

Документ подписан простой электронной подписью

Информация о владельце:

ФИО: Беспалов Владимир Александрович

Должность: Ректор МИЭТ

Дата подписания: 01.09.2023 15:12:57

Уникальный программный ключ:

ef5a4fe6ed0ffdf71a49d6ad1b49464dc1bf7354f736d76c8f8bce882b8d602

## Аннотация рабочей программы дисциплины

### «Физика конденсированного состояния»

Направление подготовки: 11.03.04 «Электроника и наноэлектроника»

Направленность (профиль): «Квантовые приборы и наноэлектроника», «Интегральная электроника и наноэлектроника»

Уровень образования: бакалавриат

Форма обучения: очная

#### 1. Цели и задачи дисциплины

Целью дисциплины является формирование научной основы для осознанного и целенаправленного использования свойств твердых тел, при создании элементов и приборов наноэлектроники.

Задачи изучаемой дисциплины - расширение научного кругозора и эрудиции студентов на базе изучения фундаментальных результатов физики конденсированного состояния и практических приложений разнообразных свойств твёрдых тел; развитие понимания взаимосвязи структуры и состава твердых тел, и многообразия их физических свойств; практическое овладение основными теоретическими моделями электронных и тепловых процессов в твердом теле, навыками проведения эксперимента по изучению свойств твердых тел на современном автоматизированном измерительном стенде.

#### 2. Место дисциплины в структуре ОП

Дисциплина входит в часть, формируемую участниками образовательных отношений Блока 1 «Дисциплины (модули)» образовательной программы.

Для её освоения требуются знания, умения и опыт деятельности, приобретаемые студентами при изучении следующих дисциплин: Математический анализ; Физика. Электричество и магнетизм; Физика. Атомная физика и строение вещества; Теория вероятностей и математическая статистика; Квантовая механика, Физические основы электроники, материалы электронной техники.

#### 3. Краткое содержание дисциплины

##### 1. Электрические свойства проводников и полупроводников

**Электронный газ в кристаллах.** Классификация твёрдых тел на металлы, полуметаллы, полупроводники и диэлектрики с точки зрения зонной теории. Классическая модель электронного газа: время свободного пробега, длина свободного пробега, средняя скорость, подвижность, проводимость, плотность тока. Блоховские осцилляции. Зависимость электропроводности и диэлектрической проницаемости от частоты. Плазменные колебания и колебания плазмы (закон дисперсии поперечных колебаний электромагнитного поля в плазме). Эффект Холла. Холловское сопротивление в двумерных системах, условие квантования.

**Распространение электромагнитных волн в проводнике.** Скин-эффект, толщина скин-слоя. Коэффициент отражения электромагнитных волн от металла, предел Хагена - Рубенса. Объемный и поверхностный плазмоны. Эквивалентная электрическая схема кристалла.

**Квантовый электронный газ.** Функция распределения. Энергия и импульс Ферми при нулевой температуре. Теплоемкость электронного газа. Сравнение описания кинетических свойств электронного газа в классической и квантовой теории (электрический ток, закон Видемана-Франца). Топологические фазы материи. Нобелевская премия по физике 2016 г. Квантовый электронный газ в задачах астрофизики: белый карлик и нейтронная звезда.

## **2. Колебания решетки и тепловые свойства кристаллов**

**Колебания решетки.** Классификация твердых тел по типу химической связи.

Гармоническое приближение для описания колебаний атомов. Функция Лагранжа и уравнения движения для упругих колебаний решетки. Моды колебаний кристалла.

Акустические и оптические моды колебаний на примере одномерного кристалла с двумя атомами в базисе.

**Фононы.** Переход к квантовомеханическому описанию колебаний кристалла. Энергия и функция распределения фононов. Операторы рождения и уничтожения фононов.

Комбинационное рассеяние света

**Тепловые колебания кристалла.** Теплоёмкость решетки при низких температурах.

Температура Дебая. Теплоемкость решетки при высоких температурах. Теории теплоёмкости Дебая и Эйнштейна. Дифракция волн на колеблющейся решетке. Фактор Дебая-Уоллера и эффект Мессбауэра.

**Ангармонические эффекты в кристаллах.** Тепловое расширение твердых тел. Тепловое расширение и взаимодействие фононов. Критерий Линдемана для температуры плавления. Теплопроводность решетки. Зависимость ширины запрещенной зоны полупроводников от температуры. Нулевые колебания. Квантовый кристалл. Электрон-фононное взаимодействие

## **3. Электрические свойства диэлектриков.**

**Отклик кристалла на внешнее электрическое поле.** Диэлектрические поляризуемость и восприимчивость. Локальное поле, формула Клаузиуса-Моссотти. Электронная (атомная) поляризуемость. Ионная поляризуемость (поляризуемость смещений) и соотношение Лиддена-Сакса-Теллера. Ориентационная поляризуемость и функция Ланжевена. Поляризационная катастрофа. Сегнетоэлектричество. Теория фазовых переходов второго рода Ландау. Диэлектрическая восприимчивость в окрестности температуры сегнетоэлектрического перехода. Элементы памяти на сегнетоэлектриках (FRAM).

**Электромагнитные волны в кристаллах.** Поляритоны. Поверхностный плазмон-поляритон. Фотонные кристаллы. Метаматериалы. Различия между правыми и левыми средами. Экспериментальные подходы к изготовлению метаматериалов.

Электрооптические эффекты в кристаллах.

## **4. Магнетизм и сверхпроводимость**

**Основные типы магнетиков.** Диамагнетизм и парамагнетизм. Магнетизм локализованных электронов (парамагнетизм Кюри, парамагнетизм Ван-Флека, диамагнетизм Ланжевена). Магнетизм коллективизированных (зонных) электронов (диамагнетизм Ландау, парамагнетизм Паули).

Спонтанная намагниченность. Ферромагнетизм, антиферромагнетизм и ферримагнетизм. Домены в сегнетоэлектриках и ферромагнетиках. Гистерезис и коэрцитивная сила. Теория Ландау и закон Кюри-Вейсса для магнитной восприимчивости. Микроскопическая природа ферромагнетизма. Поле Вейсса и обменное взаимодействие. Спиновые волны и магноны.

Основы спинтроники. Доменные стенки Блоха и Нееля. Цилиндрические магнитные домены и вертикальные блоховские линии. Гигантское и колоссальное магнитосопротивление. Магнитные элементы памяти с произвольным доступом (MRAM). Спинполяризованный транспорт и спиновый транзистор.

Сверхпроводимость. Нулевое сопротивление и эффект Мейсснера. Теория Гинзбурга-Ландау и квантование магнитного потока. Лондоновская глубина проникновения. Корреляционная длина. Сверхпроводники первого и второго рода, промежуточное и смешанное состояние, вихри Абрикосова. Стационарный и нестационарный эффекты Джозефсона. Куперовские пары и теория Бардина-Купера-Шриффера. Сверхпроводящие магниты

**Разработчик:**

Доцент каф. КФН Журавлёв М. Н.