

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова»

ФИЗИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

УТВЕРЖДАЮ



И.о. декана физического факультета МГУ

/ В.В. Белокуров /

«21» марта 2024 г.

**ПРОГРАММА-МИНИМУМ
КАНДИДАТСКОГО ЭКЗАМЕНА ПО СПЕЦИАЛЬНОСТИ**

1.3.12 Физика магнитных явлений

Шифр и наименование области науки

1. Естественные науки

Наименование отраслей науки, по которым присуждаются ученые степени

Физико-математические науки

Москва 2024

I. Описание программы

Программа-минимум кандидатского экзамена, разработана Физическим факультетом Московского государственного университета им. М.В.Ломоносова на основе паспорта научной специальности, утвержденного Высшей аттестационной комиссией при Министерстве науки и высшего образования Российской Федерации, и учебного плана программы подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре по специальности 1.3.12 Физика магнитных явлений, в отрасли физико-математических наук.

II. Основные разделы и вопросы к экзамену

Тема 1. Общие понятия

Магнетизм. Магнитное поле. Магнитный момент. Векторы магнитной индукции, намагниченности, напряженности магнитного поля. Магнитный поток. Магнитный заряд. Магнитный диполь.

Тема 2. Молекулярная теория магнетизма.

Магнитные моменты атомов и молекул. Магнетон Бора. Магнитные моменты ядер. Строение электронных оболочек переходных и редкоземельных атомов. Молекулярное поле Вейсса. опыты Дорфманна и Штерна-Герлаха. Диамагнетизм. Пространственное квантование магнитного момента атома. Парамагнетизм систем слабо взаимодействующих атомов. Функции Бриллюэна. Закон Кюри и Кюри-Вейсса.

Тема 3. Основы зонной теории магнетизма.

Обменное взаимодействие и его энергия. Модель ферромагнетизма Френкеля-Гейзенберга. Спиновые волны. Магноны. Температурная зависимость спонтанной намагниченности при низких температурах. Косвенное обменное взаимодействие. Спин-орбитальное взаимодействие. Магнитное дипольное взаимодействие. Сверхтонкое взаимодействие. Критерий ферромагнетизма электронного газа. Обменное расщепление.

Тема 4. Магнитные структуры и типы магнетиков

Определение магнитной подрешетки и магнитной структуры. Виды магнитных структур: ферромагнетики, коллинеарные и неколлинеарные антиферромагнетики, гелимагнетики, ферримагнетики и их магнитные характеристики. Упорядоченные магнитные структуры. Слабый ферромагнетизм. Спиновая циклоида и ее связь с электрической поляризацией. Магнитная ячейка. Неупорядоченные магнитные структуры. Спиновые стекла. Микромагнетики, Суперпарамагнетизм.

Тема 5. Магнитная анизотропия и магнитоупругие явления

Энергия магнитокристаллической анизотропии, константы анизотропии. Эффективное магнитное поле анизотропии. Магнитная анизотропии типа "Ось легкого намагничивания", "легкая плоскость", "легкий конус". Наведенная магнитная анизотропия. Обменная магнитная анизотропия. Анизотропия формы. Теория доменной структуры в кристаллах по Ландау и Лифшицу. Доменная граница (Блоха, Нееля) и её тонкая структура. Полосовая и лабиринтная доменные структуры. Однодоменные частицы. Критерий

однодоменности. Скирмионы. Магнитострикция. Магнитоупругая энергия. Магнитоупругие постоянные. Константы магнитострикции. Магнитоупругие волны. Магнитоупругое затухание.

Тема 6. Антиферромагнетизм и ферримагнетизм.

Теория антиферромагнетизма и ферримагнетизма в приближении молекулярного поля. Продольная и поперечная восприимчивость, их температурные зависимости. Термодинамическая теория слабого ферромагнетизма по Дзялошинскому. Редкоземельные ортоферриты. Геликоидальный антиферромагнетизм редкоземельных металлов. Основные типы температурной зависимости самопроизвольной намагниченности. Температурная зависимость парамагнитной восприимчивости ферромагнетиков (закон Нееля). Физические свойства ферримагнетиков в области точки компенсации магнитных моментов подрешеток. Ферриты со структурной шпинели и граната. Гексагональные ферриты.

«Слабый ферромагнетизм». Спин-флоп, спин-флип переход.

Тема 7. Процессы намагничивания, перемагничивания и размагничивания

Процессы намагничивания: смещение доменных границ, вращение вектора намагниченности, парапроцесс. Теория кривых намагничивания в монокристаллах в области вращения. Влияние упругих напряжений на намагничивание. Перемагничивание. Коэрцитивная сила. Магнитные восприимчивость и проницаемость. Размагничивающее и внутреннее магнитное поле.

Тема 8. Явления переноса.

Гальваномагнитные эффекты. Эффекты Холла. Магниторезистивные эффекты. Гальванотермомагнитные эффекты. Термомагнитные эффекты. Спиновая поляризация. Спин-зависящий транспорт. Гигантское магнитное сопротивление. Спиновый торк.

Тема 9. Магнитные фазовые переходы и критические явления

Термодинамические потенциалы. Удельные теплоемкости. Магнетокалорический эффект. Термодинамическая теория ферромагнитного превращения. Критические индексы. Магнитные фазовые переходы типа спиновой переориентации, вызванные сильным магнитным полем и изменением температуры. Фазовый переход первого и второго рода. Диаграмма состояний. Критическая температура. Температура Кюри. Температура Нееля.

Тема 10. Динамика процессов перемагничивания и спиновые волны

Ферро- и ферримагнетики в переменных полях. Уравнение Ландау и Лифшица для движения магнитного момента. Подвижность и эффективная масса доменной границы. Динамика доменных границ в одноосных и легкоплоскостных ферромагнетиках. Предельная скорость движения доменных границ. Ферромагнитный, ферримагнитный и антиферромагнитный резонансы. Определение фактора и констант магнитной анизотропии, Ядерный магнитный резонанс. Спиновое эхо. Магнитные эффективные поля на ядрах магнетиков и их природа. Эффект Мессбауэра. Магнитостатические моды. Спиновые волны. Спин-волновой резонанс.

Тема 11. Магнитооптические явления

Магнитооптические эффекты при отражении, преломлении и прохождении света через прозрачные среды. Тензор диэлектрической проницаемости. Зависимость его компонент от частоты. Гироманнитная среда. Магнитооптические параметры и зонная структура. Спектральная магнитооптика. Фотомагнитные эффекты.

Тема 12. Магнитные материалы

Магнитно-мягкий материал. Магнитно-твердый материал. Магнитный материал с прямоугольной петлей гистерезиса. Сверхвысокочастотный магнитный материал. Магнитострикционный материал. Мультиферроики первого и второго типа. Магнитореологические материалы. Низкоразмерные магнитные материалы.

Тема 13. Параметры магнитных материалов

Магнитные потери. Магнитные потери на гистерезис. Магнитные потери на вихревые токи. Магнитное сопротивление и магнитный импеданс. Время и скорость перемагничивания. Коэффициент прямоугольности петли магнитного гистерезиса.

Тема 14. Методы измерения магнитных свойств материалов

Магнитная нейтронография. Синхротронное излучение в физике магнитных явлений. Сквид магнитометрия. Индукционная магнитометрия. ЭПР и ЯМР. Магнитооптическая магнитометрия.

III. Критерии оценивания

Критерии и показатели оценивания ответа на экзамене			
Неудовлетворительно	Удовлетворительно	Хорошо	Отлично
Фрагментарные знания в области физики магнитных явлений	Неполные знания в области физики магнитных явлений	Сформированные, но содержащие отдельные пробелы знания в области физики магнитных явлений	Сформированные и систематические знания в области физики магнитных явлений

IV. Рекомендуемая основная литература

1. Вонсовский С.В. Магнетизм. М.: Наука, 1971.
2. Е.И.Кондорский «Зонная теория магнетизма», изд.МГУ, 1976
3. Г.С.Кринчик «Физика магнитных явлений», изд.МГУ, 1982
4. Д.Займан «Принципы теории твердого тела», М., 1966
5. Ч.Киттель «Квантовая теория твердых тел», М., 1967
6. Крупичка С. Физика ферритов и родственных им магнитных окислов. М.: Мир, 1976.

7. Тикадзуми С. Физика ферромагнетизма. Магнитные свойства вещества. М.: Мир, 1983.
8. Тикадзуми С. Физика ферромагнетизма. Магнитные характеристики и практическое применение. М.: Мир, 1987.
9. Хандрих К., Коте С. Аморфные ферро- и ферримагнетики. М.: Мир, 1982.
10. Голдин Б.А., Котов Л.Н., Зарембо Л.К., Карпачев С.Н. Спин-фононные взаимодействия в кристаллах (ферритах). Л.: Наука, 1991.
11. Малоземов А., Слонзуски Дж. Доменные стенки в материалах с цилиндрическими магнитными доменами. М.: Мир, 1982.
12. В.Н.Прудников. Экспериментальные методы в магнетизме. М. МГУ. 2009.