

В О П Р О С Ы
для экзамена и зачёта по курсу
«Теория сверхпроводимости»

*Экзамен состоится в пятницу 10 января 2025 г.
в 11³⁰ в криогенном корпусе,
консультация в четверг 9 января в 12⁰⁰ там же.*

Зачёт во вторник 24 декабря в 11⁰⁰ там же.

1. Энергетическая щель в электронном спектре сверхпроводника. Электронная теплоёмкость. Второе уравнение Лондонов, «жесткость» волновой функции электронов и сверхпроводящая щель.
2. Критерий Ландау. Его применение к электронным спектрам нормального и сверхпроводящего металла.
3. Элементарный вывод величины сверхпроводящей щели из существования парного притяжения между электронами: задача Купера.
4. Фрелиховское притяжение электронов за счет взаимодействия с фононами:
 - а) Диаграммы взаимодействия двух электронов через фонон. Волновые функции и матричный элемент взаимодействия во 2-м порядке теории возмущений при параллельных спинах электронов.
 - б) Диаграммы взаимодействия двух электронов через фонон. Волновые функции и матричный элемент взаимодействия во 2-м порядке теории возмущений при антипараллельных спинах электронов.
 - в) Зависимость матричного элемента взаимодействия электронов через фонон от их энергий и направлений их спинов.
5. Волновая функция основного состояния сверхпроводника в теории Бардина-Купера-Шриффера:
 - а) Лемма о возможности понижении энергии.
 - б) Многоэлектронный матричный элемент взаимодействия через фононы. Корреляции в волновой функции, необходимые для обеспечения неизменности его знака.

- в) Куперовские пары. Волновая функция Бардина-Купера-Шриффера.
 - г) Нормировка волновой функции Бардина-Купера-Шриффера.
- 6. Гамильтониан сверхпроводника в теории Бардина-Купера-Шриффера. Редуцированный гамильтониан.
- 7. Определение коэффициентов $u_{\mathbf{p}}$ и $v_{\mathbf{p}}$ и энергетической щели сверхпроводника методом Бардина-Купера-Шриффера:
 - а) Вычисление средней энергии электронной системы.
 - б) Минимизация средней энергии и нахождение основного состояния электронной системы.
- 8. Волновые функции простейших возбужденных состояний сверхпроводника.
- 9. Метод Боголюбова:
 - а) Аномальное среднее. Модельный гамильтониан Боголюбова. Преобразование Боголюбова и его свойства.
 - б) Диагонализация модельного гамильтониана Боголюбова. Спектр элементарных возбуждений сверхпроводника. Плотность состояний боголюбовских возбуждений.
 - в) Температурная зависимость энергетической щели сверхпроводника.
- 10. Электронная теплоёмкость сверхпроводника.
- 11. Сверхпроводник с током. Преобразования Боголюбова. Вычисление вариационной средней энергии.
- 12. Минимизация средней энергии сверхпроводника с током. Закон дисперсии возбуждений в нём. Предел малой сверхпроводящей скорости.
- 13. Компоненты тока в сверхпроводнике. Ток конденсата и возбуждений.
- 14. Концентрации нормальных и сверхпроводящих электронов и их температурные зависимости.

15. Термоэлектрические явления в сверхпроводниках:
- а) Линеаризация кинетического уравнения Больцмана при малом градиенте температуры.
 - б) τ -приближение для интеграла столкновений.
 - в) Транспортное время релаксации для примесного рассеяния возбуждений.
 - г) Решение уравнения Больцмана для функции распределения возбуждений в τ -приближении.
 - д) Теплопроводность сверхпроводников. Коэффициент электронной теплопроводности.
 - е) Волновая функция конденсата. Поток конденсатных частиц. Определение вида тока из соображений калибровочной инвариантности.
 - ж) Термоэлектрический ток и его наблюдение. Квантование магнитного потока.
16. Полевые операторы и их коммутационные соотношения.
17. Вывод уравнений Боголюбова:
- а) Вторично-квантованный гамильтониан электронов и его упрощение: куперовское приближение, введение самосогласованных полей U и Δ .
 - б) Диагонализация упрощённого гамильтониана. Преобразования Боголюбова. Уравнения движения. Уравнения Боголюбова.
 - в) Свойства спектра собственных значений уравнений Боголюбова.
 - г) Унитарность преобразований Боголюбова.
 - д) Теорема Вика.
 - е) Нахождение выражений для самосогласованных полей U и Δ . Их свойства.
18. Волновая функция конденсата. Уравнения Боголюбова для сверхпроводника с током.
19. Сверхпроводник с немагнитными примесями. Теорема Андерсена.
20. Решение уравнений Боголюбова для сверхпроводника, состоящего из трёх слоёв.

* * *