



## **Аннотация дисциплины «История и философия науки»**

**Направление** 03.06.01 Физика и астрономия

**Направленность (профиль)** «Физика полупроводников»

1. Дисциплина «История и философия науки» относится к базовой части блока Б1.
2. Целью освоения данной дисциплины является формирование у аспирантов целостного понимания предмета и основных концепций современной философии науки, развитию философского подхода к проблеме возникновения науки и основных стадий ее исторической эволюции.
3. Общая трудоемкость дисциплины составляет 5 зачетных единиц, 180 часов.
4. Содержание дисциплины:

### **Часть 1. Общие проблемы философии науки**

#### **1. Предмет и основные концепции современной философии науки.**

Три аспекта бытия науки: наука как генерация нового знания, как социальный институт, как особая сфера культуры.

Логико-эпистемологический подход к исследованию науки. Позитивистская традиция в философии науки. Расширение поля философской проблематики в постпозитивистской философии науки. Концепции К.Поппера, И.Лакатоса, Т.Куна, П.Фейерабенда, М.Полани.

Социологический и культурологический подходы к исследованию развития науки. Проблема интернализма и экстернализма в понимании механизмов научной деятельности. Концепции М.Вебера, А.Койре, Р.Мертона, М.Малкея.

#### **2. Наука в культуре современной цивилизации**

Традиционалистский и техногенный типы цивилизационного развития и их базисные ценности. Ценность научной рациональности.

Наука и философия. Наука и искусство. Роль науки в современном образовании и формировании личности. Функции науки в жизни общества (наука как мировоззрение, как производительная и социальная сила).

#### **3. Возникновение науки и основные стадии её исторической эволюции.**

Преднаука и наука в собственном смысле слова. Две стратегии порождения знаний: обобщение практического опыта и конструирование теоретических моделей, обеспечивающих выход за рамки наличных исторически сложившихся форм производства и обыденного опыта.

Культура античного полиса и становление первых форм теоретической науки. Античная логика и математика. Развитие логических норм научного мышления и организаций науки в средневековых университетах. Роль христианской теологии в изменении созерцательной позиции ученого: человек творец с маленькой буквы; манипуляция с природными объектами – алхимия, астрология, магия. Западная и восточная средневековая наука.

Становление опытной науки в новоевропейской культуре. Формирование идеалов математизированного и опытного знания: оксфордская школа, Роджер Бэкон, Уильям Оккам. Предпосылки возникновения экспериментального метода и его соединения с математическим описанием природы. Г.Галилей, Френсис Бэкон, Р.Декарт. Мировоззренческая роль науки в новоевропейской культуре. Социокультурные предпосылки возникновения экспериментального метода и его соединения с математическим описанием природы.

Формирование науки как профессиональной деятельности. Возникновение дисциплинарно-организованной науки. Технологические применения науки. Формирование технических наук.

Становление социальных и гуманитарных наук. Мировоззренческие основания социально-исторического исследования.

#### **4. Структура научного знания.**

Научное знание как сложная развивающаяся система. Многообразие типов научного знания. Эмпирический и теоретический уровни, критерии их различия. Особенности эмпирического и теоретического языка науки.

*Структура эмпирического знания.* Эксперимент и наблюдение. Случайные и систематические наблюдения. Применение естественных объектов в функции приборов в систематическом наблюдении. Данные наблюдения как тип эмпирического знания. Эмпирические зависимости и эмпирические факты. Процедуры формирования факта. Проблема теоретической нагруженности факта.

*Структуры теоретического знания.* Первичные теоретические модели и законы. Развита теория. Теоретические модели как элемент внутренней организации теории. Ограниченность гипотетико-дедуктивной концепции теоретических знаний. Роль конструктивных методов в дедуктивном развертывании теории. Развертывание теории как процесса решения задач. Парадигмальные образцы решения задач в составе теории. Проблемы генезиса образцов. Математизация теоретического знания. Виды интерпретации математического аппарата теории.

*Основания науки.* Структура оснований. Идеалы и нормы исследования и их социокультурная размерность. Система идеалов и норм как схема метода деятельности.

Научная картина мира. Исторические формы научной картины мира. Функции научной картины мира (картина мира как онтология, как форма систематизации знания, как исследовательская программа).

Операциональные основания научной картины мира. Отношение онтологических постулатов науки к мировоззренческим доминантам культуры.

Философские основания науки. Роль философских идей и принципов в обосновании научного знания. Философские идеи как эвристика научного поиска. Философское обоснование как условие включения научных знаний в культуру.

#### **5. Динамика науки как процесс порождения нового знания.**

Историческая изменчивость механизмов порождения научного знания. Взаимодействие оснований науки и опыта как начальный этап становления новой дисциплины. Проблема классификации. Обратное воздействие эмпирических фактов на основания науки.

Формирование первичных теоретических моделей и законов. Роль аналогий в теоретическом поиске. Процедуры обоснования теоретических знаний. Взаимосвязь логики открытия и логики обоснования. Механизмы развития научных понятий.

Становление развитой научной теории. Классический и неклассический варианты формирования теории. Генезис образцов решения задач.

Проблемные ситуации в науке. Перерастание частных задач в проблемы. Развитие оснований науки под влиянием новых теорий.

Проблема включения новых теоретических представлений в культуру.

#### **6. Научные традиции и научные революции. Типы научной рациональности.**

Взаимодействие традиций и возникновение нового знания. Научные революции как перестройка оснований науки. Проблемы типологии научных революций. Внутридисципли-

нарные механизмы научных революций. Междисциплинарные взаимодействия и "парадигмальные прививки" как фактор революционных преобразований в науке. Социокультурные предпосылки глобальных научных революций. Перестройка оснований науки и изменение смыслов мировоззренческих универсалий культуры. Прогностическая роль философского знания. Философия как генерация категориальных структур, необходимых для освоения новых типов системных объектов.

Научные революции как точки бифуркации в развитии знания. Нелинейность роста знаний. Селективная роль культурных традиций в выборе стратегий научного развития. Проблема потенциально возможных историй науки.

Глобальные революции и типы научной рациональности. Историческая смена типов научной рациональности: классическая, неклассическая, постнеклассическая наука.

## **7. Особенности современного этапа развития науки. Перспективы научно-технического прогресса.**

Главные характеристики современной, постнеклассической науки. Современные процессы дифференциации и интеграции наук. Связь дисциплинарных и проблемно-ориентированных исследований. Освоение саморазвивающихся "синергетических" систем и новые стратегии научного поиска. Роль нелинейной динамики и синергетики в развитии современных представлений об исторически развивающихся системах. Глобальный эволюционизм как синтез эволюционного и системного подходов. Глобальный эволюционизм и современная научная картина мира. Сближение идеалов естественнонаучного и социально-гуманитарного познания. Осмысление связей социальных и внутринаучных ценностей как условие современного развития науки. Включение социальных ценностей в процесс выбора стратегий исследовательской деятельности. Расширение этоса науки. Новые этические проблемы науки в конце XX столетия. Проблема гуманитарного контроля в науке и высоких технологиях. Экологическая и социально-гуманитарная экспертиза научно-технических проектов. Кризис идеала ценностно-нейтрального исследования и проблема идеологизированной науки. Экологическая этика и ее философские основания. Философия русского космизма и учение В.И.Вернадского о биосфере, техносфере и ноосфере. Проблемы экологической этики в современной западной философии (Б.Калликот, О.Леопольд, Р.Аттфильд).

Постнеклассическая наука и изменение мировоззренческих установок техногенной цивилизации. Сциентизм и антисциентизм. Наука и паранаука. Поиск нового типа цивилизационного развития и новые функции науки в культуре. Научная рациональность и проблема диалога культур. Роль науки в преодолении современных глобальных кризисов.

## **8. Наука как социальный институт.**

Различные подходы к определению социального института науки. Историческое развитие институциональных форм научной деятельности. Научные сообщества и их исторические типы (республика ученых 17 века; научные сообщества эпохи дисциплинарно организованной науки; формирование междисциплинарных сообществ науки XX столетия). Научные школы. Подготовка научных кадров. Историческое развитие способов трансляции научных знаний (от рукописных изданий до современного компьютера). Компьютеризация науки и ее социальные последствия. Наука и экономика. Наука и власть. Проблема секретности и закрытости научных исследований. Проблема государственного регулирования науки.

### **Часть 2. Философия естественных наук**

#### ***Философские проблемы физики***

##### **1. Место физики в системе наук**

Естественные науки и культура. Естествознание и развитие техники. Естествознание и социальная жизнь общества. Физика как фундамент естествознания. Онтологические, эпистемологические и методологические основания фундаментальности физики. Специфика методов физического познания. Связь проблемы фундаментальности физики с оппозицией редукционизм-антиредукционизм. Анализ различных трактовок редукционизма.

Физика и синтез естественно-научного и гуманитарного знания. Роль синергетики в этом

синтезе.

## **2. Онтологические проблемы физики**

Понятие онтологии физического знания. Онтологический статус физической картины мира. Эволюция физической картины мира и изменение онтологии физического знания. Механическая, электромагнитная и современная квантово-релятивистская картины мира как этапы развития физического познания.

Частицы и поля как фундаментальные абстракции современной физической картины мира и проблема их онтологического статуса. Онтологический статус виртуальных частиц. Проблемы классификации фундаментальных частиц. Типы взаимодействий в физике и природа взаимодействий. Стандартная модель фундаментальных частиц и взаимодействий и ее концептуальные трудности. Физический вакуум и поиски новой онтологии. Стратегия поисков фундаментальных объектов и идеи бутстрапа. Теория струн и “теория всего” (ТОЕ) и проблемы их обоснования.

## **3. Проблемы пространства и времени**

Проблема пространства и времени в классической механике. Роль коперниканской системы мира в становлении галилей-ньютоновых представлений о пространстве. Понятие инерциальной системы и принцип инерции Галилея. Принцип относительности Галилея, преобразования Галилея и понятие ковариантности законов механики. Понятие абсолютного пространства. Философские и религиозные предпосылки концепции абсолютного пространства и проблема ее онтологического статуса.

Теоретические, экспериментальные и методологические предпосылки изменения галилей-ньютоновских представлений о пространстве и времени в связи с переходом от механической к электромагнитной картине мира.

Специальная и общая теории относительности (СТО и ОТО) А.Эйнштейна как современные концепции пространства и времени. Субстанциальная и реляционная концепции пространства и времени. Статус реляционной концепции пространства и времени в СТО. Понятие о едином пространственно-временном континууме Г. Минковского. Релятивистские эффекты сокращения длин, замедления времени и зависимости массы от скорости в инерциальных системах отсчета. Анализ роли наблюдателя в релятивистской физике.

Теоретические, методологические и эстетические предпосылки возникновения ОТО. Роль принципа эквивалентности инерционной и гравитационной масс в ОТО. Статус субстанциальной и реляционной концепций пространства-времени в ОТО. Проблема взаимоотношения пространственно-временного континуума и гравитационного поля. Пространство-время и вакуум.

Концепция геометризации физики на современном этапе. Понятие калибровочных полей. Интерпретация взаимодействий в рамках теории калибровочных полей. Топологические свойства пространства-времени и фундаментальные физические взаимодействия.

## **4. Проблемы детерминизма**

Концепция детерминизма и ее роль в физическом познании. Детерминизм и причинность. Дискуссии в философии науки по поводу характера причинных связей. Критика Д.Юмом принципа причинности как порождающей связи. Причинность и закон. Противопоставление причинности и закона в работах О.Конта. Критика концепции Конта в работах Б.Рассела, Р.Карнапа, К.Поппера. Идея существования двух уровней причинных связей: наглядная и теоретическая причинность.

Причинность и целесообразность. Телеология и телеономизм. Причинное и функциональное объяснение. Вклад дарвинизма и кибернетики в демистификацию понятия цели. Понятие цели в синергетике.

Понятие “светового конуса” и релятивистская причинность. Проблемы детерминизма в классической физике. Концепция однозначного (жесткого) детерминизма. Статистические закономерности и вероятностные распределения в классической физике. Вероятностный

характер закономерностей микромира. Статус вероятности в классической и квантовой физике. Концепция вероятностной причинности. Попперовская концепция предрасположенностей и дилемма детерминизм-индетерминизм. Дискуссии по проблемам скрытых параметров и полноты квантовой механики. Философский смысл концепции дополнительности Н.Бора и принципа неопределенности В.Гейзенберга.

Изменение представлений о характере физических законов в связи с концепцией “Большого взрыва” в космологии и с формированием синергетики. Причинность в открытых неравновесных динамических системах.

## **5. Познание сложных систем и физика**

Системные идеи в физике. Представление о физических объектах как системах. Три типа систем: простые механические системы; системы с обратной связью; системы с саморазвитием (самоорганизующиеся системы).

Противоречие между классической термодинамикой и эволюционной биологией и концепция самоорганизации. Термодинамика открытых неравновесных систем И.Пригожина. Статус понятия времени в механических системах и системах с саморазвитием. Необратимость законов природы и “стрела времени”. Синергетика как один из источников эволюционных идей в физике. Детерминированный хаос и эволюционные проблемы.

## **6. Проблема объективности в современной физике**

Квантовая механика и постмодернистское отрицание истины в науке. Неоднозначность термина “объективность” знания: объективность как “объектность” описания (описание реальности без отсылки к наблюдателю); и объективность в смысле адекватности теоретического описания действительности.

Проблематичность достижения “объектности” описания и реализуемость получения знания, адекватного действительности.

Трудности достижения объективно истинного знания. “Недоопределенность” теории эмпирическими данными и внеэмпирические критерии оценки теорий. “Теоретическая нагруженность” экспериментальных данных и теоретически нейтральный язык наблюдения.

Роль социальных факторов в достижении истинного знания. Критическая традиция в научном сообществе и условие достижения объективно истинного знания (К.Поппер).

## **7. Физика, математика и компьютерные науки**

Роль математики в развитии физики. Математика как язык физики. Математические методы и формирование научного знания. Три этапа математизации знания: феноменологический, модельный, фундаментально-теоретический.

“Коэволюция” вычислительных средств и научных методов.

Понятие информации: генезис и современные подходы. Материя, энергия, информация как фундаментальные категории современной науки. Проблема включаемости понятия информации в физическую картину мира. Связь информации с понятием энтропии. Проблема описания информационно открытых систем. Квантовые корреляции и информация.

Р.Фейнман о возможности моделирования физики на компьютерах. Ограничения на моделирование квантовых систем с помощью классического компьютера. Понятие квантового компьютера. Вычислительные машины и принцип Черча-Тьюринга. Квантовая теория сложности. Связи между принципом Черча-Тьюринга и разделами физики.

## **Часть 3. История науки**

### **История физики**

#### **1. Вводная часть**

Натурфилософские корни физики. Физика в системе естественных наук. Физика и техника. Эксперимент и теория. Физические явления, законы природы и принципы физики. Математические структуры физических теорий. Физика и философия. Институционализация физики. Научное сообщество физиков. Методологические подходы к изучению развития физики: картины мира, исследовательские программы, научные революции.

## 2. Доклассическая физика

2.1. Физические знания в Античности. От натурфилософии к статике Архимеда и геоцентрической системе Птолемея.

Эволюция представлений о природе и её первоначалах у досократиков. Античные атомисты (Левкипп, Демокрит, Эпикур, Лукреций Кар). Пифагор и Платон — провозвестники математического естествознания. Физика и космология Аристотеля. Евклид и его «Начала». Архимед и Герон Александрийский: законы рычага и гидростатики, пять простых машин. Проблема измерения времени. Оптика Евклида, Архимеда, Герона Александрийского и Птолемея. Геоцентрическая система мира Птолемея.

2.2. Физика Средних веков (XI–XIV вв.).

Упадок европейской науки. Освоение античного знания арабской наукой: статика и учение об удельных весах (аль-Бируни, аль-Хазини и др.), оптика (Альхазен и др.), строение вещества (Аверроэс). Влияние арабов на возраждающуюся европейскую науку XI–XIII вв.

Возникновение университетов. Статистика в сочинениях Иордана Неморария. Кинематические исследования У. Гейтсбери и Т. Брэдвардина (понятие скорости неравномерного движения), а также У. Оккама и Ж. Буридана (концепция импетуса и проблема относительности движения). Учение о свете (Р. Гроссетест, Р. Бэкон, Э Вителлий).

2.3. Физика в эпоху Возрождения и коперниканская революция в астрономии (XV – XVI вв.).

Возрождение культурных ценностей античности. Феномен гуманизма и его связь с познанием природы. Сближение инженерного дела и естественных наук.

Физические открытия, механика и изобретения Леонардо да Винчи (законы трения, явления капиллярности, фотометрия и геометрическая оптика и т. д.). Статика и гидростатика С. Стевина. Н. Тарталья, Дж. Бенедетти и др. — предшественники галилеевского учения о движении. Создание Н. Коперником гелиоцентрической системы мира — важная предпосылка научной революции XVII в.

## 3. Научная революция XVII в. и её вершина — классическая механика Ньютона

3.1. Подготовительный, предньютоновский период.

Кеплеровские законы движения планет. Механика Г. Галилея. Метод мысленного эксперимента. Закон падения тел, принципы инерции и относительности, параболическая траектория движения снаряда. Галилей — наблюдатель и экспериментатор. Процесс Галилея. Методология науки в сочинениях Ф. Бэкона и Р. Декарта. Картезианская картина мира и вклад Декарта в физику. Академии — основная форма институционализации науки.

Механика Х. Гюйгенса. Динамика равномерного кругового движения, формула центробежной силы. Маятниковые часы. Законы сохранения. Теория физического маятника. Теория упругого удара.

Основные достижения физики XVII в. Исследования У. Гильберта в области электричества и магнетизма. Геометрическая оптика Кеплера, В. Снеллиуса и Декарта; принцип П. Ферма. Конечность скорости света (О. Рёмер). Наблюдения дифракции света (Ф. Гримальди, Р. Гук). Учение о пустоте, пневматика, учение о газах и теплоте (О. Герике, Э. Торричелли, Б. Паскаль, Р. Бойль и др.).

3.2. Создание Ньютоном основ классической механики.

«Математические начала натуральной философии» Ньютона. Путь Ньютона к созданию «Начал». Структура «Начал». Представление о пространстве и времени (абсолютные пространство и время, симметрии пространства и времени, принцип относительности). Три основных закона ньютоновской механики. Закон всемирного тяготения и небесная механика. Вывод законов Кеплера. Место законов сохранения в системе Ньютона. Ньютоновская космология. Геометрические и дифференциально-аналитические формулировки законов механики. Вклад Г. Лейбница в механику. Оптика Ньютона.

3.3. Триумф ньютонианства и накопление физических знаний в век Просвещения — XVIII в.

Восприятие механики Ньютона в континентальной Европе. Аналитическое развитие механики: от Л. Эйлера и Ж. Даламбера до Ж. Л. Лагранжа и У. Р. Гамильтона. Создание основ гидродинамики (Л. Эйлер, Д. Бернулли, Даламбер). Успехи небесной механики, особенно в трудах П. С. Лапласа. Предвосхищение идеи “чёрных дыр” Дж. Мичелом и Лапласом, а также эффекта отклонения луча света, проходящего около массивного тела (И. Г. фон Зольднер). Классико-механическая картина мира (программа “молекулярной механики” Лапласа).

Исследование электричества и магнетизма — на пути к количественному эксперименту (Г. Рихман, Г. Кавендиш, О. Кулон). Флюидные и эфирные представления об электричестве Б. Франклина, Ф. Эпинуса, М. В. Ломоносова и Л. Эйлера. “Гальванизм” и явление электрического тока (Л. Гальвани, А. Вольта, В. В. Петров).

Развитие основных понятий учения о теплоте; представление о теплороде и кинетической природе теплоты (М. В. Ломоносов, Дж. Блэк, А. Лавуазье). Корпускулярная оптика: от Ньютона до Лапласа. Элементы волновых представлений о свете (Эйлер).

#### **4. Классическая наука (XIX в.)**

4.1. Начало формирования классической физики на основе точного эксперимента, феноменологического подхода и математического анализа (1800–1820-е гг.).

Парижская политехническая школа – детище Великой французской революции и лидер математико-аналитического подхода к физике. Волновая теория света О. Френеля (её развитие в работах О. Коши). Электродинамика (от Х. Эрстеда к А. М. Амперу). Теория теплопроводности Ж. Фурье. Теория тепловых машин С. Карно. Ключевая концепция Фурье — физика как теория дифференциальных уравнений с частными производными 2-го порядка. Освоение французского опыта в Германии (Г. С. Ом, Фр. Нейман и др.), Британии (Дж. Грин, У. Томсон и др.), России (Н. И. Лобачевский, М. В. Остроградский и др.). Формирование физики как научной дисциплины в России (от Э. Х. Ленца до А. Г. Столетова).

4.2. Единая полевая теория электричества, магнетизма и света: от М. Фарадея к Дж. К. Максвеллу (1830–1860-е гг.).

Накопление знаний об электричестве и магнетизме в 1820–1830-е гг. (Дж. Генри, М. Фарадей, Э. Х. Ленц, Б. С. Якоби и др.).

Фарадеевская программа синтеза физических взаимодействий на основе концепции близкодействия. Открытие Фарадеем электромагнитной индукции. Силовые линии и идея поля у Фарадея. Электродинамика дальнего действия и её конкуренция с программой близкодействия (В. Вебер, Ф. Нейман, Г. Гельмгольц и др.). Генезис теории электромагнитного поля Максвелла. Уравнения Максвелла. Электромагнитные волны и электромагнитная теория света. Представление о локализации и потоке энергии электромагнитного поля (Н. А. Умов, Дж. Пойнтинг и др.). Опыты Г. Герца с электромагнитными волнами и другие экспериментальные подтверждения теории (в частности, обнаружение П. Н. Лебедевым светового давления). Симметричная формулировка уравнений Максвелла Г. Герцем и О. Хевисайдом. Изобретение радио (А. С. Попов, Г. Маркони).

4.3. Физика тепловых явлений. Закон сохранения энергии и основы термодинамики (1840–1860-е гг.).

Открытие закона сохранения энергии как соотношения энергетической эквивалентности всех видов движения и взаимодействия (Дж. П. Джоуль, Г. Гельмгольц и Р. Майер, 1840-е гг.). Введение У. Томсоном абсолютной шкалы температуры. Соединение идей С. Карно с концепцией сохранения энергии — рождение термодинамики в работах Р. Клаузиуса, У. Томсона и У. Ранкина (1850-е гг.). Второе начало термодинамики для обратимых и необратимых процессов, понятие энтропии и проблема “тепловой смерти” Вселенной. Последующее развитие термодинамики: химическая термодинамика Дж. У. Гиббса, третье начало термодинамики В. Нернста и элементы термодинамики неравновесных процессов.

4.4. Физика тепловых явлений. Кинетическая теория газов и статистическая механика (1850–1900-е гг.).



Кинетическая теория газов Клаузиуса и Максвелла (и их предшественники). Создание основ статистической механики: распределение Максвелла – Больцмана, от попытки механического обоснования 2-го начала термодинамики к его статистическому обоснованию Больцманом. Кинетическое уравнение Больцмана. Развитие статистической механики Гиббсом. Теория Броуновского движения и доказательство реальности существования атомов (А. Эйнштейн, М. Смолуховский, Ж. Перрен). Эргодическая гипотеза и её развитие в XX в. Статистическая физика.

## **5. Научная революция в физике в первой трети XX в. и её вершина – квантово-релятивистские теории**

5.1. Экспериментальный прорыв в микромир; кризис классической физики; электромагнитно-полевая картина мира.

Лавина экспериментальных открытий: рентгеновские лучи, радиоактивность, электрон, эффект Зеемана (В. К. Рентген, А. Беккерель, Дж. Томсон, М. Складовская-Кюри, П. Кюри, Э. Резерфорд и др.). Кризис классической физики: проблемы эфирного ветра (А. Майкельсон, Х. А. Лоренц, Дж. Фитцджеральд и др.), распределения энергии в спектре чёрного тела (В. Вин, О. Люммер, Э. Принсгейм, Г. Рубенс, Ф. Курлбаум, М. Планк), статистического обоснования 2-го начала термодинамики (Больцман, Гиббс и др.); критика классико-механической картины мира (Э. Мах, П. Дюгем, А. Пуанкаре). Электронная теория Х. А. Лоренца и электромагнитно-полевая картина мира.

5.2. Квантовая теория излучения М. Планка. Световые кванты А. Эйнштейна (1900-е гг.).

Предыстория: понятие абсолютно чёрного тела, законы теплового излучения (Г. Кирхгоф, Й. Стефан, Л. Больцман). Проблема распределения энергии в спектре излучения абсолютно чёрного тела и её светотехнические истоки. Первые попытки решения проблемы: формулы В. А. Михельсона, В. Вина, Дж. Релея, М. Планка. Квантовая гипотеза Планка; постоянная Планка; планковский закон излучения. Световые кванты Эйнштейна и квантовая теория фотоэффекта. Открытия Эйнштейном корпускулярно-волнового дуализма для света. Введение понятия индуцированного излучения и вывод на его основе формулы Планка (Эйнштейн): важное значение этого понятия для квантовой электроники.

5.3. Специальная теория относительности (1900-е гг.).

Сокращение Фитцджеральда – Лоренца и преобразования Лоренца, А. Пуанкаре и Эйнштейна (1904–1906 гг.) — создание фундамента специальной теории относительности. Завершение теории Эйнштейна: аксиоматика теории, операционально-измерительная и релятивистская трактовка теории, отказ от эфира. Экспериментальное подтверждение теории относительности. Четырёхмерная формулировка теории Г. Минковским. Релятивистская перестройка классической физики. Возникновение на основе теории относительности теоретико-инвариантного подхода.

5.4. Общая теория относительности. Релятивистская космология. Проекты геометрического полевого синтеза физики (1910–1920-е гг.).

Положение в теории тяготения на рубеже XIX и XX вв. Принцип эквивалентности Эйнштейна, основанный на релятивистском истолковании равенства инертной и гравитационной масс.

Тензорно-геометрическая концепция гравитации. Открытие общековариантных уравнений гравитационного поля — завершение основ теории. Возникновение релятивистской космологии: от А. Эйнштейна до А. А. Фридмана. Последующее развитие теории (гравитационные волны, закон сохранения энергии-импульса и теоремы Э. Нетер и др.) и её экспериментальное подтверждение (А. Эддингтон и др.).

Проекты единых теорий поля, основанные на идее геометризации физических взаимодействий, и их неудачи (теории Г. Вейля, Т. Калуцы, А. Эйнштейна). Эвристическое значение единых теорий поля.

5.5. Квантовая теория атома водорода Н. Бора и её обобщение (1910–1920-е гг.).



Сериальные спектры и ранние модели структуры атомов. Открытие Э. Резерфордом ядерного строения атомов. Квантовая теория атома водорода Бора. Принцип соответствия Бора. Квантовые условия Бора – А. Зоммерфельда. Объяснение оптических и рентгеновских спектров атомов. Попытки объяснения периодической системы элементов. Принцип запрета В. Паули и спин электрона. Трудности теории. Квантовая теория дисперсии и гипотеза Н. Бора, Х. Крамерса и Дж. Слэтера о статистическом характере закона сохранения энергии и импульса.

#### 5.6. Квантовая механика (1925–1930-е гг.).

Квантовая механика в матричной форме (В. Гейзенберг, М. Борн, П. Иордан). Волны вещества Л. де Бройля и волновая механика Э. Шредингера. Экспериментальное подтверждение волновой природы микрочастиц (К. Дэвиссон, А. Джермер, Дж. П. Томсон). Развитие операторной формулировки квантовой механики (П. Дирак и др.) и доказательство эквивалентности её различных форм. Вероятностная интерпретация квантовой механики (М. Борн). Принципы неопределённости (Гейзенберг) и дополнительности (Бор) – основа физической интерпретации квантовой механики. Проблема причинности в квантовой механике и дискуссии между Бором и Эйнштейном. Квантовые статистики, симметрия и спин. Важнейшие приложения квантовой механики (в частности, работы советских учёных Я. И. Френкеля, В. А. Фока, Л. И. Мандельштама, И. Е. Тамма, Г. А. Гамова, Л. Д. Ландау). Открытие комбинационного рассеяния света (Ч. Раман, Л. И. Мандельштам, Г. С. Ландсберг). Основные центры и научные школы отечественной физики в 1920–1940-е гг. (школы А. Ф. Иоффе, Д. С. Рождественского, Л. И. Мандельштама, С. И. Вавилова, Л. Д. Ландау и др.).

#### 5.7. Квантовая электродинамика, релятивистская квантовая теория электрона и квантовая теория поля (1927–1940-е гг.).

Проблема квантования электромагнитного поля до создания квантовой механики (П. Эренфест, П. Дебай, А. Эйнштейн). Квантовая теория излучения П. Дирака. Релятивистские волновые уравнения (Э. Шредингер, О. Клейн, В. А. Фок, В. Гордон).

Уравнение Дирака для электрона, включающее теорию спина. Дираковские теории “дырок” и открытие позитрона. Общая схема построения квантовой теории поля по В. Гейзенбергу и В. Паули. Соотношение неопределённостей в квантовой электродинамике. Проблема расходимостей и её решение в конце 40-х гг. (Р. Фейнман и др.). Экспериментальное подтверждение квантовой электродинамики.

#### 5.8. Физика атомного ядра и элементарных частиц (от нейтрона до мезонов). Космические лучи и ускорители заряженных частиц (1930–1940-е гг.).

1932 г. — решающий год в развитии физики ядра и элементарных частиц (открытие Дж. Чедвиком нейтрона, гипотеза Д. Д. Иваненко и В. Гейзенберга о протонно-нейтронном строении ядра, первые ядерные реакции с искусственно ускоренными протонами и др.). Эффект Вавилова — Черенкова, его объяснение и последующее применение в ядерной физике (П. А. Черенков, И. Е. Тамм, И. М. Франк — первая отечественная Нобелевская премия по физике). Космические лучи. Первые ускорители заряженных частиц. Первые теории ядерных сил (И. Е. Тамм, В. Гейзенберг, Х. Юкава). Открытие сильных и слабых взаимодействий элементарных частиц. Ядерные модели. Искусственная радиоактивность. Воздействие нейтронов на ядра (Э. Ферми, И. В. Курчатов и др.). Открытие ядерного деления (О. Ган и Ф. Штрассман, Л. Мейтнер и О. Фриш), теория деления Бора – Дж. Уилера и Я. И. Френкеля. Принцип автофазировки (В. И. Векслер, Э. Мак-Миллан) и разработка нового поколения циклических ускорителей.

## **6. Основные линии развития современной физики (вторая половина XX в.)**

#### 6.1. Ядерное оружие и ядерные реакторы. Проблемы управляемого термоядерного синтеза.

Цепная ядерная реакция деления урана и введение понятия критической массы. Первые инициативы о принятии государственных программ по созданию атомной бомбы (Англия, США, Германия, СССР). Пуск первого ядерного реактора (США, Э. Ферми, 1942). Два

основных направления развития государственных ядерных программ: плутониевое — с использованием ядерных реакторов; и урановое — с использованием разделительных установок. Создание атомной промышленности и первых атомных бомб в США (1945) и СССР (1949) (под руководством Р. Оппенгеймера и И. В. Курчатова).

Предыстория освоения термоядерной энергии. Создание термоядерного оружия в США и СССР. Атомная энергетика. Проблема термоядерного синтеза в Англии, США и СССР. Резкий рост физических исследований, вызванный “ядерной революцией” в военном деле, промышленности и энергетике. Политические, социальные и этические аспекты “ядерной революции” во 2-й половине XX в.

#### 6.2. Физика конденсированного состояния и квантовая электроника.

Квантовая механика – теоретическая основа физики конденсированного состояния (ФКС) и квантовой электроники (КЭ). Зонная теория. Метод квазичастиц. Магнитно-резонансные явления: электронный парамагнитный резонанс (ЭПР, Е. К. Завойский) и ядерный магнитный резонанс (ЯМР). Исследование полупроводников и открытие транзисторного эффекта. Физика явлений сверхпроводимости и сверхтекучести. Теория фазовых переходов. Гетероструктуры.

Радиоспектроскопические предпосылки квантовой электроники. Создание мазеров и лазеров. ФКС и КЭ – важные источники технических приложений физики второй половины XX в. Воздействие идей и методов ФКС и КЭ на смежные области физики, химию, биологию и медицину. Основные научные центры и школы в области ФКС и КЭ. Значительность отечественного вклада в оба направления (ФКС — школа А. Ф. Иоффе, П. Л. Капица, Л. Д. Ландау, Ж. И. Алфёров и др.; КЭ — Н. Г. Басов, А. М. Прохоров и др.).

#### 6.3. Физика высоких энергий: на пути к стандартной модели.

Интенсивное развитие физики элементарных частиц и высоких энергий, вызванное успешной реализацией национальных ядерно-оружейных программ (1950–1960-е гг.). Создание больших ускорителей заряженных частиц. Коллайдеры и накопительные кольца. Пузырьковые камеры и другие средства регистрации частиц.

Квантовая теория поля – теоретическая основа физики элементарных частиц. Физика нейтрино и слабых взаимодействий. Концепция калибровочного поля и разработка на её основе перенормируемых квантовой хромодинамики (КХД) (современного аналога теории сильных взаимодействий) и единой теории электрослабых взаимодействий.

#### 6.4. Релятивистские астрофизика и космология.

Теоретическая основа астрофизики и космологии – общая теория относительности. Волна открытий в астрофизике и космологии 1960-х гг., связанных с развитием радиотелескопов, рентгеновской и гамма-астрономии. Открытие квазаров; реликтового излучения, подтверждающего гипотезу “горячей Вселенной”; пульсаров, отождествлённых с нейтронными звёздами. Рентгеновские и гамма-телескопы на искусственных спутниках Земли (ИСЗ). Развитие физики чёрных дыр. Нейтринная астрономия. Инфляционная космология. Проблема гравитационных волн. Гравитационные линзы. Проблема скрытой массы. Космологические модели с  $\lambda$ -членом в уравнениях Эйнштейна и космический вакуум.

### 7. Заключительная часть

Общая характеристика квантово-релятивистской картины мира (парадигма). Нерешённые проблемы физики в начале XXI в. Проблема единой теории 4-х фундаментальных взаимодействий. Квантовая теория гравитации и суперструны. Проблема грядущих научных революций в физике.

## 5. Форма промежуточной аттестации: кандидатский экзамен.

## Аннотация дисциплины «Иностранный язык»

**Направление** 03.06.01 Физика и астрономия

**Направленность (профиль)** «Физика полупроводников»

1. Дисциплина «Иностранный язык» относится к базовой части блока Б1.
2. Целью освоения дисциплины «Иностранный язык» является формирование у аспирантов необходимого для сдачи кандидатского экзамена уровня знаний, умений и навыков в области чтения, говорения, аудирования, перевода, аннотирования, реферирования и письма.
3. Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зачетных единиц, 144 часа.
4. Содержание дисциплины:

### 1. Виды речевой коммуникации

**1.1. Говорение.** Аспирант должен владеть подготовленной, а также неподготовленной монологической речью, уметь делать резюме, сообщения, доклад на иностранном языке; диалогической речью в ситуациях научного, профессионального и бытового общения в пределах изученного языкового материала и в соответствии с избранной специальностью.

**1.2. Аудирование.** Аспирант должен уметь понимать на слух оригинальную монологическую и диалогическую речь по специальности, опираясь на изученный языковой материал, фоновые страноведческие и профессиональные знания, навыки языковой и контекстуальной догадки.

**1.3. Чтение.** Аспирант должен уметь читать, понимать и использовать в своей научной работе оригинальную научную литературу по специальности, опираясь на изученный языковой материал, фоновые страноведческие и профессиональные знания и навыки языковой и контекстуальной догадки. Владеть всеми видами чтения (изучающее, ознакомительное, поисковое и просмотровое).

**1.4. Письмо.** Аспирант должен владеть умениями письма в пределах изученного языкового материала, в частности уметь составить план (конспект) прочитанного, изложить содержание прочитанного в форме резюме; написать сообщение или доклад по темам проводимого исследования.

### 2. Языковой материал

#### 2.1. Виды речевых действий и приемы ведения общения

При отборе конкретного языкового материала необходимо руководствоваться следующими функциональными категориями:

*Передача фактуальной информации:* средства оформления повествования, описания, рассуждения, уточнения, коррекции услышанного или прочитанного, определения темы сообщения, доклада и т.д.

*Передача эмоциональной оценки сообщения:* средства выражения одобрения/неодобрения, удивления, восхищения, предпочтения и т.д.

*Передача интеллектуальных отношений:* средства выражения согласия/несогласия, способности/неспособности сделать что-либо, выяснение возможности/невозможности сделать что-либо, уверенности/неуверенности говорящего в сообщаемых им фактах.

*Структурирование дискурса:* оформление введения в тему, развитие темы, смена темы, подведение итогов сообщения, инициирование и завершение разговора, приветствие, выражение благодарности, разочарования и т.д.;

владение основными формулами этикета при ведении диалога, научной дискуссии, при построении сообщения и т.д.

## **2.2. Фонетика**

Интонационное оформление предложения: словесное, фразовое и логическое ударения, мелодия, паузация; фонологические противопоставления, релевантные для изучаемого языка: долгота/краткость, закрытость/открытость гласных звуков, звонкость/глухость конечных согласных и т.п.

## **2.3. Лексика**

Лексический запас сдающего кандидатский экзамен должен составить не менее 5500 лексических единиц с учетом вузовского минимума и потенциального словаря, включая примерно 500 терминов профилирующей специальности.

## **2.4. Грамматика**

### Английский язык

Порядок слов простого предложения. Сложное предложение: сложносочиненное и сложноподчиненное предложения. Союзы и относительные местоимения. Эллиптические предложения. Бессоюзные придаточные. Употребление личных форм глагола в активном и пассивном залогах. Согласование времен. Функции инфинитива: инфинитив в функции подлежащего, определения, обстоятельства. Синтаксические конструкции: оборот «дополнение с инфинитивом» (объектный падеж с инфинитивом); оборот «подлежащее с инфинитивом» (именительный падеж с инфинитивом); инфинитив в функции вводного члена; инфинитив в составном именном сказуемом (*be + инф.*) и в составном модальном сказуемом; (оборот «*for + smb. To do smth.*»), Сослагательное наклонение. Модальные глаголы. Модальные глаголы с простым и перфектным инфинитивом. Атрибутивные комплексы (цепочки существительных). Эмфатические (в том числе инверсионные) конструкции в форме *Continuous* или пассива; инвертированное придаточное уступительное или причины; двойное отрицание. Местоимения, слова-заместители (*that (of), those (of), this, these, do, one, ones*), сложные и парные союзы, сравнительно-сопоставительные обороты (*as...as, not so...as, the...the*).

### Французский язык

Порядок слов простого предложения. Сложное предложение: сложносочиненное и сложноподчиненное предложения. Союзы. Употребление личных форм глаголов в активном залоге. Согласование времен. Пассивная форма глагола. Возвратные глаголы в значении пассивной формы. Безличные конструкции. Конструкции с инфинитивом: *avoir à + infinitif, être à + infinitif, laisser + infinitif, faire + infinitif*. Неличные формы глагола: инфинитив настоящего и прошедшего времени; инфинитив, употребляемый с предлогами; инфинитивный оборот. Причастие настоящего времени; причастие прошедшего времени; деепричастие; сложное причастие прошедшего времени. Абсолютный причастный оборот. Условное наклонение. Сослагательное наклонение. Степени сравнения прилагательных и наречий. Местоимения: личные, относительные, указательные; местоимение среднего рода *le*, местоимения-наречия *en* и *y*.

### Немецкий язык

Простые распространенные, сложносочиненные и сложноподчиненные предложения. Рамочная конструкция и отступления от нее. Место и порядок слов придаточных предложений. Союзы и корреляты. Бессоюзные придаточные предложения. Распространенное определение. Причастие I с *zu* в функции определения. Приложение. Степени сравнения прилагательных. Указательные местоимения в функции замены существительного. Однородные члены предложения разного типа. Инфинитивные и причастные обороты в различных функциях. Модальные конструкции *sein* и *haben + zu + infinitiv*. Модальные глаголы с инфинитивом I и II актива и пассива. Конъюнктив и кондиционалис в различных типах предложений. Футурум I и II в модальном значении. Модальные слова. Функции пассива и конструкции *sein + Partizip II* (статива). Трехчленный, двучленный и одночленный (безличный пассив). Сочетания с послелогоми, предлогами с уточнителями. Многозначность и синонимия сою-

зов, предлогов, местоимений, местоименных наречий и т.д. Коммуникативное членение предложения и способы его выражения.

**5. Форма промежуточной аттестации:** кандидатский экзамен.

**Аннотация дисциплины  
«Педагогика и психология высшей школы»**

**Направление** 03.06.01 Физика и астрономия

**Направленность (профиль)** «Физика полупроводников»

1. Дисциплина «Педагогика и психология высшей школы» относится к обязательным дисциплинам вариативной части блока Б1.
2. Основной целью освоения дисциплины «Педагогика и психология высшей школы» является подготовка к преподавательской деятельности, в том числе:
  - формирование представлений об особенностях педагогической деятельности в высшей школе;
  - приобретение знаний по педагогике и психологии высшей школы: формирование мотивации учения, управление познавательной деятельностью обучающихся.
  - изучение общих принципов организации учебного процесса в высшей школе.
3. Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 зачетных единиц, 108 часов.
4. Содержание дисциплины:

*Тема 1: Цели и задачи высшей школы на современном этапе.*

Тенденции развития современного высшего образования в России.

Подходы к определению целей образования: обучение как формирование опыта; обучение как формирование личности профессионала.

Модель личности профессионала: профессиональная направленность, профессиональный опыт, профессионально-важные качества, индивидуальный стиль деятельности. Этапы формирования профессионала, цели и задачи работы на каждом этапе. Классификация методов обучения и воспитания в вузе.

Нормативное обеспечение образовательного процесса в высшей школе. Федеральный государственный образовательный стандарт: его структура и содержание.

*Тема 2: Технология знаково-контекстного подхода А.А.Вербицкого.*

Учебная деятельность. Противоречия учебной и профессиональной деятельности. Контекстное обучение. Информация и знание. Основные принципы контекстного обучения. Модель динамического движения деятельности в контекстном обучении. Два этапа и три вида учебной деятельности: учебная деятельность академического типа, квазипрофессиональная деятельность, учебно-профессиональная деятельность. Педагогические технологии контекстного обучения. Активные методы обучения: обмен вопросами в малых группах, анализ ситуаций профессиональной деятельности, кейс-метод, деловые игры, разработка проектов и мини-проектов, взаимодействие подгрупп с ранней ролевой определенностью, дискуссии, демонстрации с привлечением студентов, социально-психологический тренинг.

*Тема 3: Мотивы учения.*

Структура учебной деятельности. Концепции мотивации учебной деятельности. Виды мотивов учения: познавательные и социальные мотивы. Формирование мотивов учения. Мотивация на изучение предмета, мотивация на выполнение отдельных заданий. Методические приемы: связь с практикой, ориентация на успех, принцип выбора заданий, связь с другими областями знаний, разъяснение учебных целей, личностная и профессиональная значимость целей, использование активных методов обучения, методическое разнообразие.

*Тема 4: Психолого-педагогические аспекты организации учебной деятельности студентов.*

Лекция как форма учебной деятельности в высшей школе. Виды лекций. Лекторское мастерство. Условия превращения лекции в интерактивную. Имидж преподавателя. Практи-

ческие занятия. Формы проведения семинаров. Психолого-педагогические цели семинарских занятий. Семинар рефератов. Семинар по типу круглого стола. Психологические контакты с аудиторией: личностный, эмоциональный, познавательный контакт. Психологические барьеры, условия преодоления барьеров. Учет познавательных возможностей слушателей. Управление вниманием аудитории. Восприятие и понимание учебного материала. Организация запоминания. Развитие мышления студентов. Организация самостоятельной работы студентов: формы и методы. Формы контроля. Понятие фонда оценочных средств и его разработка. Виды оценочных средств. Проведение зачетов и экзаменов.

*Тема 5: Воспитательная работа*

Роль воспитательной работы со студентами. Психологическая характеристика студенчества как социальной группы: ценностные ориентации, интересы, профессиональные планы. Возрастно-психологические особенности студентов. Психологические характеристики студенческой группы.

*Тема 6: Учебно-методическая работа в ВУЗе*

Методическое обеспечение учебного процесса в ВУЗе. Основная образовательная программа и ее структура. Учебный план. Рабочая программа дисциплины и ее содержание. Проектирование и разработка рабочих программ дисциплин. Технологии анализа учебного занятия. Методика разработки учебных занятий.

*Тема 7:* На итоговой консультации разбираются выполненные аспирантами задания для самостоятельной работы по темам дисциплины (в том числе и тест для самопроверки по дисциплине), преподаватель отвечает на вопросы аспирантов.

**5. Форма промежуточной аттестации: зачет.**



## **Аннотация дисциплины «Стилистика научной речи»**

**Направление** 03.06.01 Физика и астрономия

**Направленность (профиль)** «Физика полупроводников»

1. Дисциплина «Стилистика научной речи» относится к факультативным дисциплинам.
2. Целью освоения дисциплины является повышение имеющегося у аспирантов уровня практического владения современным русским литературным языком и усовершенствование навыков создания устных и письменных текстов, принадлежащих к различным жанрам научного стиля речи.
3. Общая трудоемкость дисциплины составляет 2 зачетные единицы, 72 часа.
4. Содержание дисциплины:

### **1. Научный стиль русского литературного языка. Общая характеристика, языковые признаки.**

Понятие функционального стиля. Понятие стилистической окраски. Научный стиль как функциональная разновидность литературного языка. Культура научной и профессиональной речи. Жанры научного стиля. Первичные и вторичные научные тексты. Аннотация и реферат как основные виды вторичных текстов.

### **2. Культура речи. Нормы современного русского литературного языка.**

Понятие культуры речи. Нормативный аспект культуры речи. Лексические, грамматические и стилистические нормы. Нарушения норм, наиболее часто встречающиеся в научных текстах разных жанров.

### **3. Библиографическое описание.**

Библиографическое описание и его элементы. Библиографические ссылки и списки: виды и особенности оформления. Нормативные документы, используемые при составлении библиографического описания, библиографических ссылок.

5. **Форма промежуточной аттестации:** зачет.

## Аннотация дисциплины «Этика науки»

**Направление** 03.06.01 Физика и астрономия

**Направленность (профиль)** «Физика полупроводников»

1. Дисциплина «Этика науки» относится к факультативным дисциплинам.
2. Целью освоения дисциплины является формирование целостного философски осмысленного представления об этике науки как одной из важнейших характеристик всей современной научной деятельности.
3. Общая трудоемкость дисциплины составляет 2 зачетные единицы, 72 часа.
4. Содержание дисциплины:

1. Этика как наука о морали. Основания морали.

Происхождение этики. Специфика этического познания. Проблема обоснования морали. Мораль и нравы. Метаэтика. Формирование прикладной этики. Наука как объект изучения этики. Роль научной этики в современной российской науке.

2. Становление этики науки.

Разделение наук о природе и наук о духе в неокантианстве. Ценностная основа наук о духе. Представление о ценностной нейтральности и самодостаточности науки в 1-й половине XX века. Моральная рефлексия о науке во 2-й половине XX века. Плюрализм точек зрения на соотношение науки и этики в наше время. Наука и этика в эпоху глобализации.

3. Современная профессиональная этика.

Этика науки и этика ученого. Условия возникновения и функции профессиональной этики. Связь профессионализма и нравственности. Этика науки в системе профессиональной этики. Кодексы профессиональной этики, их взаимосвязь с универсальными требованиями морали.

4. Структура научной деятельности в ценностно-этическом контексте.

Знание как ценность. Идеал научности: различные понимания. Ценности научного поиска. Гуманистические ценности науки: бескорыстность, правдивость, толерантность, идея служения обществу. Культурно-мировоззренческая функция науки в социуме.

5. Этика и деонтология науки. Этические проблемы науки XXI века.

Этика науки и этика частных наук. Соотношение универсальных моральных требований, общенаучных моральных требований и норм частных наук. Различия в ценностном и нормативном аспекте точных, естественных и гуманитарных наук. Условия и предпосылки появления прикладной этики. Необходимость морального контроля областей знания, касающихся жизни и благополучия людей. Биоэтика. Биомедицинская этика. Политическая этика. Понятие и виды глобальных проблем человечества. Роль науки в их возникновении и осмыслении. Наука и экологический кризис. Экологическая этика. Этическое осмысление процессов глобализации и угроз, связанных с ней (терроризм, массовая миграция, бедность, эпидемии и т.д.).

6. Проблемы свободы и социальной ответственности в этике и деонтологии.

Понятие ответственности в этике; виды ответственности. Необходимые моральные ограничения науки как вида человеческой деятельности. Возможность различного использования научных результатов. Этика науки и этика технологии. Ответственность ученого перед человечеством, страной, научным сообществом, научной школой. Национальная принадлежность и космополитизм ученого.

7. Этика ученого сообщества.

Моратории на различные виды научных исследований. Запрет негуманных методов проведения экспериментов. Запрет социальноопасных исследований. Идеологическая нейтральность.

Признание заслуг конкурентов и коллег. Необходимость публичного признания ошибок. Нормы этикета в научном сообществе. Научные школы, направления, корпорации. Правила научного общения, дискуссии, полемики.

**5. Форма промежуточной аттестации:** зачет.

**Аннотация дисциплины**  
**«Электронное обучение и дистанционные образовательные технологии»**

**Направление** 03.06.01 Физика и астрономия

**Направленность (профиль)** «Физика полупроводников»

1. Дисциплина «Электронное обучение и дистанционные образовательные технологии» относится к обязательным дисциплинам вариативной части блока Б1.

**2. Цели освоения дисциплины**

Ознакомление с компьютерными методами формирования информационно-образовательной среды и применением электронного обучения и дистанционных технологий

3. Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 зачетные единицы, 108 часов.

4. Содержание дисциплины:

**1. Информационно-образовательная среда учебного процесса.** Формирование понятия электронной информационно-образовательной среды. Применяемые модели. Информационно-образовательное пространство, построенное с помощью интеграции информации на традиционных и электронных носителях, компьютерно-телекоммуникационных технологиях взаимодействия, включающее в себя виртуальные библиотеки, распределенные базы данных, учебно-методические комплексы и расширенный аппарат дидактических подходов

**2. Компьютерные технологии в образовательном процессе.** Применения компьютерных технологий в образовательном процессе. Компьютерное тестирование. Информационное обеспечение и иллюстративная поддержка образовательного процесса. Электронные обучающие системы. Виртуальный практикум

**3. Электронный учебный контент: жанры.** Курсы для ВУЗовского образования. Корпоративные курсы. Курсы для поддержки очных и заочных тренингов. Курсы широкого профиля для коммерческой продажи. Курсы от вендоров («Основы фотошопа») и др.

**4. Структура электронной обучающей системы.** Структура электронной обучающей системы. Современное состояние электронных обучающих комплексов. Параметры, определяющие качество системы. Примеры реализации.

**5. Виртуальный практикум.** Виртуальный практикум. Компьютерные симуляторы. Примеры реализации.

**6. Структура применения современной электронной обучающей системы.** Структура применения современной электронной обучающей системы. Обучающая траектория. Методическое сопровождение.

**7. Разработка электронного ресурса.** Разработка электронного ресурса. Подходы и среды. Состав команды. Оформление. Создание и применение отдельных компонентов. Создание гипертекстовых документов. Специализированные среды.

**8. Специализированные среды. Moodle. WebTutor.** Moodle – модулярная объектно-ориентированная динамическая обучающая среда. Участники образовательного процесса. Порог доступности для различных групп. Виды ресурсов теоретической части курса. Виды ресурсов практической части. Доступ к системе. Разработка и использование образовательных ресурсов в среде Moodle. WebTutor – возможности применения.

5. **Форма промежуточной аттестации:** зачет.

## Аннотация дисциплины «Физика полупроводников»

**Направление** 03.06.01 Физика и астрономия

**Направленность (профиль)** «Физика полупроводников»

1. Дисциплина «Физика полупроводников» относится к обязательным дисциплинам вариативной части блока Б1.
2. Целями освоения дисциплины «Физика полупроводников» являются: получение фундаментальных знаний в области физики полупроводников; представлений о химических связях и атомно-кристаллической структуре полупроводников, физических свойствах (электронных, магнитных, оптических и др.) проводниковых материалов; о взаимосвязи между атомно-электронной структурой, составом и различными физическими свойствами материалов, применяемых в области электроники; о физических принципах работы полупроводниковых приборов и методах получения полупроводниковых структур; формирование навыков экспериментального изучения физических параметров полупроводниковых систем.
3. Общая трудоемкость дисциплины составляет 6 зачетных единиц, 216 часов.
4. Содержание дисциплины:

### 1. Химическая связь и атомная структура полупроводников

Предмет, цели и задачи курса. Основная терминология. Электронная конфигурация внешних оболочек атомов и типы сил связи в твердых телах. Ван-дер-ваальсова, ионная и ковалентная связь. Структуры важнейших полупроводников – элементов  $A^{IV}$ ,  $A^{VI}$  и соединений типов  $A^{III}B^V$ ,  $A^{II}B^{VI}$ ,  $A^{IV}B^{VI}$ .

Симметрия кристаллов. Трансляционная симметрия кристаллов. Базис и кристаллическая структура. Элементарная ячейка. Примитивная ячейка. Ячейка Вигнера—Зейтца. Решетка Браве. Обозначения узлов, направлений и плоскостей в кристалле. Обратная решетка, ее свойства. Зона Бриллюэна.

Примеси и структурные дефекты в кристаллических и аморфных полупроводниках. Химическая природа и электронные свойства примесей. Точечные, линейные и двумерные дефекты.

### 2. Основы технологии полупроводников и методы определения их параметров.

Методы выращивания объемных монокристаллов из жидкой и газовой фаз. Методы выращивания эпитаксиальных пленок (эпитаксия из жидкой и газовой фазы). Молекулярно-лучевая эпитаксия. Металлорганическая эпитаксия. Методы легирования полупроводников.

Основные методы определения параметров полупроводников: ширины запрещенной зоны, подвижности и концентрации свободных носителей, времени жизни неосновных носителей, концентрации и глубины залегания уровней примесей и дефектов.

### 3. Основы зонной теории полупроводников

Основные приближения зонной теории. Волновая функция электрона в периодическом поле кристалла. Теорема Блоха. Зона Бриллюэна. Энергетические зоны.

Законы дисперсии для важнейших полупроводников. Изоэнергетические поверхности. Тензор обратной эффективной массы. Плотность состояний. Особенности Ван-Хова.

Уравнения движения электронов и дырок во внешних полях. Метод эффективной массы. Искажение энергетических зон в электрическом поле. Движение электронов и дырок в магнитном поле. Определение эффективных масс из циклотронного (диамагнитного) резонанса. Связь зонной структуры с оптическими свойствами полупроводника.

Уровни энергии, создаваемые примесными центрами в полупроводниках. Доноры и акцепторы. Мелкие и глубокие уровни. Водородоподобные примесные центры.

#### **4. Равновесная статистика электронов и дырок в полупроводниках**

Функция распределения электронов. Концентрация электронов и дырок в зонах, эффективная плотность состояний. Невырожденный и вырожденный электронный (дырочный) газ. Концентрации электронов и дырок на локальных уровнях. Факторы вырождения примесных состояний.

Положение уровня Ферми и равновесная концентрация электронов и дырок в собственных и примесных (некомпенсированных и компенсированных) полупроводниках. Многозарядные примесные центры.

#### **5. Кинетические явления в полупроводниках**

Кинетические коэффициенты – проводимость, постоянная Холла и термо-ЭДС. Дрейфовая скорость, дрейфовая и холловская подвижности, фактор Холла. Дрейфовый и диффузионный ток. Соотношение Эйнштейна.

Механизмы рассеяния носителей заряда в неидеальной решетке. Взаимодействие носителей заряда с акустическими и оптическими фононами. Рассеяние носителей заряда на заряженных и нейтральных примесях. Горячие электроны. Отрицательная дифференциальная проводимость. Электрические неустойчивости; электрические домены и токовые шнуры.

#### **6. Рекомбинация электронов и дырок в полупроводниках**

Генерация и рекомбинация неравновесных носителей заряда. Квазиравновесие, квазиуровни Ферми. Уравнение кинетики рекомбинации. Времена жизни. Фотопроводимость.

Механизмы рекомбинации. Излучательная и безызлучательная рекомбинация. Межзонная рекомбинация. Рекомбинация через уровни примесей и дефектов. Центры прилипания. Оже-рекомбинация.

Пространственно неоднородные неравновесные распределения носителей заряда. Амбиплярная диффузия. Эффект Дембера. Длина диффузии неравновесных носителей заряда.

#### **7. Контактные явления в полупроводниках**

Схема энергетических зон в контакте металл-полупроводник. Обогащенные, обедненные и инверсионные слои пространственного заряда вблизи контакта. Вольт-амперная харак-

характеристика барьера Шоттки. Энергетическая диаграмма  $p$ - $n$  перехода. Инжекция неосновных носителей заряда в  $p$ - $n$  переходе.

Гетеропереходы. Энергетические диаграммы гетеропереходов. Варизонные полупроводники.

## **8. Свойства поверхности полупроводников**

Поверхностные состояния и поверхностные зоны. Искривление зон, распределение заряда и потенциала вблизи поверхности. Поверхностная рекомбинация. Эффект поля. Таммовские уровни. Скорость поверхностной рекомбинации.

## **9. Оптические явления в полупроводниках**

Комплексная диэлектрическая проницаемость, показатель преломления, коэффициент отражения, коэффициент поглощения. Связь между ними и соотношения Крамерса—Кронига.

Межзонные переходы. Край собственного поглощения в случае прямых и непрямых, разрешенных и запрещенных переходов. Экситонное поглощение и излучение. Спонтанное и вынужденное излучение. Поглощение света на свободных носителях заряда. Поглощение света на колебаниях решетки. Рассеяние света колебаниями решетки, комбинационное рассеяние на оптических фононах (Рамана – Ландсберга), рассеяние на акустических фононах (Бриллюэна – Манделъштама).

Влияние примесей на оптические свойства. Примесная структура оптических спектров вблизи края собственного поглощения в прямозонных и непрямозонных полупроводниках. Межпримесная излучательная рекомбинация. Экситоны, связанные на примесных центрах.

Оптические явления во внешних полях. Эффект Франца-Келдыша. Эффект Поккельса. Эффект Бурштейна-Мосса. Эффекты Фарадея и Фойгта.

## **10. Фотоэлектрические явления**

Примесная и собственная фотопроводимость. Влияние прилипания неравновесных носителей заряда на фотопроводимость. Оптическая перезарядка локальных уровней и связанные с ней эффекты. Термостимулированная проводимость. Фоторазогрев носителей заряда. Фотоэлектромагнитный эффект.

## **11. Некристаллические полупроводники**

Аморфные и стеклообразные полупроводники. Структура атомной матрицы некристаллических полупроводников. Идеальное стекло. Гидрированные аморфные полупроводники.

Особенности электронного энергетического спектра неупорядоченных полупроводников. Плотность состояний. Локализация электронных состояний. Щель подвижности.

Легирование некристаллических полупроводников. Механизмы переноса носителей заряда. Прыжковая проводимость. Закон Мотта. Спектры оптического поглощения некристаллических материалов. Правило Урбаха.

Нестационарные процессы. Определение дрейфовой подвижности по измерениям времени пролета. Дисперсионный перенос.



Влияние внешних воздействий на свойства некристаллических полупроводников. Метастабильные состояния.

## **12. Полупроводниковые структуры пониженной размерности и сверхрешетки**

Размерное квантование. Двумерные и квазидвумерные электронные системы и структуры, в которых они реализуются. Контра- и ковариантные композиционные сверхрешетки, легированные сверхрешетки легирования. Квантовые нити. Квантовые точки. Энергетический спектр электронов и плотность состояний в этих системах.

Оптические явления в структурах с квантовыми ямами, правила отбора для межзонных и внутризонных (межподзонных) переходов. Межзонное поглощение и излучательная рекомбинация в этих структурах. Экситоны в квантовых ямах, квантово-размерный эффект Штарка.

Электрические и гальваномагнитные явления в двумерных структурах. Эффект Шубникова-де Гааза. Общее представление о квантовом эффекте Холла.

## **13. Принципы действия полупроводниковых приборов**

Вольтамперная характеристика *p-n* перехода. Приборы с использованием *p-n* переходов. Туннельный диод. Диод Ганна. Биполярный транзистор. Тиристор. Энергетическая диаграмма структуры металл-диэлектрик-полупроводник (МДП). Полевые транзисторы на МДП-структурах. Приборы с зарядовой связью. Шумы в полупроводниковых приборах.

Фотоэлементы и фотодиоды. Спектральная чувствительность и обнаружительная способность. Полупроводниковые детекторы ядерных излучений. Фотоэлектрические преобразователи, КПД преобразования.

Светодиоды и полупроводниковые лазеры. Инжекционные лазеры на основе двойной гетероструктуры.

Использование наноструктур в полупроводниковых приборах. Гетеротранзистор с двумерным электронным газом (НЕМТ). Гетеролазеры на основе структур с квантовыми ямами и квантовыми точками. Резонансное туннелирование в двухбарьерной гетероструктуре и резонансно-туннельный диод. Оптический модулятор на основе квантово-размерного эффекта Штарка.

## **5. Форма промежуточной аттестации: кандидатский экзамен.**

**Аннотация дисциплины**  
**«Избранные главы физики полупроводников - I»**

**Направление** 03.06.01 Физика и астрономия

**Направленность (профиль)** «Физика полупроводников»

1. Дисциплина «Избранные главы физики полупроводников - I» относится к разделу дисциплины по выбору вариативной части блока Б1.
2. Целями освоения дисциплины «Избранные главы физики полупроводников – I» являются:
  - усвоение аспирантами знаний о физике кинетических явлений в полупроводниках, об использовании явлений переноса в полупроводниковых приборах нового поколения;
  - изучение модельных представлений и основных теоретических принципов, описывающих кинетические свойства полупроводниковых кристаллов и пленок полупроводниковых материалов;
  - формирование у аспирантов навыков экспериментального изучения явлений переноса в полупроводниковых системах.
3. Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зачетные единицы, 144 часа.
4. Содержание дисциплины:
  - **Кинетическое уравнение Больцмана. Процессы проводимости**
    - Предмет цели и задачи курса. Основная терминология. Кинетическое уравнение Больцмана. Время релаксации.
    - Плотность электрического тока и плотность потока энергии.
    - Кинетические коэффициенты. Электропроводность полупроводников. Гальваномагнитные эффекты.
  - **Влияние магнитных, электрических и температурных полей на квантовые явления**
    - Эффект Холла в области примесной проводимости. Эффект Холла в материале с несколькими типами носителей заряда. Зависимость коэффициента Холла от величины магнитного поля. Применение эффекта Холла.
    - Магниторезистивный эффект. Зависимость эффекта от параметров полупроводника. Применение магниторезистивного эффекта для определения подвижности носителей заряда в структурах с различной геометрией.
    - Теплопроводность полупроводников. Термоэлектрические явления. Термомагнитные явления. Приборы на основе этих явлений.
  - **Общий анализ кинетических явлений**
    - Общий анализ кинетических явлений. О кинетических явлениях в полупроводниках с тензорной эффективной массой.
    - Тензорезистивный эффект. Тензочувствительность. Коэффициенты пьезосопротивления. Методика измерения тензорезистивного эффекта на кристаллах и пленках.
5. **Форма промежуточной аттестации:** зачет.

**Аннотация дисциплины**  
**«Формирование и свойства наноструктурированных полупроводников»**

**Направление** 03.06.01 Физика и астрономия

**Направленность (профиль)** «Физика полупроводников»

1. Дисциплина «Формирование и свойства наноструктурированных полупроводников» относится к разделу дисциплины по выбору вариативной части блока Б1.
2. Целями освоения дисциплины «Формирование и свойства наноструктурированных полупроводников» в соответствии с общими целями основной профессиональной образовательной программы послевузовского профессионального образования (аспирантура) (далее - образовательная программа послевузовского профессионального образования) являются:
  - усвоение аспирантами знаний о физических явлениях, имеющих место в наноструктурированных полупроводниках, об использовании этих материалов в твердотельных устройствах нового поколения;
  - изучение модельных представлений и основных теоретических принципов изменения свойств полупроводников при переходе в нанометровый диапазон;
  - формирование у аспирантов навыков экспериментального изучения наноструктурированных систем.
3. Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зачетные единицы, 144 часа.
4. Содержание дисциплины:
  1. **Предмет, цели и задачи курса.**

Основная терминология. Тенденция перехода от микроэлектроники к наноэлектронике. Уменьшение топологического размера элементов. Наноэлектроника. Мезоскопика. Молекулярно-атомный уровень. Области применения наноэлектроники и нанотехнологий. Взаимосвязь с другими науками. Нанотехнологии и общество.
  2. **Свойства частиц малых размеров.**

0-D, 1-D, 2-D, 3-D системы. Зависимость свойств от размеров и размерности. Изменение соотношения внешних и внутренних атомов в кластере. Изменение координационного числа для кластера. Изменение температуры плавления (кластер, пленка). Изменение постоянной решетки. Изменение энергии связи.
  3. **Электронные свойства наночастиц.**

Изменение ширины запрещенной зоны в полупроводниках; зависимость от размерности. Изменение зонной структуры металла; размерно-индуцированный переход «металл-диэлектрик». Изменение оптических свойств металлов и полупроводников. Изменение электрических и магнитных свойств. Изменение химических свойств
  4. **Нанотехнологии.**

Два подхода к получению наноструктур. “Bottom-up” и “Top-down” методы. Методы субмикронной фотолитографии. Электронная литография. Ионная литография. Рентгеновская литография. Литография с применением синхротронного излучения. Литография нановдавливанием. Наносферная литография.
  5. **Методы формирования и свойства квантовых точек**

Формирование квантовых точек по механизму Странски-Крастанова. Атомное манипулирование. Квантовые «загоны» Эглера. Процессы контролируемого размещения

квантовых точек. Синтез квантовых точек в матрицах на основе полимеров. Синтез квантовых точек в стеклянных матрицах. Формирование квантовых точек в пористых матрицах (цеолиты, золь-гели).

**6. Методы формирования нанонитей и их свойства.**

Коллоидный синтез. Гидротермальный метод. Химическое осаждение. Эпитаксиальный рост нанонитей по механизму «пар-жидкость-кристалл». Электрохимическое осаждение. Принц-технология.

**7. Синтез ультратонких пленок и сверхрешеток.** Метод молекулярно-лучевой эпитаксии. Метод горячей стенки. Формирование наноструктурированных пленок на холодных и неориентированных подложках. Примеры реализации.

**8. Специальные методы диагностики.** Микроскопические методы анализа. Растровая и просвечивающая электронная микроскопия. Туннельная микроскопия. Атомно-силовая микроскопия. Фотолуминесценция наноразмерных полупроводников. Спектроскопия комбинационного рассеяния.

**5. Форма промежуточной аттестации: зачет.**

## Аннотация дисциплины «Избранные главы физики полупроводников - II»

**Направление** 03.06.01 Физика и астрономия

**Направленность (профиль)** «Физика полупроводников»

1. Дисциплина «Избранные главы физики полупроводников - II» относится к разделу дисциплины по выбору вариативной части блока Б1.
2. Целями освоения дисциплины «Избранные главы физики полупроводников – II» являются:
  - усвоение аспирантами знаний о физике контактных явлений в полупроводниках, об использовании контактов различного вида в твердотельных устройствах нового поколения;
  - изучение модельных представлений и основных теоретических принципов, описывающих свойства контактов полупроводника с металлами, диэлектриками, другими полупроводниками;
  - формирование у аспирантов навыков экспериментального изучения контактных явлений в полупроводниковых системах.
3. Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зачетные единицы, 144 часа.
4. Содержание дисциплины:

### **Тема 1. Контакт металл-полупроводник**

Предмет, цели и задачи курса. Основная терминология. Контакт металл-полупроводник. Запорный и антизапорный слой. Распределение потенциала в запирающем слое. Ширина запирающего слоя. Емкость запирающего слоя Шоттки.

### **Тема 2. Контактные явления на границе раздела металл-полупроводник**

Диодная теория выпрямления запирающего слоя Шоттки. Диффузионная теория выпрямления. Влияние сил изображения. Вольт-амперная характеристика диода с барьером Шоттки при наличии туннелирования. Способы создания омических контактов к полупроводникам.

### **Тема 3. Электронно-дырочные переходы**

Электронно-дырочные переходы. Образование перехода, контактная разность потенциалов. Распределение потенциала для резкого и плавного перехода. Емкость перехода. Влияние центров с глубокими уровнями на емкость.

### **Тема 4. Диодная теория выпрямления. Основные допущения**

Вольт-амперная характеристика. Диод с тонкой базой. Вольт-амперная характеристика p-i-n диода. Влияние генерации и рекомбинации носителей на вид вольт-амперной характеристики.

### **Тема 5. Гетеропереходы**

Гетеропереходы. Классификация гетеропереходов. Энергетические диаграммы гетеропереходов. Распределение потенциала. Емкость гетеропереходов. Вольт-амперные характеристики гетеропереходов для анизотипных и изотипных случаев.

### **Тема 6. Переходные процессы в полупроводниковых диодах**

Переходные процессы в полупроводниковых диодах. Определение и классификация переходных процессов. Переходный процесс при переключении диода из нейтрального в пропускное состояние. Переходный процесс при переключении диода из пропускного состояния в запирающее.

### **Тема 7. Структуры металл-диэлектрик-полупроводник**

Электронные процессы в структурах металл-диэлектрик-полупроводник. Энергетические диаграммы идеальных МДП-структур. Концентрация носителей заряда в структуре. Вольт-фарадные характеристики МДП-структур для различных частот.

### **Тема 8. Применение контактных явлений**

Общая классификация приборов на основе контактных явлений. Области применения различных видов контактов.

**5. Форма промежуточной аттестации: зачет.**

## Аннотация дисциплины

### «Методы измерения и анализа электрических свойств полупроводниковых пленок»

Направление 03.06.01 Физика и астрономия

Направленность (профиль) «Физика полупроводников»

1. Дисциплина «Методы измерения и анализа электрических свойств полупроводниковых пленок» относится к разделу дисциплины по выбору вариативной части блока Б1.
2. Целями освоения дисциплины «Методы измерения и анализа электрических свойств полупроводниковых пленок» в соответствии с общими целями основной профессиональной образовательной программы послевузовского профессионального образования (аспирантура) (далее - образовательная программа послевузовского профессионального образования) являются:
  - усвоение аспирантами знаний о физических явлениях, имеющих место в полупроводниковых пленках, об использовании пленочных систем в твердотельных устройствах нового поколения;
  - изучение модельных представлений и основных теоретических принципов изменения свойств полупроводниковых пленок при вариации толщины и структурных параметров;
  - формирование у аспирантов навыков экспериментального изучения явлений переноса в пленочных системах.

3. Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зачетные единицы, 144 часа.

4. Содержание дисциплины:

**1. Предмет, цели и задачи курса.**

Основная терминология. Роль пленочного материаловедения в современном технологическом процессе. Общая характеристика методов формирования пленок. Особенности эпитаксиального роста полупроводниковых пленок. Критическое соотношение параметров пленки и подложки.

**2. Механизмы роста.**

Процессы эпитаксиального роста полупроводниковых пленок. Механизм Фольмера-Вебера. Механизм Франка и Ван-дер-Мерве. Механизм Крастанова-Странского. Методы определения кристаллического совершенства полупроводниковых пленок.

**3. Кинетические явления в полупроводниковых пленках.**

Особенности размерных явлений в 2-D системе. Модель Фукса-Зонгмейера проводимости тонких пленок. Зависимость удельного сопротивления полупроводниковых пленок от толщины. Примеры реализации. Зависимость подвижности носителей заряда от толщины.

**4. Квантовые размерные эффекты в полупроводниковых пленках.**

Осцилляции кинетических эффектов в зависимости от толщины. Модель «электрон в ящике». Зависимость плотности состояний от толщины пленки. Примеры расчета ширины запрещенной зоны для полупроводниковых пленок в зависимости от толщины.

**5. Классические методы определения концентрации и подвижности носителей заряда в полупроводниковых пленках.**



Особенности проведения холловских измерений на пленочных структурах. Требования к контактам. Методы определения омичности контактов.

**6. Неоднородности в пленках**

Влияние неоднородности по толщине на результаты измерений классическими методами. Двухслойная модель Петрица как способ описания простейших неоднородностей.

**7. Зондовые методы диагностики электрических параметров полупроводниковых пленок.**

Достоинства и недостатки зондовых методов анализа. Четырехзондовый метод определения удельного сопротивления полупроводниковых пленок. Четырехзондовый метод магнитосопротивления.

**8. Специальные методы диагностики электрических параметров полупроводниковых пленок.**

Трехзондовый метод. Пятизондовый метод. Исключение роли подложки при анализе данных электрических измерений. Методы определения профиля распределения удельного сопротивления по толщине пленки.

**5. Форма промежуточной аттестации: зачет.**

**Аннотация дисциплины**  
**«Избранные главы физики полупроводников - III»**

**Направление** 03.06.01 Физика и астрономия

**Направленность (профиль)** «Физика полупроводников»

1. Дисциплина «Избранные главы физики полупроводников - II» относится к разделу дисциплины по выбору вариативной части блока Б1.
2. Целями освоения дисциплины «Избранные главы физики полупроводников – III» являются:
  - усвоение аспирантами знаний о закономерностях генерации носителей заряда и их распространении в полупроводниках, о применении эффектов генерации и разделения зарядов в современной энергетике производства электричества из энергии излучения (солнечные элементы);
  - изучение модельных представлений и основных теоретических принципов, описывающих свойства генерации неравновесных носителей заряда, их разделение и применение в фотовольтаических элементах;
  - формирование у аспирантов навыков экспериментального и теоретического изучения процессов, лежащих в основе современных, экологически чистых методов генерации энергии в полупроводниковых системах.
3. Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зачетные единицы, 144 часа.
4. Содержание дисциплины:

**1. Оптическая генерация носителей заряда**

Введение. Место экологически чистых источников современной энергетике.

Монополярная оптическая генерация заряда в полупроводниках. Биполярная оптическая генерация заряда в полупроводниках.

**2. Релаксация неравновесных носителей заряда**

Механизмы рекомбинации носителей заряда в полупроводниках. Механизмы релаксации носителей заряда в полупроводниках.

**3. Поверхностная рекомбинация**

Скорость поверхностной рекомбинации. Модель Шокли-Рида. Влияние поверхностной рекомбинации на время жизни носителей заряда в образцах конечных размеров.

**4. Диффузия и дрейф неравновесных носителей заряда**

Диффузия и дрейф неосновных избыточных носителей заряда в примесном полупроводнике. Длина затягивания носителей заряда. Инжекция носителей заряда. Экстракция и аккумуляция неосновных носителей.

**5. Фотоэлектрические явления в полупроводниках**

Вентильная фотоэдс в полупроводниках. Вентильные фотоэлементы. Поверхностная фотоэдс. Фотоэлектроманнитный эффект.

**6. Туннельные явления в полупроводниках**

Контакт вырожденных электронного и дырочного полупроводников. Туннельный диод. Эффекты самоорганизации в структурах типа туннельного диода.

**7. Уравнение Больцмана**

Кинетическое уравнение Больцмана. Равновесное состояние. Неравновесное состояние. Приближение времени релаксации. Максвелловское время релаксации.

### **8. Применение внутреннего фотоэффекта**

Фотопроводимость при наличии поверхностной рекомбинации и диффузии носителей заряда. Использование эффектов фотогенерации носителей зарядов в солнечной энергетике. Увеличение коэффициента полезного действия солнечных элементов наноструктурированием.

5. **Форма промежуточной аттестации:** зачет.

**Аннотация дисциплины**  
**«Формирование, структура и свойства полупроводниковых пленок»**

**Направление** 03.06.01 Физика и астрономия

**Направленность (профиль)** «Физика полупроводников»

1. Дисциплина «Формирование, структура и свойства полупроводниковых пленок» относится к разделу дисциплины по выбору вариативной части блока Б1.
2. Целями освоения дисциплины «Формирование, структура и свойства полупроводниковых пленок» в соответствии с общими целями основной профессиональной образовательной программы послевузовского профессионального образования (аспирантура) (далее - образовательная программа послевузовского профессионального образования) являются:
  - усвоение аспирантами знаний о физических свойствах полупроводниковых пленок и их взаимосвязи со структурой и дефектами;
  - изучение современных технологий формирования полупроводниковых пленок и методов контроля их характеристик;
  - формирование у аспирантов навыков экспериментальной и практической работы с полупроводниковыми структурами.
3. Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зачетные единицы, 144 часа.

4. Содержание дисциплины:

**1. Предмет, цели и задачи курса.**

Основная терминология, понятие «пленка» и «тонкая пленка». Роль пленочных технологий в современной электронике. Общие технологические условия нанесения тонких пленок. Общая характеристика методов формирования пленок. Реальная поверхность. Методы подготовки поверхности подложек. Критическое соотношение параметров пленки и подложки.

**2. Механизмы роста пленок.**

Механизм Фольмера-Вебера. Механизм Франка и Ван-дер-Мерве. Механизм Крастнова-Странского. Зависимость свойств от размеров и размерности. Изменение соотношения внешних и внутренних атомов в кластере. Изменение координационного числа для кластера. Изменение температуры плавления (кластер, пленка). Изменение постоянной решетки. Изменение энергии связи.

**3. Квантовые размерные эффекты в полупроводниковых пленках.**

Осцилляции кинетических эффектов в зависимости от толщины. Модель «электрон в ящике». Зависимость плотности состояний от толщины пленки. Примеры расчета ширины запрещенной зоны для полупроводниковых пленок в зависимости от толщины. Модель Фукса-Зонгмейера проводимости тонких пленок.

**4. Технология термического испарения в вакууме.**

Характеристики этапов испарения, переноса и конденсации. Влияние технологических факторов на свойства пленок. Конструкции испарителей. Специфика напыления диэлектрических пленок, защитных покрытий. Метод лазерного и электронно-лучевого испарения, преимущества и недостатки.

**5. Ионно-плазменное распыление.**

Физические процессы при ионном распылении поверхности твердого тела. Катодное пространство. Распыляемая мишень как источник наносимого материала. Закономерности распыления поликристаллических и монокристаллических материалов. Основные разновидности газовых разрядов в устройствах ионного распыления. Особенности конструкции и основные характеристики методов ионно-плазменного распыления. Катодное распыление. Реактивное распыление. Магнетронное распыление. Индуктивно-связанная плазма (ICP) и плазма электрон-циклотронного резонанса.

**6. Синтез ультратонких пленок.**

Метод молекулярно-лучевой эпитаксии. Метод горячей стенки. Формирование наноструктурированных пленок на холодных и неориентированных подложках. Примеры реализации.

**7. Основные электрические параметры полупроводниковых пленок и методы их измерения.**

Эффект магнетосопротивления. Эффект Холла. Электрооптические свойства полупроводниковых пленок. Дефекты в тонких пленках и их влияние на электрофизические параметры. Причины возникновения и методы решения проблем. Зондовые методы диагностики электрических параметров полупроводниковых пленок. Достоинства и недостатки зондовых методов анализа.

**8. Специальные методы исследования тонких пленок.**

Рентгеновские дифракционные методы. Просвечивающая электронная микроскопия. Метод вторичных ионной масс-спектропии. Рентгеновский микроанализ и оже-спектропия. Метод обратного резерфордского рассеяния. Растровая электронная микроскопия. Атомно-силовая и туннельная микроскопия.

**5. Форма промежуточной аттестации: зачет.**