

Аннотации рабочих программ дисциплин  
по программе аспирантуры

Направление подготовки  
*03.06.01 Физика и астрономия*

Направленность (профиль) программы  
*01.04.01 Приборы и методы экспериментальной физики*

начало обучения - 2018 г.

## Оглавление

История и философия науки .....	3
Иностранный язык (английский) .....	4
Педагогика и психология высшей школы .....	6
Приборы и методы экспериментальной физики .....	8
Физика поверхности .....	10
Туннельные явления в нанофизике .....	12
Физика магнетизма .....	13
Физика конденсированного состояния .....	14
Структурный анализ твердого тела .....	15
Теория сверхпроводимости .....	17
Физика полупроводников .....	18
Основы полупроводниковой технологии .....	20

---

## **История и философия науки**

Дисциплина «История и философия науки» является дисциплиной базовой части программы 01.04.01 «Приборы и методы экспериментальной физики» в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки 03.06.01 «Физика и астрономия».

В рамках курса анализируется проблема возникновения науки, изучается социальный контекст развития науки, генезис и развитие дисциплинарной структуры научного знания, её современное состояние; изучается тождество и различие естественнонаучного, социально-гуманитарного и технического знания, анализируются основные механизмы и современные проблемы научной познавательной деятельности.

Дисциплина изучается на 1 курсе (1 и 2 семестры).

Общая трудоемкость (объем) дисциплины составляет 4 зачетных единиц, 144 часа.

Итоговый контроль осуществляется на экзамене.

### **Целями освоения дисциплины являются:**

формирование у аспирантов

- навыков эффективного использования современной методологии науки в конкретном научном исследовании;
- осознания органичной связи, существующей между философией и конкретными науками;
- умения экстраполировать методы научного познания из одной области научного познания в другую;
- навыков оценки социальных последствий результатов научной деятельности;
- навыков использования в ходе конкретного научного исследования основных механизмов познавательной деятельности;
- формирование у аспирантов компетенций программы 01.04.01 «Приборы и методы экспериментальной физики» в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки 03.06.01 «Физика и астрономия».

### **Краткая характеристика дисциплины.**

Дисциплина «История и философия науки» состоит из следующих разделов:

Предмет и основные концепции современной философии науки. Наука в культуре современной цивилизации. Возникновение науки и основные стадии её исторической эволюции. Структура научного знания.

Динамика науки как процесс порождения научного знания. Научные традиции и научные революции. Типы научной рациональности. Особенности современного этапа развития науки. Перспективы технологической революции. Наука как социальный институт.

Философско-методологические и исторические проблемы математизации знания. Место физики, математики и механики в системе научного знания. Философско-методологические аспекты понятия сложности. «Козволюция» вычислительных средств и научных методов.

---

## **Иностранный язык (английский)**

Дисциплина «Иностранный язык (английский)» является дисциплиной базовой части программы 01.04.01 «Приборы и методы экспериментальной физики», в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки 03.06.01 «Физика и астрономия».

Подготовка по иностранному языку в аспирантуре, с одной стороны, должна обеспечить взаимосвязь всех предыдущих этапов обучения системы «школа-бакалавриат-магистратура-аспирантура», а с другой, носить автономный характер и соответствовать пороговому продвинутому уровню, а в отдельных компетенциях приближаться к высокому уровню в соответствие с уровнями шкалы Совета Европы.

По окончании обучения аспиранты должны владеть орфографической, орфоэпической, лексической, грамматической и стилистической нормами изучаемого языка в пределах программных требований и правильно использовать их во всех видах речевой коммуникации, в научной сфере в форме устного и письменного общения.

Дисциплина изучается на 1 курсе (1 и 2 семестры).

Общая трудоемкость (объем) дисциплины составляет 5 зачетных единиц, 180 часов.

Итоговый контроль осуществляется на экзамене.

### **Целями освоения дисциплины являются:**

формирование у аспирантов

- способности использовать иноязычные компетенции при создании и реализации траектории интеллектуального, культурного и нравственного саморазвития;
- способности применять иноязычные компетенции при анализе и оценке информации при решении профессиональных задач;
- способности активировать иноязычные знания и умения при работе с электронными библиотеками, коллекциями и документацией;
- способности более полно и адекватно осуществлять поиск информации о новейших научных и технологических достижениях в сети Интернет на основе активного пользования иноязычными умениями и навыками;
- способности восприятия и анализа логики языковых явлений;
- способности логично, аргументировано и нормативно строить устную и письменную речь на иностранном языке;
- способности владеть моделями иноязычной вербализации основных смысловых структур, основными навыками и умениями дискуссии и полемики;
- способности самостоятельно приобретать новые языковые знания и умения;
- способности взаимодействовать и сотрудничать с профессиональными сетевыми сообществами и международными консорциумами, отслеживать динамику развития выбранных направлений в своей профессиональной области, активно используя при этом иноязычные речевые умения;
- способности понимать концепции синтаксической и семантической организации электронных форм коммуникации, в том числе основываясь на иноязычных знаниях;
- повышения уровня учебной автономии и развития когнитивных и исследовательских умений.
- способности нормативно и грамотно строить собственные высказывания и адекватно понимать устную и письменную речь в учебном пространстве и реальной коммуникации на иностранном языке;
- способности развивать и совершенствовать иноязычные компетенции в различных видах речевой деятельности (говорении, аудировании, чтении, письме), эффективно используя систему иноязычной предикативности;

- способности переносить полученные иноязычные речевые навыки и умения в новую коммуникативную ситуацию;
- способности видеть противоречия и несоответствия в моделях предикативности родного и английского языков;
- способности самостоятельно пользоваться учебными, справочными и оригинальными аутентичными иноязычными источниками для совершенствования иноязычной компетенции и повышения уровня владения неродным языком;
- способности восполнять в процессе общения недостаточность знания иностранного языка, а также речевого и социального опыта общения на нем (компенсаторная компетенция).
- способности нормативно и грамотно строить собственные высказывания и адекватно понимать устную и письменную речь в учебном пространстве и реальной коммуникации на иностранном языке;
- способности развивать и совершенствовать иноязычные компетенции в различных видах речевой деятельности (говорении, аудировании, чтении, письме), эффективно используя систему иноязычной предикативности;
- способности переносить полученные иноязычные речевые навыки и умения в новую коммуникативную ситуацию;
- способности видеть противоречия и несоответствия в моделях предикативности родного и английского языков;
- способности самостоятельно пользоваться учебными, справочными и оригинальными аутентичными иноязычными источниками для совершенствования иноязычной компетенции и повышения уровня владения неродным языком;
- способности восполнять в процессе общения недостаточность знания иностранного языка, а также речевого и социального опыта общения на нем (компенсаторная компетенция).
- способности формировать суждения о значении и последствиях своей профессиональной деятельности с учетом социальных, профессиональных и этических задач в частном и глобальном контекстах профессиональной деятельности при непосредственном использовании иноязычных знаний и компетенций;
- уважительного и бережного отношения к историческому наследию и культурным традициям различных стран и толерантное восприятие социальных и культурных различий;
- формирование комплекса умений, необходимых для корректного использования иноязычных источников информации;
- формирование у аспирантов универсальных компетенций программы 01.04.01 «Приборы и методы экспериментальной физики», в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки 03.06.01 «Физика и астрономия».

### **Краткая характеристика дисциплины.**

Дисциплина «Иностранный язык (английский)» состоит из следующих разделов:

“About myself.” “Why have I chosen a career of a scientist?” “Famous scientists in physics”. “Recent achievements in physics”.

Члены предложения, порядок слов в английском предложении. Случаи отступления от прямого порядка слов. Существительное. Функции существительного в предложении. Слова-заместители. Прилагательные и наречия. Их роль в предложении. Степени сравнения.

Глагол. Времена английского глагола. Согласование времен. Модальные глаголы и их эквиваленты. Неличные формы глагола. Предлоги, фразовые глаголы. Инфинитив. Функции инфинитива в предложении.

E-mailing. Реферирование литературы по специальности. Аннотирование литературы по специальности. Создание текста к слайдам презентации.

Перевод предложений с иностранного языка на родной язык. Перевод текста монографии на русский язык.

---

## **Педагогика и психология высшей школы**

Дисциплина «Педагогика и психология высшей школы» является дисциплиной базовой части программы 01.04.01 «Приборы и методы экспериментальной физики», в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки 03.06.01 «Физика и астрономия».

Дисциплина «Педагогика и психология высшей школы» позволяет обеспечить базовую психолого-педагогическую подготовку аспирантов. Актуальность изучения психологии и педагогики заключается в том, что аспиранту: необходимо ориентироваться в основных психолого-педагогических проблемах и квалифицированно решать конкретные жизненные ситуации, так как университеты всегда решали задачу подготовки не только научных работников, специалистов в конкретных областях деятельности, но и педагогических кадров для вузов страны.

Программа призвана обеспечить базовую теоретическую и практическую психолого-педагогическую подготовку аспирантов:

1. Овладение теоретическими знаниями в области психологии и педагогики;
2. Формирование умений использовать полученные психолого-педагогические знания для решения конкретных жизненных ситуаций, проблем межличностных отношений в коллективе, регуляции неблагоприятных эмоциональных состояний, понимания самого себя, индивидуальных особенностей людей и др.;
3. Развитие навыков применения психолого-педагогических закономерностей в различных областях человеческой деятельности и поведении;
4. Получение знаний и первичных умений организации учебно-познавательной деятельности студентов в учебных заведениях среднего и высшего звена системы образования;
5. Владение современными образовательными технологиями, способами организации учебно-познавательной деятельности, формами и методами контроля качества образования.

Дисциплина изучается на 2 курсе (4 семестр).

Общая трудоемкость (объем) дисциплины составляет 3 зачетных единиц, 108 часа.

Итоговый контроль осуществляется на экзамене.

### **Целями освоения дисциплины являются:**

формирование у аспирантов

- умения участвовать в профессиональных дискуссиях и обсуждениях, логически аргументируя свою точку зрения;
- навыков выстраивания социальных взаимодействий на принципах толерантности в профессиональной и общесоциальной деятельности;
- способности учиться в течение всей жизни, самосовершенствоваться и саморазвиваться на основе рефлексии собственной деятельности;
- способности проектировать, планировать свою образовательную деятельность ориентируясь на конечные цели подготовки выпускника, определяемые требованиями ФГОС, компетентностной моделью выпускника данного учебного заведения;
- способности анализировать и проектировать содержание обучения в соответствии с конечными и промежуточными целями обучения как конкретной учебной дисциплины

так системной совокупностью учебных дисциплин, обеспечивающих достижение универсальных и профессиональных компетенций выпускника;

- способности использовать современные инновационные методы и технологии в проектировании образовательной работы, критически оценивая степень целесообразности, условия и границы применимости новых педагогических и информационных технологий для решения проблем в собственной педагогической деятельности;
- способности проводить анализ и обобщение собственной образовательной деятельности и деятельности коллег (педагогическая рефлексия)
- способности использовать и разрабатывать методы, целостные процедуры и инструментарий психолого-педагогической диагностики для выявления уровня развития соответствующих компетенций обучающихся;
- способности определять и создавать условия, способствующие продуктивной рефлексивной деятельности всех субъектов образовательного процесса;
- способности оценивать и стимулировать уровень мотивации обучаемых;
- способности владеть основами современных психолого-педагогических теорий, позволяющих проектировать и успешно реализовывать учебно-воспитательную деятельность;
- способности владеть психолого-педагогическим инструментарием для организации и проведения занятий в активной и личностно-ориентированной форме (современными педагогическими технологиями, включая оценочные процедуры);
- умения активно адаптируясь к меняющимся условиям проектировать учебные занятия и воспитательные мероприятия;
- умения демонстрировать возможность проведения спроектированного занятия, мероприятия;
- навыков использования базовых составляющих современной психолого-педагогической теории;
- понимания основных направления государственной политики в области образования;
- навыков использования современных подходов к организации занятий с использованием активных методов обучения (современных педагогических технологий);
- навыков использования и понимания целесообразности использования мультимедийных средств в образовательном процессе;
- формирование у аспирантов универсальных компетенций программы 01.04.01 «Приборы и методы экспериментальной физики», в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки 03.06.01 «Физика и астрономия».

### **Краткая характеристика дисциплины.**

Дисциплина «Педагогика и психология высшей школы» состоит из следующих разделов:

Становление психологии как науки. Предмет психологии. Понятийный и терминологический аппарат психологии. Специфический характер психологических феноменов. Определение психики. Виды и способы получения психологического знания (самонаблюдение, объективное наблюдение, экспериментальный метод, естественный эксперимент)

Мозг и психика. Эволюционное развитие психики. Соотношение сознательного и бессознательного. Категория сознания в психологии. Язык и сознание. Гипотеза лингвистической относительности. Развитие индивидуального сознания. Категориальная сетка сознания. Моделирование как способ отражения действительности в сознании человека. Единство объекта и окружения. Циркадные ритмы

Познавательные психические процессы (ощущение, восприятие, представление, память, воображение, мышление, внимание). Познавательная роль ощущений и

восприятий. Когнитивный диссонанс. Понятие о памяти. Непроизвольное и произвольное запоминание. Кратковременная и долговременная память. Типы мышления. Процессы аналитико – синтетической мыслительной деятельности (анализ и синтез, сравнение, абстрагирование, обобщение). Виды и свойства внимания. Эмоции (формы и функции). Двойственная природа эмоций

Понятие о личности и её структуре. Устойчивость и изменчивость личности. Социализация личности. Проблема способностей в психологии. Я - концепция личности. Социальная зрелость личности. Акцентуации характера. Характер и темперамент Эмоции. Виды эмоциональных состояний

Категория деятельности в психологии. Макроструктура деятельности. Внутренняя структура деятельности. Психическая регуляция поведения и деятельности. Мотивация деятельности. Профессиональная мотивация. эвристическая мыслительная деятельность. коллективное творчество

Общение как категория психологии. Групповые отношения и взаимодействия. Межличностные отношения. Конфликтные отношения в группе. Методика диагностики социально-психологического климата коллектива. Методика оценки способов реагирования в конфликте

Истоки происхождения педагогики и этапы ее развития. Общекультурное значение педагогики. Педагогика как наука о воспитании. Закономерности развития человека. Способы воспитательного воздействия на человека Влияние наследственности. Способности. Дети – индиго как социокультурный феномен. Влияние среды. Семья как субъект педагогического взаимодействия и социокультурная среда воспитания и развития личности Модели и стили воспитания. Принципы воспитания. Методы и формы воспитания.

Закономерности и этапы педагогического процесса. Методы и формы обучения. Классификация методов. Функции методов. Содержание методов. Выбор методов. Факторный анализ в дидактике. Комплексное влияние факторов

Система дидактических принципов (сознательности и активности, наглядности обучения, систематичности и последовательности, прочности, доступности, научности, связи теории с практикой)

Болонский процесс. Система образования в РФ. Закон об образовании. Федеральные государственные образовательные стандарты. Потребности и стимулы. Современные зарубежные педагогические концепции

Образование как способ вхождения человека в мир науки и культуры. Образование как система и процесс. Цели, содержание и структура непрерывного образования. Анализ и проектирование содержания обучения. Индивидуальные образовательные маршруты.

Педагогические задачи. Педагогические ситуации. Мотивация профессиональной деятельности. Методологическая культура педагога. Методы, технологии, инструментарий оценки и диагностики степени достижения целей обучения.

---

## **Приборы и методы экспериментальной физики**

Дисциплина «Приборы и методы экспериментальной физики» является обязательной дисциплиной вариативной части программы 01.04.01 «Приборы и методы экспериментальной физики».

Для успешного усвоения курса аспиранту необходимо знание общих курсов физики и математики, ряда разделов теоретической физики (электродинамика, статистическая физика), физики твердого тела, твердотельной электроники. Данный курс является базой для выполнения аспирантами экспериментальных исследований в области твердотельных наноструктур.

Дисциплина изучается на 2 курсе (4 семестр) и 3 курсе (6 семестр).  
Общая трудоемкость (объем) дисциплины составляет 6 зачетных единиц, 216 часов.  
Промежуточный контроль осуществляется на зачете, итоговый – на экзамене.

**Целями освоения дисциплины являются:**

- формирование у аспирантов представления о современных экспериментальных методиках, широко используемых исследователями в различных разделах физики твердого тела;
- формирование у аспирантов в ходе лекционных и практических занятий умения выбирать адекватный экспериментальный метод, соответствующий поставленной задаче физики твердого тела;
- формирование у аспирантов компетенций программы 01.04.01 «Приборы и методы экспериментальной физики», в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки 03.06.01 «Физика и астрономия».

**Краткая характеристика дисциплины.**

Дисциплина «Приборы и методы экспериментальной физики» состоит из следующих разделов:

Методы получения низких температур. Холодильные циклы и конструкции азотных и гелиевых ожижителей. Получение температур ниже 1К (использование He<sup>3</sup>, метод адиабатического размагничивания). Устройство и принцип работы криостатов замкнутого цикла.

Свойства жидкого He<sup>4</sup> и его использование в низкотемпературном эксперименте. Техника низкотемпературного эксперимента, устройство и принципы работы криостатов.

Методы низкотемпературной термометрии. Первичные и вторичные термометры. Международные и национальные температурные шкалы. Металлические и полупроводниковые термометры сопротивления. Термопары.

Получение сильных магнитных полей с помощью соленоидов. Расчет магнитного поля на оси соленоида. Использование сверхпроводников для получения сильных магнитных полей. Импульсные магнитные поля.

Основные принципы конструирования гелиевых криостатов. Тепловые экраны. Оптимизация тоководов для сверхпроводящих соленоидов.

Естественные пределы измерений. Шумы в измерительных устройствах. Фазочувствительное (синхронное) детектирование. Улучшение отношения сигнал/шум при синхронном детектировании. Использование фильтров низкой и высокой частоты. Аналоговые и цифровые синхродетекторы.

Использование импульсной техники в физических измерениях. Стробоскопический анализ сигналов. Использование цифровых осциллографов для анализа импульсных сигналов.

Приемники электромагнитного излучения и их основные характеристики. Тепловые и фотоэлектрические приемники. Ограничение обнаружительной способности флуктуациями фонового излучения.

---

## Физика поверхности

Дисциплина «Физика поверхности» является обязательной дисциплиной вариативной части программы 01.04.01 «Приборы и методы экспериментальной физики».

Для успешного усвоения курса аспиранту необходимо знание общих курсов физики и математики, квантовой механики, статистической физики и электродинамики. Данный курс является базой для выполнения аспирантами исследований в области твердотельных наноструктур и тонких пленок.

Дисциплина изучается на 1 курсе (1 семестр).

Общая трудоемкость (объем) дисциплины составляет 3 зачетных единиц, 108 часов.

Итоговый контроль осуществляется на зачете.

### Целями освоения дисциплины являются:

- формирование у аспирантов современного представления об основных явлениях и эффектах, связанных с ограниченностью твердых тел;
- ознакомление аспирантов с основными теоретическими подходами для описания свойств поверхности твердого тела и интерфейсов;
- ознакомление аспирантов с основными экспериментальными методами для изучения электрофизических свойств поверхности твердых тел;
- формирование у аспирантов компетенций программы 01.04.01 «Приборы и методы экспериментальной физики», в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки 03.06.01 «Физика и астрономия».

### Краткая характеристика дисциплины.

Дисциплина «Физика поверхности» состоит из следующих разделов:

Уравнения Максвелла в веществе. Диэлектрическая проницаемость газа свободных электронов. Плазменная частота. Скин-эффект. Условие существования поверхностной электромагнитной волны на границе раздела металл – диэлектрик. Структура и дисперсионная характеристика поверхностного плазмона – поляритона. Приложения.

Трехмерные и двумерные кристаллические структуры. Вектора основных трансляций. Индексы Миллера атомных плоскостей кристалла. Индексы направлений. Низкоиндексные плоскости некоторых важных. Сингулярные и вицинальные поверхности. Обратная решетка и зона Бриллюэна. Матричная запись структуры поверхности. Запись Вуда. Примеры двумерных решеток (реконструированные поверхности, поверхности с адсорбатами, вигнеровские кристаллы, вихревые решетки). Структурные дефекты кристаллов.

Электронные волны в однородном неограниченном кристалле. Разрешенные и запрещенные зоны. Структура волновой функции на границе первой зоны Бриллюэна. Поверхностные электронные состояния в модели свободного электронного газа. Интерференция поверхностных электронных состояний вблизи дефектов и восстановление спектра поверхностных квазичастиц.

Число разрешенных состояний в одномерной цепочке атомов. Заполнение состояний в цепочке двухвалентных и одновалентных атомов. Удвоение периода и структурный фазовый переход Пайерлса. Перестройка энергетического спектра и появление энергетической щели. Невозможность существования одномерных металлов при низких температурах. Волны зарядовой плотности.

Функционал свободной энергии сверхпроводника. Уравнения Гинзбурга–Ландау. Два характерных масштаба – длина когерентности и глубина проникновения магнитного поля. Эффект Мейсснера. Энергия границы раздела сверхпроводник – нормальный металл. Сверхпроводимость 1-го и 2-го рода. Зарождение сверхпроводимости в неограниченном кристалле. Верхнее критическое поле  $H_{c2}$ . Зарождение сверхпроводимости в полуограниченном кристалле с плоской поверхностью.

Поверхностная (прикраевая) сверхпроводимость. Критическое поле поверхностной сверхпроводимости  $H_{c3}$ . Наноструктурированные сверхпроводники.

Зачем нужен вакуум? Принципы работы насосов различных типов. Методы измерения уровня вакуума. Приготовление атомарно-чистых поверхностей. Техника напыления в вакууме.

Рассеяние электронов на неоднородном электрическом потенциале. Задача рассеяния в дифференциальной и интегральной формах. Борновское приближение. Рассеяние на изолированном атоме. Рассеяние на кристаллической структуре. Условия дифракции Лауэ в трехмерном, двухмерном и одномерном случаях. Построение Эвальда в трехмерном и двумерном случаях. Дифракция медленных электронов (ДМЭ): построение Эвальда, аппаратура для регистрации, типичные результаты. Сверхструктура и суперрефлексы. Примеры восстановления структуры поверхности по ДМЭ-изображению. Дифракция быстрых электронов (ДБЭ): построение Эвальда, аппаратура для регистрации, типичные результаты. Примеры восстановления структуры поверхности по ДБЭ-изображению. Искажения дифракционной картины из-за структурных дефектов поверхности. Фактор Дебая-Валлера. Линии Кикучи.

Туннельный эффект. Задача рассеяния и оценка туннельного тока для плоскостной структуры. Метод туннельного матричного элемента. Задача Терсоффа–Хаманна. Связь туннельной проводимости и локальной плотности электронных состояний. Основные компоненты и принцип работы сканирующего туннельного микроскопа. Артефакты туннельных изображений и методы их устранения. Сканирующая туннельная спектроскопия.

Спин-зависящее туннелирование и спин-поляризованная туннельная микроскопия. Атомно-силовая микроскопия и спектроскопия. Магнитно-силовая микроскопия и спектроскопия.

Фотоэлектрический эффект. Фотоэлектронная спектроскопия с угловым разрешением. Примеры восстановления зонной структуры кристалла по данным ARPES.

Примеры релаксированных и реконструированных поверхностей металлов. Поверхности с нормальной и латеральной релаксацией Al(110) и Fe(211), с квазигексагональной реконструкцией Pt(100), с реконструкцией типа missing-row Pt(110), с реконструкцией типа herring-bone Au(111).

Примеры реконструированных поверхностей полупроводников. Поверхности графита C(0001) и графена. Поверхность Si(100): естественная структура  $1 \times 1$ , реконструкция  $2 \times 1$  и  $c(4 \times 2)$ . Поверхность Si(111): естественная структура  $1 \times 1$  и реконструкции  $2 \times 1$  и  $7 \times 7$ . DAS-модель. Поверхность Ge(111): реконструкции  $2 \times 1$ ,  $2 \times 2$ ,  $c(2 \times 4)$  и  $c(2 \times 8)$ . Поверхности GaAs(100) и GaAs(111).

Примеры интерференции поверхностных квазичастиц на поверхности благородных металлов Au(111), Ag(111), Cu(111); топологических изоляторов  $\text{Bi}_2\text{Se}_3$ , кристаллов высокотемпературных сверхпроводников  $\text{BiSrCaCuO}$ .

Терминология: адсорбция, десорбция, физическая адсорбция и хемосорбция; поверхностная фаза; гомо- и гетероэпитаксия; покрытие. Примеры поверхностей с адсорбатами.

Основные термодинамические потенциалы. Поверхностное натяжение. Равновесная форма кристаллов. Теорема Вульфа. Огранка кристаллов. Переход порядок – беспорядок.

Каноническое распределение Гиббса. Решеточные модели типа Изинга. Статистическая сумма для двумерного решеточного газа в условиях заданной температуры и химического потенциала. Приближение среднего поля. Связь покрытия и химического потенциала. Условия равновесия двух фаз и область устойчивости. Правило Максвелла. Оценка покрытия для плотной и разреженной фаз. Спинодаль. Изотермы адсорбции Лэнгмюра и Хилла – де Бура. Смачивание. Краевой угол.

Модель Френкеля – Конторовой формирования соизмеримых и несоизмеримых структур. Солитоны. Дислокации несоответствия. Псевдоморфный рост.

Механизмы и стадии роста. Элементарные процессы на поверхности твердого тела. Основы теории нуклеации Беккера – Дёринга – Зельдовича – Френкеля. Независимый рост островков. Оствальдовское созревание, модель Лифшица-Слёзова. Коалесценция островков, модель Колмогорова.

Сильно неравновесные системы и спинодальный распад.

Поверхностная диффузия. Механизмы поверхностной диффузии. Методы исследования.

---

## **Туннельные явления в нанофизике**

Дисциплина «Туннельные явления в нанофизике» является обязательной дисциплиной вариативной части программы 01.04.01 «Приборы и методы экспериментальной физики».

Для успешного усвоения курса аспиранту необходимо знание общих курсов физики и математики, квантовой механики, статистической физики и электродинамики, физики твердого тела. Данный курс является базой для выполнения аспирантами исследований в области твердотельных наноструктур.

Дисциплина изучается на 1 курсе (1 семестр).

Общая трудоемкость (объем) дисциплины составляет 3 зачетных единиц, 108 часов.

Итоговый контроль осуществляется на зачете.

**Целями освоения дисциплины являются:**

- формирование у аспирантов современного представления об основных свойствах твердотельных структур с туннельной связью;
- формирование у аспирантов компетенций программы 01.04.01 «Приборы и методы экспериментальной физики», в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки 03.06.01 «Физика и астрономия».

**Краткая характеристика дисциплины.**

Дисциплина «Туннельные явления в нанофизике» состоит из следующих разделов:

Цели и задачи курса. Описание электронных волн в твердых телах с помощью уравнения Шредингера. Обсуждение аналогии между туннельным эффектом в квантовой механике и непропусканием в средах с мнимым волновым вектором (полное внутреннее отражение). Граничные условия для волновой функции. Матричная форма записи связи амплитуд распространяющихся мод в областях с постоянным потенциалом. Основные свойства матрицы рассеяния. Основные свойства трансфер-матрицы. Обсуждение основных одноэлектронных и многоэлектронных задач туннелирования в твердых телах. Расчет коэффициентов отражения и прохождения от прямоугольного потенциального барьера. Расчет уровней размерного квантования частицы в одномерной прямоугольной потенциальной яме конечной высоты. Резонансное туннелирование через двухбарьерную структуру, форма линии резонансного прохождения (Брейта-Вигнера). Уровни размерного квантования в туннельно-связанных потенциальных ямах. Представление о времени туннелирования. Туннельный эффект в одномерных периодических структурах (задача Кронига-Пенни). Зонный спектр.

Приближение Вентцеля-Крамерса-Бриллюэна и его область применимости. Свойства волновой функции вблизи точки поворота (связь осциллирующих и затухающих решений). Метод Миллера и Гуда. Расчет коэффициентов отражения и прохождения частицы через параболический потенциальный барьер. Расчет коэффициентов отражения и прохождения частицы через потенциальный барьер произвольной формы, сравнение с точным решением. Спектр состояний частицы, локализованной в одномерной

потенциальной яме произвольного вида. Формула квантования Бора-Зоммерфельда. Расчет спектров состояний для частицы, локализованной в связанных потенциальных ямах.

Определение квазистационарных состояний. Связь скорости распада с прозрачностью туннельного барьера. Распад квазистационарных состояний в двухбарьерном потенциале. Распад квазистационарных состояний в сферически-симметричном потенциале. Альфа-распад, формула Гамова.

Вывод общего выражения для туннельного тока в плоскостной структуре «нормальный металл – изолятор – нормальный металл», связь полученного выражения с формулой Ландауэра. Расчет туннельного тока между нормальными металлами в приближении эффективной массы для случаев малых и больших смещений.

Туннельная проводимость и закон Ома. Холодная полевая эмиссия и формула Фаулера-Нордхейма. Расчет туннельного тока между нормальными металлами через уровни размерного квантования двумерного электронного газа (резонансно-туннельный диод). Принцип работы электронного эмиссионного микроскопа. Принцип работы сканирующего туннельного микроскопа. Задача о туннельном токе между монокристаллом с плоской поверхностью и металлической сферой (задача Терсоффа – Хаманна). Локальная плотность состояний. Представление о туннельной микроскопии и спектроскопии. Одноэлектронный транзистор и кулоновская блокада туннелирования.

Квазичастицы в сверхпроводниках. Плотность состояний квазичастичных возбуждений, энергетическая щель. Квазичастичное туннелирование в системах «сверхпроводник – изолятор – нормальный металл» и «сверхпроводник – изолятор – сверхпроводник» в приближении малопрозрачного туннельного барьера. Туннельная спектроскопия сверхпроводящей щели. Конверсия сверхпроводящего тока в нормальный ток и андреевское отражение в системе «сверхпроводник – нормальный металл». Стационарный эффект Джозефсона. Переход Джозефсона в магнитном поле. Принцип работы двухконтактного сверхпроводящего квантового интерферометра (СКВИД). Джозефсоновские вихри. Принцип работы перестраиваемого генератора, основанного на движении квантов магнитного потока. Нестационарный эффект Джозефсона. Ступеньки Шапиро. Реализация квантового стандарта напряжения на джозефсоновском переходе в поле электромагнитной волны.

Независимые решения одномерного уравнения Паули. Рассеяние спин-поляризованной частицы на потенциальном барьере между двумя ферромагнитными металлами с разной намагниченностью. Принцип работы туннельного магниторезистивного элемента. Принцип работы спин-поляризованной сканирующей туннельной микроскопии.

---

## Физика магнетизма

Дисциплина «Физика магнетизма» является дисциплиной по выбору вариативной части программы 01.04.01 «Приборы и методы экспериментальной физики».

Для успешного усвоения курса аспиранту необходимо знание общих курсов физики и математики, квантовой механики, статистической физики, электродинамики, физики твердого тела. Данный курс является базой для выполнения аспирантами исследований в области твердотельных магнитных наноструктур.

Дисциплина изучается на 2 курсе (1 семестр).

Общая трудоемкость (объем) дисциплины составляет 3 зачетных единиц, 108 часов.

Итоговый контроль осуществляется на зачете.

**Целями освоения дисциплины являются:**

- формирование у аспирантов представления о твердотельном магнетизме как о разделе физического знания, базирующегося на релятивистской квантовой теории;
- ознакомление аспирантов с модельными представлениями, используемыми при описаниях магнитных явлений в твердых телах;
- формирование у аспирантов компетенций программы 01.04.01 «Приборы и методы экспериментальной физики», в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки 03.06.01 «Физика и астрономия».

### **Краткая характеристика дисциплины.**

Дисциплина «Физика магнетизма» состоит из следующих разделов:

Момент импульса и орбитальное движение отдельного электрона и системы электронов. Спин отдельного электрона и системы электронов. Спиноры, их трансформационные свойства. Уравнение Дирака и уравнение Паули. Описание релятивистских взаимодействий (с точностью до членов  $(v/c)^2$ ) при рассмотрении отдельного электрона и системы двух электронов. Понятие о спин-спиновом и спин-орбитальном взаимодействиях. Электронная оболочка атома. Тонкая структура атомных уровней. Гиромагнитная аномалия спина и фактор Ланде. Перестановочная симметрия волновых многоэлектронных функций и понятие об обменной энергии. Спиновой обменный оператор Дирака

Локализованные невзаимодействующие моменты. Парамагнетизм. Взаимодействие Ван-Флека-Гайзенберга. Приближение молекулярного поля в ферромагнетизме (модель Кюри-Вейса). Динамика магнитной решетки ферромагнетика в обменном приближении (полуклассическое рассмотрение и квантовое рассмотрение). Ферромагноны как квазичастицы. Термодинамика газа ферромагнонов.

Феноменологическое описание релятивистских взаимодействий в ферромагнитном кристалле. Энергия магнитокристаллографической анизотропии и энергия магнитодипольного взаимодействия. Доменная структура ферромагнетика. Междоменные границы. Страйп – структура и структура Ландау-Лифшица. Поведение доменной структуры в квазистационарном магнитном поле.

Малые ферромагнитные частицы. Явление гистерезиса в малых ферромагнитных частицах. Наномагниты, их поведение во внешних полях. Теорема Крамерса.

Магнитооптика ферромагнетиков. Ферромагнетики как гиروهлектрические и гиромагнитные среды. Квантовомеханический расчет тензора деэлектрической проницаемости ферромагнетика. Эффект Фарадея в ферромагнетике.

## **Физика конденсированного состояния**

Дисциплина «Физика конденсированного состояния» является дисциплиной по выбору вариативной части программы 01.04.01 «Приборы и методы экспериментальной физики».

Для успешного усвоения курса аспиранту необходимо знание общих курсов физики, квантовой механики, статистической физики и электродинамики. Данный курс является базой для выполнения аспирантами исследований в области твердотельных наноструктур.

Дисциплина изучается на 2 курсе (4 семестр).

Общая трудоемкость (объем) дисциплины составляет 3 зачетных единиц, 108 часов.

Итоговый контроль осуществляется на зачете.

### **Целями освоения дисциплины являются:**

- формирование у аспирантов общих представлений о строении кристаллов и аморфных веществ, методах исследования и классификации кристаллических структур, а также

различных физических свойствах твёрдых тел: тепловых, электрических, магнитных и других;

- формирование у аспирантов современных представлений об электронно-ионной структуре твёрдых тел, о свойствах волновых функций и энергетического спектра электронов в кристаллах, методах квантового описания электронных процессов в твёрдых телах;
- освоение студентами методов теоретического расчёта основных физических характеристик твёрдотельных систем;
- формирование у аспирантов компетенций программы 01.04.01 «Приборы и методы экспериментальной физики», в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки 03.06.01 «Физика и астрономия».

### **Краткая характеристика дисциплины.**

Дисциплина «Физика конденсированного состояния» состоит из следующих разделов:

Теории металлов Друде и Зоммерфельда. Недостатки модели свободных электронов. Дифракция рентгеновских лучей в кристаллах. Адиабатическое приближение. Приближение Борна – Оппенгеймера. Невзаимодействующие электроны в кристаллической решетке. Трансляционная симметрия. Квазиимпульс. Общие свойства зонного спектра. Различные методы расчета зонной структуры. Методы сильной и слабой связи. Плотность состояний. Заполнение энергетических зон электронами. Металлы. Диэлектрики. Полупроводники. Поверхность Ферми. Взаимодействующие электроны. Приближение Хартри-Фока. Модель Хартри-Фока для свободных электронов. Экранирование. Теория Томаса-Ферми. Теория Линдхарда. Слабо неидеальный ферми-газ с отталкиванием. Основы теории ферми-жидкости. Когезионная энергия. Ионные и ковалентные кристаллы, металлы.

Недостатки модели статической решетки. Динамика решетки. Гармоническое приближение. Нормальные моды одномерной монокристаллической решетки Браве. Нормальные моды одномерной решетки с базисом. Акустические и оптические моды колебаний решетки. Квантовая теория колебаний решетки. Фононы. Законы дисперсии акустических и оптических фононов при малых  $k$ . Закон дисперсии акустических фононов при малых  $k$ . Соотношение Бома-Ставера. Теплоемкость металлов. Закон Дюлонга и Пти. Квантовая теория теплоемкости. Теплоемкость. Интерполяционная формула Дебая. Теплоемкость. Приближение Эйнштейна. Электронная теплоемкость. Ангармонизм колебаний решетки. Тепловое расширение твердых тел.

Электрон в решетке в магнитном поле. Симметрия состояний. Эффект де Гааза-ван-Альфена. Диамагнетизм Ландау. Парамагнетизм Паули. Магнитная восприимчивость. Теорема Ван-Леевен. Обменное взаимодействие. Дипольное взаимодействие. Магнитное упорядочение. Магноны. Диамагнетизм, парамагнетизм и ферромагнетизм.

Кинетическое уравнение Больцмана. Интеграл столкновений. Приближение времени релаксации. Закон Видемана-Франца. Проводимость и теплопроводность. Длина свободного пробега. Процессы рассеяния. Эффект Холла. Скин-эффект. Оптические свойства твердых тел. Межзонные переходы. Сверхпроводимость.

---

## **Структурный анализ твердого тела**

Дисциплина «Структурный анализ твердого тела» является дисциплиной по выбору вариативной части программы 01.04.01 «Приборы и методы экспериментальной физики».

Для успешного усвоения курса аспиранту необходимо знание общих курсов физики и математики, электродинамики, теории колебаний и волн, физики твердого тела. Данный

курс является базой для выполнения аспирантами исследований в области использования явления дифракции для получения информации об атомной структуре твердых тел.

Дисциплина изучается на 1 курсе (1 семестр).

Общая трудоемкость (объем) дисциплины составляет 3 зачетных единиц, 108 часов.

Итоговый контроль осуществляется на зачете.

#### **Целями освоения дисциплины являются:**

- формирование у аспирантов представления о современной методологии дифракционных методов исследования твердых тел;
- формирование у аспирантов компетенций программы 01.04.01 «Приборы и методы экспериментальной физики», в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки 03.06.01 «Физика и астрономия».

#### **Краткая характеристика дисциплины.**

Дисциплина «Структурный анализ твердого тела» состоит из следующих разделов:

Общая постановка задачи. Ограниченность волновых и корпускулярных интерпретаций. Описание однократного рассеяния как преобразования Фурье. Решение обратной задачи в схемах оптического микроскопа, рентгеновского дифрактометра и электронного микроскопа. Прямая и обратная решетка кристалла. 4-х индексные обозначения.

Одномерный кристалл. Сфера Эвальда. Случаи малых длин волн, больших длин волн и средних длин волн. Фурье-образы некоторых функций. Теорема свертки. Принцип взаимности (задача о радиотелескопе). Двумерная дифракция. Кристалл конечной толщины и соотношение неопределенностей. Щель с размытыми краями. Набор щелей конечной ширины. Продольная и поперечная длина когерентности.

Одномерная кристаллическая сверхрешетка. Сверхрешетка на вицинальной поверхности. Двумерная модуляция.

Функция Патерсона. Гомометрические структуры. Простейшие структурные типы и две плотнейшие упаковки.

Точечные группы симметрии кристалла, решетки Браве, пространственные группы симметрии. Графики простейших групп. Интегральные, зональные и сериальные погасания.

Усреднение в пространстве и во времени. Упругое и неупругое рассеяние. Брегговские максимумы и диффузный фон. Когерентность при рассеянии бозонов и фермионов. Дефекты с сохранением усредненной решетки. Вакансия и дивакансия. Тепловые колебания атомов. 4-х мерная функция Паттерсона. Фактор Дебая-Валера. Шероховатая поверхность. Фрактальная шероховатость.

Иерархия кристаллического совершенства вещества (аморфное тело, поликристалл, текстура, мозаичный монокристалл, идеальный монокристалл). Обратное пространство поликристалла и современные базы дифракционных данных. Осевая текстура. Прямая и обратная полюсные фигуры.

Эпитаксиальные соотношения. 4-х доменное микродвойникование в слоях  $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ . Вклад в ширину пика от микродеформаций, размера области когерентного рассеяния, разориентации блоков и изгиба. Разделение вкладов. Твердые растворы замещения, коэффициент деформации решетки примесью.

Начальная, упругая и пластическая деформации в слое; их анализ по сдвигу дифракционных пиков. Эпюра упругих напряжений. Формула Стоуни.

Вывод коэффициента отражения в геометрии Френеля.

Ряд Борна, кинематическое, динамическое и полукинематическое приближения. Метод дарвиновского суммирования. Столик Дарвина. Анализ схем двухкристального и трехкристального спектрометра с помощью графиков дю-Монда. Схема вывода

уравнений по Эвальду-Лауэ, дисперсионные поверхности в случае Брегга и Лауэ. Пример использования стоячих волн.

Схема вывода рабочих формул для анализа многослойных структур по динамической теории рассеяния. Кривые дифракционного отражения идеального слоя и периодической многослойной структуры. Влияние некоторых типов несовершенств на вид кривых качания.

---

## Теория сверхпроводимости

Дисциплина «Теория сверхпроводимости» является дисциплиной по выбору вариативной части программы 01.04.01 «Приборы и методы экспериментальной физики».

Для успешного усвоения курса аспиранту необходимо знание общих курсов физики и математики, квантовой механики, статистической физики и электродинамики. Данный курс является базой для выполнения аспирантами исследований в области твердотельных сверхпроводящих наноструктур.

Дисциплина изучается на 1 курсе (1 семестр).

Общая трудоемкость (объем) дисциплины составляет 3 зачетных единиц, 108 часов.

Итоговый контроль осуществляется на зачете.

### Целями освоения дисциплины являются:

- знакомство аспирантов с феноменологическими теориями, качественно описывающими явление сверхпроводимости, с теорией Бардина-Купера-Шриффера, описывающей сверхпроводимость, являющейся проявлением квантовых эффектов в макроскопических масштабах;
- формирование у аспирантов современного представления об основных проявлениях сверхпроводимости и феноменологической и микроскопической теории;
- знакомство аспирантов с основными подходами для описания сверхпроводимости;
- формирование у аспирантов компетенций программы 01.04.01 «Приборы и методы экспериментальной физики», в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки 03.06.01 «Физика и астрономия».

### Краткая характеристика дисциплины.

Дисциплина «Теория сверхпроводимости» состоит из следующих разделов:

Основные экспериментальные факты. Переход в СП состояние, критическая температура, критическое магнитное поле. Эффект Мейсснера. Отличие СП и идеального проводника. Аналогия между СП и магнетиками. Термодинамические потенциалы. Свободная энергия СП в магнитном поле. Изменение термодинамических параметров образца при СП переходе. Переходы 1-го и 2-го рода. Промежуточное состояние СП. Разрушение сверхпроводимости током.

Уравнения Лондонов. Глубина проникновения магнитного поля. Примеры применения теории Лондонов. Сверхпроводники в СВЧ полях, поверхностный импеданс СП.

Понятие параметра порядка. Уравнения Гинзбурга-Ландау. Градиентная инвариантность теории. Квантование магнитного потока. Два характерных масштаба длины в СП. Критические поля и токи тонких пленок. Максимальная плотность тока в СП. Проникновение поля в СП второго рода. Энергия и поле одиночного вихря. Первое и второе критические поля. Взаимодействие вихрей. Эффект Джозефсона. Вывод формулы для тока из теории Г-Л. Резистивная модель джозефсоновского контакта. Вольт-амперная характеристика. Влияние магнитного поля на критический ток.

Вывод формулы для тока из теории Г-Л. Резистивная модель Джозефсоновского контакта. Вольт-амперная характеристика. Влияние магнитного поля на критический ток.

Понятие состояния. Волновая функция одного электрона. Спин. Одночастичные операторы. Многочастичная волновая функция. Многочастичные операторы (концентрация, ток, импульс и т.п.). Вычисление средних от операторов. Зависимость состояний от времени, уравнение Шредингера. Обозначения Дирака для состояний, операторов и средних физических величин. Гамильтониан электрон-ионной системы.

Чистые и смешанные состояния. Матрица плотности. Вычисление средних с помощью матрицы плотности. Зависимость матрицы плотности от времени, уравнение фон-Неймана. 1,2,N-частичные матрицы плотности

Матрица плотности в равновесной статистической механике. Каноническое распределение, распределение с переменным числом частиц. Свободная энергия, химический потенциал.

Состояния системы тождественных частиц. Фермионы и бозоны. Равновесная одночастичная матрица плотности, распределение Ферми и Бозе. Термодинамические характеристики вырожденного электронного газа.

Метод вторичного квантования. Волновая функция в представлении чисел заполнения. Операторы рождения и уничтожения. Правила коммутации. Выражение операторов физических величин через операторы рождения и уничтожения. Шредингеровский и Гейзенберговский подход к квантовой механике. Зависимость операторов от времени, уравнения Гейзенберга.

Гамильтониан электрон-ионной системы. Введение фононов. Газ электронов, описание в терминах квазичастиц, электронов и дырок. Статистическая механика газа электронов в квазичастичном представлении. Фононы. Гамильтониан фононной системы. Статистическая механика газа фононов. Электрон-фононное взаимодействие. Притяжение электронов. Задача Купера. Куперовские пары. Гамильтониан Бардина – Купера – Шриффера. Основное состояние сверхпроводника. Приближение самосогласованного поля. Уравнения Боголюбова. Волновая функция БКШ. Уравнение самосогласования для нулевой температуры. Квазичастицы. Конечные температуры. Теплоемкость сверхпроводника.

Эксперименты по проверке существования энергетической щели. Сверхпроводник с током, случай нулевых и ненулевых температур. Связь микротемпературы с теорией Гинзбурга-Ландау.

---

## Физика полупроводников

Дисциплина «Физика полупроводников» является факультативной дисциплиной программы 01.04.01 «Приборы и методы экспериментальной физики».

Для успешного усвоения курса аспиранту необходимо знание общих курсов физики и математики, ряда разделов теоретической физики (квантовая механика, электродинамика, статистическая физика), физики твердого тела, твердотельной электроники. Данный курс является базой для выполнения аспирантами исследований в области твердотельных полупроводниковых наноструктур.

Дисциплина изучается на 3 курсе (6 семестр).

Общая трудоемкость (объем) дисциплины составляет 3 зачетных единиц, 108 часов.

Итоговый контроль осуществляется на зачете.

**Целями освоения дисциплины являются:**

- формирование у аспирантов современного представления о кристаллической структуре, зонном спектре, электрических и оптических свойствах полупроводников, о принципах работы основных полупроводниковых приборов;
- освоение аспирантами методов теоретического описания электрических и оптических свойств полупроводников, а также низкоразмерных полупроводниковых структур, основных полупроводниковых приборов;
- формирование у аспирантов компетенций программы 01.04.01 «Приборы и методы экспериментальной физики», в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки 03.06.01 «Физика и астрономия».

### **Краткая характеристика дисциплины.**

Дисциплина «Физика полупроводников» состоит из следующих разделов:

Свойства зонной структуры полупроводников. Следствия симметрии обращения времени и пространственной инверсии. Кристаллическая структура Ge, Si, GaAs. Зона Бриллюэна. Приближение эффективной массы в простой и сложной зоне. Зонный спектр вблизи экстремумов.

Метод огибающей. Движение в слабом электрическом поле, понятие дырки. Мелкие примеси в полупроводниках. Движение в слабом магнитном поле.

Концентрация электронов и дырок в зонах. Концентрация заряженных мелких примесей. Определение химического потенциала в полупроводниках.

Рассеяние электронов на длинноволновых и междолинных фононах. Рассеяние на заряженных примесях. Электрон-электронное рассеяние.

Уравнение Больцмана. Электропроводность в слабом электрическом поле. Гальваномагнитные явления

Времена жизни неравновесных носителей. Уравнения непрерывности. Амбиполярная диффузия и дрейф.

Межзонное поглощение света в полупроводниках. Экситонные эффекты. Эффект Бурштейна-Мосса. Эффект Франца-Келдыша. Примесное поглощение в полупроводниках. решеточное поглощение. Поглощение на свободных носителях. Фотолюминесценция. Электролюминесценция

Плотность состояний в квантовых ямах, квантовых проволоках и квантовых точках. Межзонное поглощение в квантовой яме. Межподзонное поглощение в квантовой яме. Оптические модуляторы на квантовых ямах. Квантово каскадный лазер.

Работа выхода. Контактная разность потенциалов. Ф-ла Ричардсона- Дэшмана. Барьер Шоттки. антизапорный контакт. Токи, ограниченные пространственным зарядом.

Емкость p-n перехода. Статическая вольт-амперная характеристика p-n перехода. Малосигнальный импеданс p-n перехода. Туннельный p-n переход. Биполярный транзистор. Полупроводниковый лазерный диод. Полевой транзистор.

Убегание. Примесный и межзонный пробой. Лавинный пробой p-n перехода. Междолинный перенос. Эффект Ганна.

Влияние на электронный спектр беспорядка. Примесная зона. Переход металл-диэлектрик. Переход Мотта. Переход Андерсона. Локализованные и делокализованные состояния.

Экспериментальное наблюдение целочисленного и дробного эффекта Холла. Электронный спектр уровней Ландау в квантовых ямах. Качественное объяснение целочисленного квантового эффекта Холла.

---

## Основы полупроводниковой технологии

Дисциплина «Основы полупроводниковой технологии» является факультативной дисциплиной программы 01.04.01 «Приборы и методы экспериментальной физики».

Для успешного усвоения курса аспиранту необходимо знание общих курсов физики и математики, ряда разделов теоретической физики (электродинамика, статистическая физика), физики твердого тела, твердотельной электроники. Данный курс является базой для выполнения аспирантами исследований в области технологии полупроводниковых наноструктур.

Дисциплина изучается на 2 курсе (3 семестр).

Общая трудоемкость (объем) дисциплины составляет 3 зачетных единиц, 108 часов.

Итоговый контроль осуществляется на зачете.

### Целями освоения дисциплины являются:

- ознакомление аспирантов с уровнем развития современной полупроводниковой технологией, используемыми методами и подходами, с основными проблемами и задачами, стоящими на пути дальнейшего развития полупроводниковой микро и наноэлектроники;
- формирование у аспирантов компетенций программы 01.04.01 «Приборы и методы экспериментальной физики», в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки 03.06.01 «Физика и астрономия».

### Краткая характеристика дисциплины.

Дисциплина «Основы полупроводниковой технологии» состоит из следующих разделов:

История развития полупроводниковой технологии, ее современный уровень развития, основные физические проблемы, стоящие на пути ее развития и предлагаемые пути их решения.

Параметры, достоинства и недостатки основных материалов микроэлектроники. Сравнительный анализ физических свойств различных полупроводников. Получение монокристаллов полупроводников и проводниковых подложек.

Окисление полупроводников. Применение диэлектрических пленок в технологии интегральных схем. Жидкостное и плазмо-химическое травление. Методы осаждения диэлектрических и металлических пленок. Оптическая, рентгеновская и электронная литографии. Диффузионное легирование полупроводников. Ионная имплантация. Эпитаксия и проблемы эпитаксии полупроводниковых гетероструктур. Типовой технологический маршрут формирования интегральных схем на основе кремния.

Физические основы использования SiGe гетероструктур для увеличения быстродействия кремниевых полевых и биполярных транзисторов. Особенности формирования SiGe гетероструктур. Применение SiGe гетероструктур в кремниевой оптоэлектронике.

Краткая характеристика новых полупроводниковых материалов, используемых в полупроводниковой технологии. Преимущества этих материалов по сравнению с ранее используемыми полупроводниками. Проблемы на пути использования новых материалов.