

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

ФИЗИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

УТВЕРЖДАЮ



И.о. декана физического факультета МГУ

[Handwritten signature]
/ В.В. Белокуров /

«21» марта 2024 г.

**ПРОГРАММА-МИНИМУМ
КАНДИДАТСКОГО ЭКЗАМЕНА ПО СПЕЦИАЛЬНОСТИ**

1.3.10 Физика низких температур

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 1.3.10 Физика низких температур, в отрасли физико-математических наук.

II. Основные разделы и вопросы к экзамену

Тема 1. Техника низких температур

Эффект Пельтье. Дросселирование газов и эффект Джоуля-Томсона. Температура инверсии. Детандер, расширение газов при постоянной энтропии. Рефрижератор растворения. Фазовая диаграмма смеси ^3He и ^4He . Процесс Стирлинга. Охлаждение по методу Померанчука. Метод адиабатического размагничивания. Ядерное размагничивание. Криостаты.

Газовый термометр. Термопары. Металлические, полупроводниковые и угольные термометры сопротивления. Магнитная термометрия.

Методы получения сильных магнитных полей. Стационарные магнитные поля, электромагниты. Сверхпроводящие соленоиды. Импульсные поля.

Методы получения высоких давлений. Камеры высокого давления. Наковальни Бриджмена.

Тема 2. Термодинамика и статистическая физика

Абсолютная температура. Термодинамическая и эмпирическая шкалы температуры, их взаимосвязь. Равновесные и неравновесные состояния макроскопических систем. Параметры состояния. Обратимые и необратимые процессы. Первое, второе и третье начала термодинамики. Термодинамические потенциалы. Энтропия. Дифференциальные соотношения между производными термодинамических величин. Уравнения состояния. Изотермические и адиабатические процессы. Цикл Карно. Термодинамическое равновесие. Условия равновесия фаз. Химический потенциал. Уравнение Клапейрона - Клаузиуса. Тройная точка, критическая точка.

Понятие функции распределения. Каноническое распределение Гиббса. Статистическое истолкование термодинамики. Вычисление свободной энергии методами статистической физики. Теорема равнораспределения энергии по степеням свободы. Термодинамические функции идеального газа. Распределение Максвелла - Больцмана.

Равновесные фазовые переходы. Фазовые переходы первого рода. Скрытая теплота перехода. Метастабильные состояния. Переохлаждение и перегрев. Фазовые переходы второго рода. Скачок теплоемкости. Изменение симметрии и параметр порядка. Критические индексы.

Статистика Ферми - Дирака. Статистика Бозе - Эйнштейна. Бозе-эйнштейновская конденсация, свойства бозе-конденсата.

Тема 3. Низкотемпературная физика твердого тела

Трансляционная симметрия кристаллов. Концепция квазичастиц. Теорема Блоха. Элементарная ячейка и зона Бриллюэна. Энергетический спектр электронов в твердых телах. Основные методы расчета зонной структуры. Разрешенные и запрещенные зоны. Энергия Ферми. Поверхность Ферми. Металлы-полупроводники, диэлектрики. Топологические изоляторы.

Фононный спектр в кристаллах. Тепловое расширение твердых тел. Теплоемкость твердых тел. Температура Дебая. Теплопроводность твердых тел.

Гальваномагнитные явления. Магнитосопротивление. Эффект Холла. Квантование орбитального движения, уровни Ландау. Формула Лифшица - Онсагера. Квантовые осцилляции термодинамических величин, эффект де Хааза - Ван Альфвена. Квантовые осцилляции кинетических величин, эффект Шубникова - де Хааза. Ультраквантовый предел.

Высокочастотные свойства твердых тел. Скин-эффект. Аномальный скин-эффект. Поверхностный импеданс. Циклотронный резонанс. Плазменные колебания.

Электронный парамагнитный резонанс. Ядерный магнитный резонанс. Ядерный квадрупольный резонанс. Эффект Мёссбауэра.

Целочисленный и дробный квантовые эффекты Холла. Композитные фермионы, дробная статистика.

Тема 4. Сверхтекучесть

Жидкий гелий. Сверхтекучесть ^4He и ^3He . Теория сверхтекучести Ландау. Сверхтекучая и нормальная компоненты. Параметр порядка в сверхтекучем ^4He и сверхтекучем ^3He . Фазовые диаграммы ^4He и ^3He . Фононы и ротоны. Квантованные вихри в гелии. Сверхтекучесть в пленках.

Твердый гелий, фазовая диаграмма. Антиферромагнетизм ^3He .

Тема 5. Сверхпроводимость

Критическая температура. Критический ток. Критическое магнитное поле. Эффект Мейснера. Термодинамика и электродинамика сверхпроводников, уравнения Лондонов.

Нелинейная электродинамика сверхпроводников, уравнение Пиппарда. Скин-эффект и поверхностный импеданс в сверхпроводниках. Квантование магнитного потока. Теория сверхпроводимости Гинзбурга-Ландау. Глубина проникновения и длина когерентности. Параметр Гинзбурга-Ландау.

Сверхпроводники первого рода. Промежуточное состояние. Сверхпроводники второго рода. Смешанное состояние. Первое и второе критические поля. Вихри Абрикосова. Пиннинг вихрей и крип магнитного потока.

Изотопический эффект. Взаимодействие Фрелиха, куперовские пары. Модель Бардина-Купера-Шриффера. Спектр элементарных возбуждений в сверхпроводниках. Энергетическая щель. Плотность состояний на уровне Ферми. Электрон-фононное взаимодействие.

Туннельный эффект в сверхпроводниках. Переход нормальный металл - изолятор - сверхпроводник. Переход сверхпроводник - изолятор - сверхпроводник. Андреевское отражение. Стационарный эффект Джозефсона. Нестационарный эффект Джозефсона. Квантовые интерферометры.

Аллотропные формы углерода. Сильнокоррелированные электронные системы. Тяжелые фермионы. Оксидные высокотемпературные сверхпроводники.

Сверхпроводниковые приемники излучения. Детектирование электромагнитных волн. Сверхпроводниковый болометр.

Тема 6. Низкотемпературный магнетизм

Атомный магнетизм. Принцип Паули. Спиновый магнитный момент. Орбитальный магнитный момент. Спин-орбитальное взаимодействие. Диамагнетизм и парамагнетизм. Закон Кюри. Диамагнетизм Ландау. Парамагнетизм Паули. Парамагнетизм Ван Флека. Парамагнетизм коллективизированных электронов. Эффект Кондо.

Основные типы магнитного упорядочения. Закон Кюри - Вейсса. Ферромагнетизм. Критерий Стонера. Ферромагнетизм. Антиферромагнетизм. Слабый ферромагнетизм антиферромагнетиков, взаимодействие Дзялошинского. Состояние спинового стекла.

Обменное взаимодействие. Косвенное обменное взаимодействие через лиганды (сверхобмен). Обменное взаимодействие через электроны проводимости (РККИ-взаимодействие).

Модель Изинга. Модель Гейзенберга.

Магнитная анизотропия. Ориентационные фазовые переходы. Спин-флоп и спин-флип переходы.

Низкоразмерный магнетизм. Теорема Мермина – Вагнера. Димеры, спиновые цепочки, спиновые лестницы. Спиновая щель. Спин – Пайерлсовский переход. Бозе – Эйнштейновская конденсация триплетов. Спиновые жидкости и нематики. Скирмионы. Переход Березинского – Костерлица – Таулесса. Модель Китаева.

III. Критерии оценивания

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

IV. Рекомендуемая основная литература

1. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Статистическая физика. М.: Наука, 1976; Квантовая механика. М.: Наука, 1974; Электродинамика сплошных сред. М.: Наука, 1982.
2. Лифшиц Е.М., Питаевский Л.П. Статистическая физика. Ч. II. М.: Наука, 1978; Физическая кинетика. М.: Наука, 1979.
3. Займан Дж. Принципы теории твердого тела. М.: Мир, 1974.
4. Абрикосов А.А. Основы теории металлов. М.: Наука, 1987.
5. Ашкрофт Н., Мермин Н. Физика твердого тела. М.: Мир, 1979.
6. Шмидт В.В. Введение в сверхпроводимость. М.: Наука, 1982.
7. Тилли Дж., Тилли Дж. Сверхтекучесть и сверхпроводимость. М.: Мир, 1977.
8. Лоунамаа О.В. Принципы и методы получения температур ниже 1 К. М.: Мир, 1977.
9. Линтон Э.А. Сверхпроводимость. М.: Мир, 1974.
10. Справочник по физико-техническим основам криогеники / Под ред. М.П. Малкова). М.: Энергоатомиздат, 1985.

V. Рекомендуемая дополнительная литература

1. Скотт Р.Б. Техника низких температур. М.: Изд-во иностр. лит., 1962.
2. Методы получения и измерения низких и сверхнизких температур / Под ред. Б.И. Веркина. Киев: Наукова думка, 1987.
3. Халатников И.М. Теория сверхтекучести. М.: Наука, 1971.
4. Попов М.И. Термометрия и калориметрия. М.: Изд-во МГУ, 1954.
5. Заварицкий Н.В. Сверхпроводимость. М.: Изд-во МФТИ, 1985.