Краткая версия программы учебной дисциплины

|  |  |
| --- | --- |
| Название дисциплины | *Основы наноэлектроники и ван дер ваальсовых материалов* |
| Где проводится | ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН, Моховая ул., д. 11 корп. 7 |
| Автор программы | Еналдиев Владимир Викторович, к. физ.-мат. наук, с.н.с. ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН |
| Курс | 1-ый курс магистратуры |
| Модули | 1-ый и 2-ой модули |
| Объём курса | 1 лекция в неделю |
| Элементы контроля | экзамен |

# 1. АННОТАЦИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

# Курс посвящен изучению основ наноэлектроники и ван дер ваальсовых материалов. В курсе рассматриваются следующие разделы: Низкоразмерные полупроводниковые структуры: квантовые ямы, проволоки и точки. Баллистическая проводимость одномерных каналов. Точечные контакты двух проводников. Мезоскопические флуктуации проводимости, эффект Ааронова-Бома, понятие о слабой локализации. Туннелирование и резонансно-туннельные структуры. Сканирующий туннельный микроскоп. Кулоновская блокада резонансного туннелирования. Целочисленный квантовый эффект Холла. Электрооптические свойства графена и других ван дер ваальсовых материалов. Ван дер ваальсовые гетероструктуры. Сверхрешетка муара.

# 2. ЦЕЛЬ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ «Основы наноэлектроники и ван дер ваальсовых материалов»:

* изучение физических законов, принципов работы и методик расчета наноразмерных приборов на основе полупроводниковых гетероструктур и новых материалов

**3. ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ**

- иметь представление о низкоразмерных электронных системах, ван дер ваальсовых материалах и основах современной теории электронных явлений в них.

- иметь представление о электронных и оптических свойствах ван дер ваальсовых материалов.

- понимать методы и подходы для описания мезоскопических интерференционных эффектов, туннелирования, резонансно-туннелирования, кулоновской блокады туннелирования.

- уметь использовать формализм Ландауэра-Бюттикера для расчета характеристик одномерных проводников.

**4. СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ «ФИЗИКА МЯГКОЙ МАТЕРИИ»:**

* Введение. Низкоразмерные электронные системы в полупроводниковых гетероструктурах: квантовые ямы, квантовые проводоки, квантовые точки. Методы роста полупроводниковых структур. Спектр и плотность состояний в 2D, 1D и 0D электронных системах. Баллистическая проводимость одномерных каналов. Формализм Ландауэра–Бюттикера. Точечный контакт двух проводников. Сканирующий туннельный микроскоп.
* Туннельные явления в низкоразмерных структурах. Вероятность туннелирования под барьером. Метод матриц переноса. Резонансное туннелирование в структурах с двойным барьером и квантовой точками. Кулоновкая блокада туннелирования и одноэлектронный транзистор.
* Мезоскопические явления. Интерференция электронных волн: аналогия между оптикой и квантовой электроникой. Квантово интерференционные эффекты в системах с беспорядком. Влияние магнитного поля и эффект Ааронова-Бома в квантовых кольцах и точках.
* Слабая и сильная локализация в низкоразмерных системах с беспорядком. Рассеяние назад в когерентных проводниках с беспорядком. Уравнение диффузии и его решение. Коэффициент и длина диффузии. Квантово-интерференционные поправки к проводимости систем с беспорядком. Подавление локализации магнитным полем.
* Целочисленный квантовый эффект Холла (ЦКЭХ). Квантование уровней массивных и безмассовых фермионов в однородном магнитном поле. Кратность вырождения уровней Ландау. Квантование поперечного сопротивления в условиях ЦКЭХ.
* Графен и другие ван дер ваальсовы материалы. Графен, дихалькогениды переходных металлов. Решетка, электронный спектр, киральность, фаза Берри. Электронные и оптические свойства графена и дихалькогенидов переходных металлов. Влияние деформаций. Ван дер ваальсовые гетероструктуры. Муаровая сверхрешетка и ее релаксация.

# 5. ЭЛЕМЕНТЫ КОНТРОЛЯ И ПРАВИЛА ОЦЕНИВАНИЯ

## В конце первого и второго модулей будут проведены контрольная работа и устный зачет. Контрольные работы будут состоять в письменном решении задач, аналогичных разобранным в курсе лекций. Устный зачет состоит в объяснении одного случайного пункта из программы.

## За каждую контрольную работу и устный зачет можно получить от 0 до 2 баллов: 2 балла - задача решена и объяснена полностью правильно, 1.5 балла - решена, но с недочетами, 1 балл - задача решена, но существенными недочетами, 0.5 балла - задача не решена, но есть попытка решения или ответа на вопрос, 0 баллов - задача не решена и нет конструктивных попыток её решения. Итоговая оценка находится как сумма всех баллов за контрольные работы и зачеты плюс 2 балла.

## 6. Примеры заданий элементов контроля

*Задача.* Найти матрицу переноса и матрицу рассеяния для одномерного движения с дельта-потенциалом в качестве рассеивателя. Найти проводимость структуры.

*Задача.* Качественно описать эффект кулоновской блокады и условия его возникновения.

*Задача.* Сверхрешетка муара и её период. Качественно описать причины формирование мини-зон.

# 7. РЕКОМЕНДОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА И ССЫЛКИ ПО ТЕМЕ

## 7.1. Основной список

## 1. В. Я. Демиховский, Г.А. Вугальтер «Физика низкоразмерных структур». М., Логос, 2000, 248 стр.

## 2. M. I. Katsnelson, «The physics of graphene». 2nd ed., Cambridge university press, 2020, 425 стр.

## 7.2. Дополнительный список

1. «Туннельные явления в твердых телах» ред. Э. Бурштейн, С. Лундквист. изд. М.: Мир, 1972, 422 стр.
2. Дж. Займан «Принципы теории твердого тела», изд. М.: Мир, 1974. 472 стр