		2				2	
Всего				72	32	16	2	22

Программа и основное содержание лекций (32 часа)

1. Двумерный электронный газ. (10 часов)

1.1. Размерное квантование. Приближение эффективной массы в задаче о размерном квантовании. Квантование спектра в двойной гетероструктуре и в ОПЗ. Система уравнений Шредингера и Пуассона для ОПЗ. Оптические переходы между уровнями размерного квантования.

1.2. Двумерный квантовый предел. Двумерная Ферми-система. Примесь в двумерном слое. Экранирование в двумерном электронном газе. Рассеяние двумерных электронов. Плазменные колебания в двумерном электронном газе. Двумерный вигнеровский кристалл.

2. Модулированные полупроводниковые структуры. (12 часов)

- 2.1. Модулированные полупроводниковые структуры: легированные и композиционные, классические и квантовые. Селективное легирование модулированных структур. Рассеяние на удаленных кулоновских центрах. Двумерный электронный газ с высокой подвижностью.
- 2.2. Квантовые ямы и сверхрешетки. Расчет энергетического спектра сверхрешеток в приближении слабой и сильной связи. Мини-щели и мини-зоны. Плотность состояний. Изоэнергетические поверхности. Двумерный и одномерный случаи. Перенос заряда в сверхрешетке. Отрицательное дифференциальное сопротивление.
- 2.3. Приборы на основе модулированных полупроводниковых структур.

3. Квантовые макроскопические явления в низкоразмерных системах. (8 часов)

- 3.1. Низкоразмерные системы: двумерные, одномерные (квантовые проволоки) и нульмерные (квантовые точки). Энергетический спектр и плотность состояний.
- 3.2. Локализационные явления. Модель Андерсона. Переход металл-диэлектрик. Масштабная теория локализации. Слабая локализация. Когерентные явления при рассеянии электронов. Влияние магнитного поля. Эффект Ааронова-Бома. Осцилляции Альтшульра-Аронова-Спивака. Аномальное магнитосопротивление.
- 3.3. Двумерный электронный газ в магнитном поле. Энергетический спектр. Магнитная длина. Кратность вырождения уровня Ландау. Плотность состояний. Осцилляции Шубникова-де Гааза. Квантовый эффект Холла.

4. Мезоскопика. (2 часа)

- 4.1. Что такое мезоскопика? Универсальные флуктуации полной проводимости. Нелокальность. Формула Ландауэра.
- 4.2. Баллистический квантовый транспорт. Квантовый точечный контакт. Квантование полной проводимости. Квантовые приборы. Электронный интерферометр Фабри-Перо. Кольцевой интерферометр. Эффекты кулоновской блокады. Одноэлектронные транзисторы

Программа практических занятий (16 часов)

1. Размерное квантование. Система уравнений Шредингера и Пуассона для ОПЗ. Решение задач (Определение плотности состояний и поверхностей постоянной энергии в системе с размерным квантованием) – 2 часа.
2. Двумерный квантовый предел. Двумерная Ферми-система. Примесь в двумерном слое. Экранирование в двумерном электронном газе. Решение задач (Построение поверхности Ферми, нахождение связи между концентрацией и фермиевскими энергией и импульсом) – 2 часа.
3. Рассеяние двумерных электронов. Решение задач (Сечение рассеяния двумерных электронов, определение относительной роли рассеяния на примесях, фонах и шероховатостях) – 2 часа.
4. Модулированные полупроводниковые структуры: легированные и композиционные, классические и квантовые. Селективное легирование модулированных структур. Решение задач (Построение зонной диаграммы многослойной п/п структуры) – 2 часа.
5. Квантовые ямы и сверхрешетки. Решение задач (Поверхность постоянной энергии и плотность состояний, ВАХ сверхрешетки) – 2 часа.
6. Энергетический спектр и плотность состояний низкоразмерных систем. Решение задач (Построение спектра различных низкоразмерных систем) – 2 часа.
7. Квантовый точечный контакт (КТК). Решение задач. (Последовательное и параллельное соединение КТК) – 2 часа.
8. Двумерный электронный газ в магнитном поле. Решение задач (Определение параметров 2Д электронного газа из осцилляций Шубникова-де Гааза) – 2 часа.

Самостоятельная работа студентов (20 часов)

Перечень занятий на СРС	Объем, час
Подготовка к практическим занятиям	2
Подготовка к экзамену	18

5. Перечень учебной литературы.

1. З. Д. Квон, Л. К. Попов "Электроны и дырки в тонких слоях полупроводников", изд-во Новосибирский государственный университет, Новосибирск, 2010. (Ч.1-2010, 121 с. : ил., ISBN 978-5-94356-959-3 (6 экз.)
2. Зи, С. М. Физика полупроводниковых приборов: В 2 кн. / С.М. Зи ; Пер. с англ. В.А. Гергеля, В.В. Ракитина / Под ред.Р.А. Суриса. [Кн.]1. 2-е изд., перераб. и доп. М. : Мир, 1984. 455.(2 экз.)

6. Перечень учебно-методических материалов по самостоятельной работе обучающихся.

Самостоятельная работа студентов поддерживается следующими учебными пособиями:

1. З. Д. Квон, Л. К. Попов "Электроны и дырки в тонких слоях полупроводников", изд-во Новосибирский государственный университет, Новосибирск, 2010.

7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины.

Для освоения дисциплины используются следующие ресурсы:

- электронная информационно-образовательная среда НГУ (ЭИОС);
- образовательные интернет-порталы;
- информационно-телекоммуникационная сеть Интернет.

Интернет-ресурсы:

1. Электронный архив: «Новые полупроводниковые материалы: Характеристики и свойства» - URL: <http://www.ioffe.ru/SVA/NSM/rintroduction.html>
2. Раздел "Образование" сайта ИФП СО РАН - URL: http://www.isp.nsc.ru/index.php?ACTION=part&id_part=4&sub_part=81

7.1 Современные профессиональные базы данных

Не используются.

7.2. Информационные справочные системы

Не используются.

8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине.

Для обеспечения реализации дисциплины используется стандартный комплект программного обеспечения (ПО), включающий регулярно обновляемое лицензионное ПО Windows и MS Office.

Использование специализированного программного обеспечения для изучения дисциплины не требуется.

9. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине.

Для реализации дисциплины используются специальные помещения:

1. Учебные аудитории для проведения занятий лекционного типа, практических занятий, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля, промежуточной и итоговой аттестации.

2. Помещения для самостоятельной работы обучающихся.

Учебные аудитории укомплектованы специализированной мебелью и техническими средствами обучения, служащими для представления учебной информации большой аудитории.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду НГУ.

Материально-техническое обеспечение образовательного процесса по дисциплине для обучающихся из числа лиц с ограниченными возможностями здоровья осуществляется согласно «Порядку организации и осуществления образовательной деятельности по образовательным программам для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья в Новосибирском государственном университете».

10. Оценочные средства для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине.

10.1 Порядок проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине

Текущий контроль

Текущий контроль осуществляется в виде вопросов на знание материала предыдущих занятий и решения задач из задания.

Промежуточная аттестация

Промежуточная аттестация – экзамен. Он проходит в конце семестра в экзаменационную сессию по билетам в устной форме. Оценка знаний, умений, навыков и освоения компетенций обучающимися в рамках промежуточной аттестации проводится с учетом оценки за работу в семестре (РС).

Оценка за РС учитывает активность студента на занятиях, оцениваемую преподавателем, посещение занятий, а также количество сданных задач из задания для самостоятельного решения. За РС выставляется оценка “неудовлетворительно” в случае сдачи менее 80% задач из заданий.

Для получения на экзамене оценки “удовлетворительно” или выше необходимо сдать не менее 2/3 задач из задания в установленные программой курса сроки.

Освоение компетенций оценивается согласно шкале оценки уровня сформированности компетенции. Положительная оценка по дисциплине выставляется в том случае, если заявленная компетенция ПК-1 сформирована не ниже порогового уровня в части, относящейся к формированию способности использовать специализированные знания в области физики полупроводниковых тонких слоёв и низкоразмерных систем.

Вывод об уровне сформированности компетенций принимается преподавателем. Оценки «отлично», «хорошо», «удовлетворительно» означают успешное прохождение промежуточной аттестации.

Соответствие индикаторов и результатов освоения дисциплины

Таблица 10.1

Индикатор	Результат обучения по дисциплине	Оценочные средства
ПК 1.1 Применяет специализированные знания в области физики при воспроизведении учебного материала с требуемой степенью научной точности и полноты.	Знать основы феноменологического (макроскопического) описания квантовых свойств вещества и микроскопические механизмы квантовых явлений в полупроводниках; основы решения задач по совершенствованию приборов полупроводниковой квантовой микро- и наноэлектроники.	Решение задач, экзамен.
ПК 1.2 Использует специализированные знания при проведении научных изысканий в избранной области	Уметь применять эти знания для анализа квантовых свойств приповерхностной области пространственного заряда, квантовых ям и сверхрешеток, двумерных, одномерных и нульмерных электронных систем, квантовых проволок, интерферометров и точек, квантового эффекта Холла и квантования баллистического сопротивления.	Решение задач, экзамен.
ПК 1.3 Выбирает наиболее эффективные методы построения теоретических моделей физических явлений и процессов в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования	Владеть методами самосогласованного решения уравнения Шредингера и Пуассона в условиях линейного и нелинейного экранирования, кинетического уравнения для двумерных электронов на основе борновского приближения, построения гамильтониана двумерного электрона в магнитном поле, анализа поведения уровней Ландау.	Решение задач, экзамен.

10.2 Описание критериев и шкал оценивания индикаторов достижения результатов обучения по дисциплине «Физика полупроводниковых тонких слоёв и низкоразмерных систем 2».

Таблица 10.2

Критерии оценивания результатов обучения	Планируемые результаты обучения (показатели достижения заданного уровня освоения компетенций)	Уровень освоения компетенции			
		Не сформирован (0 баллов)	Пороговый уровень (3 балла)	Базовый уровень (4 балла)	Продвинутый уровень (5 баллов)
1	2	3	4	5	6
Полнота знаний	ПК 1.1	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имеют место грубые ошибки.	Минимально допустимый уровень знаний. Допускается значительное количество негрубых ошибок.	Уровень знаний соответствует программе подготовки по темам/разделам дисциплины. Допускается несколько негрубых/несущественных ошибок. Не отвечает на дополнительные вопросы.	Уровень знаний соответствует программе подготовки по темам/разделам дисциплины. Свободно и аргументированно отвечает на дополнительные вопросы.
Наличие умений	ПК 1.2	Отсутствие минимальных умений. Не умеет решать стандартные задачи. Имеют место грубые ошибки.	Продемонстрированы частично основные умения. Решены типовые задачи. Допущены негрубые ошибки.	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задания с негрубыми ошибками или с недочетами.	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задания в полном объеме без недочетов и ошибок.
Наличие навыков (владение опытом)	ПК 1.3	Отсутствие владения материалом по темам/разделам дисциплины. Нет навыков в решении стандартных задач. Наличие грубых ошибок.	Имеется минимальный набор навыков при решении стандартных задач с некоторыми недочетами.	Имеется базовый набор навыков при решении стандартных задач с некоторыми недочетами.	Имеется базовый набор навыков при решении стандартных задач без ошибок и недочетов. Продемонстрированы знания по решению нестандартных задач.

10.3 Типовые контрольные задания и материалы, необходимые для оценки результатов обучения

Задачи для самостоятельного решения

Задание 1

1. Нарисовать зонную структуру многослойной системы, состоящей из следующих слоев:

легированный донорами GaAs – 100 нм, $N_d = 10^{18} \text{ cm}^{-3}$

нелегированный GaAs – 100 нм

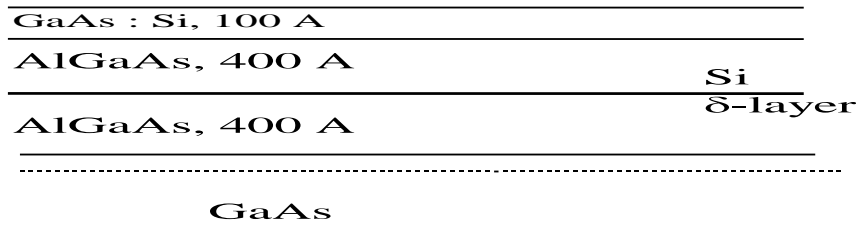
легированный акцепторами AlGaAs – 10 нм, $N_a = 10^{15} \text{ cm}^{-3}$

легированный акцепторами AlGaAs – 100 нм, $N_a = 10^{18} \text{ cm}^{-3}$

нелегированный AlGaAs – 10 нм

легированный донорами GaAs – 500 нм, $N_d = 10^{16} \text{ cm}^{-3}$

2. Нарисовать зонную структуру многослойной системы, показанной ниже.



без учета пиннинга уровня Ферми и с учетом него.

3. Вывести формулу для сопротивления баллистической проволоки, если она сделана из трехмерного металла таким образом, что движение электрона в проволоке остается трехмерным.

Задание 2

1. В двумерном электронном газе с концентрацией N_s заполнено n уровней Ландау. Чему равно магнитное поле? Что изменится в системе если увеличить эффективную массу электронов в два раза?

2. Двумерный электронный газ с концентрацией $N_s = 10^{11} \text{ cm}^{-2}$ помещен в магнитное поле 10 Т. Чему равен фактор заполнения уровня Ландау?

3. Взяли холловский мостик размером 1 мм на 0.1 мм. Оказалось, что в режиме квантового эффекта Холла холловское сопротивление при магнитном поле 2 Т равно $h/7e^2$. Определить из этих данных число электронов в образце.

4. МОП-транзистор, имеющий емкость диэлектрика $5 \cdot 10^{-8} \text{ ф/см}^2$ и пороговое напряжение 0.5 В, погрузили в жидкий гелий и измерили проводимость в зависимости от затворного напряжения при магнитном поле 5 Т. Как будет выглядеть измеренная кривая?

5. Если взять проводящий двумерный канал в виде диска Корбино, как показано на рисунке, что будет измеряться в условиях квантового эффекта Холла?

Вопросы на экзамен:

1. Особенности экранирования в двумерной системе.
2. Основные характеристики размерного квантования в квантовых слоях и ямах.
3. Закон дисперсии плазменных колебаний в двумерной электронной системе.
4. Решение системы уравнений Шредингера и Пуассона в ОПЗ. Случай кремния.
5. Классификация низкоразмерных электронных систем.
6. Особенности осцилляций Шубникова-Де Гааза в двумерном электронном газе
7. Свойства сверхрешетки в электрическом поле.
8. Особенности энергетического спектра размерно-квантованной системы
9. Отличительны особенности проводимости двумерного электронного газа
10. Классификация сверхрешеток. Композиционные сверхрешетки.
11. Свойства двумерной Ферми системы.
12. Особенности рассеяния двумерных электронов
13. Основные особенности энергетического спектра сверхрешеток

14. Классификация модулированных полупроводниковых структур.
15. Энергетический спектр двумерных электронов в магнитном поле.
16. Расчет коэффициента поглощения на оптических переходах между подзонами размерного квантования.
17. Результаты решения уравнения Пуассона для ОПЗ полупроводника в приближении Томаса-Ферми.
18. Поведение диссипативной и холловской компонент сопротивления двумерного электронного газа в режиме квантового эффекта Холла.
19. Формулировка приближения эффективной массы в задаче о размерном квантовании.
20. Получение и основные свойства двумерного электронного газа в гетеропереходе Al-GaAs/GaAs.
21. Основные свойства легированных сверхрешеток.
22. Особенности системы уравнений Шредингера и Пуассона для ОПЗ в гетеропереходе Al-GaAs/GaAs
23. Основные особенности рассеяния двумерных электронов на примесях
24. Вывод формулы Резерфорда для двумерного случая
25. Описание гальваномагнитных явлений в двумерном случае.
26. Условия существования квантования кондактанса баллистической проволоки.
27. Получение энергетического спектра одномерной сверхрешетки в приближении слабой и сильной связи.
28. Роль взаимодействия в свойствах двумерных электронов. Условия существования вигнеровского кристалла.
29. Особенности рассеяния на удаленной примеси. Получение двумерного электронного газа с высокой подвижностью
30. Механизм возникновения отрицательной дифференциальной проводимости в сверхрешетке.
31. Особенности энергетического спектра примеси в квантовой яме.

Пример билета на экзамен

1. Рассеяние двумерных электронов на шероховатостях.
2. Сверхрешётка в электрическом поле.

Оценочные материалы по промежуточной аттестации, предназначенные для проверки соответствия уровня подготовки по дисциплине требованиям СУОС, хранятся на кафедре-разработчике РПД в печатном и электронном виде.

**Лист актуализации рабочей программы
по дисциплине «Физика полупроводниковых тонких слоёв
и низкоразмерных систем 2»
по направлению подготовки 03.03.02 Физика
Профиль «Общая и фундаментальная физика»**

№	Характеристика внесенных изменений (с указанием пунктов документа)	Дата и № протокола Учёного совета ФФ НГУ	Подпись ответственного