

## Курс лекций «Магнитные явления»

### Описание курса:

Курс посвящен магнитным явлениям в различных конденсированных средах. Рассматриваются типы и свойства кристаллических магнетиков, явления намагничивания магнетиков и электронных жидкостей. Излагается термодинамика этих систем и их микроскопические модели, рассматриваются фазовые переходы в магнетиках в различных приближениях. Рассказывается о кинетических стационарных и высокочастотных явлениях в твёрдых телах и электронных жидкостях в магнитном поле. В курсе сочетаются различные подходы описания магнитных явлений (термодинамические и микроскопические), сообщаются экспериментальные и теоретические результаты по ключевым вопросам этого раздела физики.

В частности, в курсе рассказывается о симметричном описании магнитных явлений; о силах, действующих на тела в магнитном поле; о термодинамическом описании переходов парамагнетик-ферромагнетик и парамагнетик-антиферромагнетик. Приводится вывод обменного гамильтониана Гейзенберга для решётки спинов, даётся описание простейшего ферромагнетика в модели Изинга в приближении среднего поля. Строятся точное решение для 1D модели Z-Изинга и точное решение Онсагера-Вдовиченко для 2D Z-модели Изинга. Выводится магнитная восприимчивость электронной ферми-жидкости с учетом взаимодействия квазичастиц и модель Стонера для перехода ферромагнетик-парамагнетик в 3D металле. Излагаются микроскопическая теория коротковолновых магнонов в ферромагнетике в модели Изинга и длинноволновых магнонов в термодинамическом пределе; теория шубниковских осцилляций намагниченности анизотропных металлов. В рамках последней, в частности, рассматривается ультра-квантовый предел, диамагнитная неустойчивость и диамагнитные домены. Даются основные идеи и результаты магнетотранспорта в проводниках, а именно: классические магнетосопротивление и эффект Холла 3D металлов с замкнутыми и открытыми поверхностями Ферми, формула Кубо для квантовой проводимости неупорядоченного проводника. Излагаются основные результаты по целочисленному квантовому эффекту Холла. Качественно описываются локализованные и делокализованные состояния, излагается теория Андо для описания проводимости 2D системы по делокализованным состояниям. Рассказывается о высокочастотных явлениях в проводниках в магнитном поле, а именно: о плазменных волнах в магнитном поле в 2D и 3D системах, о нормальной и аномальной скин-эффекты в 3D металлах (в том числе, в магнитном поле), об осцилляциях фотосопротивления двумерных электронов в неквантовых магнитных полях (эффект MIRO).

Кроме перечисленных вопросов, к настоящему курсу относятся более простые вопросы (например, намагничивание идеальных газов, основы теории групп и теории представлений), которые обычно излагаются в других курсах. В случае необходимости, некоторые лекции посвящаются повторению этих более простых вопросов.

## Список тем курса:

1. Классификация веществ по типам их магнитной структуры. Типы магнетиков.
2. Магнитные кристаллические классы. Примеры железа и окиси хрома.
3. Определение вида тензоров магнитных эффектов с помощью теории групп.
4. Замораживание магнитного момента d- и f-термов атома в решётке кристаллическим полем.
5. Термодинамические неравенства для магнитных явлений. Критерии стабильности магнитной фазы.
6. Сила, действующая на твёрдое тело в магнитном поле.
7. Длинноволновые магноны в ферромагнетике в термодинамическом пределе.
8. Домены и доменные стенки в ферромагнетике.
9. Вывод обменного гамильтониана Гейзенберга.
10. Термодинамическое описание состояний коллинеарного антиферромагнетика.
11. Микроскопическое описание простейшего ферромагнетика в модели Изинга в приближении среднего поля.
12. Точное решение одномерной Z-модели Изинга.
13. Точное решение Онсагера-Вдовиченко для двумерной Z-модели Изинга. Вывод и анализ формулы для свободной энергии.
14. Магноны в ферромагнетике в модели Изинга.
15. Преобразование Холстейна-Примакова. Коротковолновые магноны в коллинеарном антиферромагнетике в модели Изинга.
16. Основные положения теории ферми-жидкости Ландау: базовые уравнения, нулевой звук.
17. Магнитная восприимчивость ферми-жидкости с учетом взаимодействия квазичастиц.
18. Модель Стонера ферромагнитного металла в рамках теории ферми-жидкости.
19. Движение квазичастиц со сложным законом дисперсии в магнитном поле. Циклотронный резонанс в анизотропных металлах.
20. Квантовые осцилляции намагниченности анизотропного трехмерного ферми-газа (эффект де Гааза - ван Альвена). Вывод и анализ формулы для свободной энергии.
21. Неустойчивость диамагнитного состояния объёмного металла в квантующем магнитном поле и диамагнитные домены.
22. Термодинамические флуктуации. Вывод соотношений Онсагера симметрии кинетических коэффициентов в магнитном поле.
23. Типы классического магнетосопротивления. Формулы Друде для тензора проводимости ферми-газа в классическом магнитном поле.
24. Магнетосопротивление и эффект Холла металлов с замкнутыми и открытыми поверхностями Ферми в классическом магнитном поле.
25. Целочисленный квантовый эффект Холла. Обзор экспериментов. Локализованные и делокализованные состояния (описание основных представлений теории).
26. Формула Кубо для тензора проводимости неупорядоченного проводника в квантовом режиме.
27. Вывод квантования холловского сопротивления в режиме квантового эффекта Холла из усреднения формулы Кубо по граничным условиям.
28. Расчёт продольной проводимости невзаимодействующих двумерных электронов в квантующем магнитном поле в рамках модели Андо.
29. Нормальный и аномальный скин-эффекты в металлах в магнитном поле. Циклотронный резонанс в объёмных металлах.
30. Плазменные волны в двумерной электронной жидкости в магнитном поле.
31. Осцилляции фотосопротивления высокоподвижных двумерных электронов в неквантующих магнитных полях (эффект MIRO).