

В О П Р О С Ы
для экзамена по курсу
«Введение в сверхпроводимость»

*Экзамен состоится в среду 25 июня 2025 г. в 11⁰⁰
в криогенном корпусе*

ВВЕДЕНИЕ В СВЕРХПРОВОДИМОСТЬ

1. Критическая температура сверхпроводника. Способы ее определения. Оценки максимально возможных T_c .
2. Критическое магнитное поле. Фазовая диаграмма сверхпроводника на плоскости H, T . Смешанное состояние в сверхпроводниках I-го рода.
3. Нулевое сопротивление. Сопротивление переменному току. Сверхпроводящий контур в магнитном поле. Квантование магнитного потока.
4. Эффект Мейснера—Оксенфельда. Уравнения Лондонов. Критический ток и скорость в теории Лондонов.
5. Сверхпроводники I-го и II-го рода. Критические магнитные поля H_c , H_{c1} и H_{c2} и их связь с характерными длинами сверхпроводника.
6. Глубина проникновения магнитного поля в сверхпроводник. Критический ток и скорость. Сравнение выводов теории Лондонов и Гинзбурга—Ландау.
7. Термоэлектрические явления в сверхпроводниках. Электронная теплоёмкость. Значение скачка электронной теплоёмкости при T_c . (*Краткий вывод*).
8. Поглощение ультразвука и оптические свойства сверхпроводников. Релаксация носителей.
9. Изотопический эффект. Отклонения в случае сильной электрон-фононной связи. Формула Мак-Миллана.
10. Основные допущения и выводы микроскопической теории Бардина—Купера—Шриффера (БКШ).
11. Электрон-фононное взаимодействие. Куперовские пары. Длина когерентности в БКШ. Характеристическое отношение теории БКШ.

12. Энергетическая щель в спектре сверхпроводника. Плотность электронных состояний и закон дисперсии для элементарных возбуждений. Критический импульс и скорость в БКШ.
13. Параметр порядка сверхпроводящего состояния в БКШ. Его связь с T_c и длиной когерентности.
14. Основные выводы теории БКШ. Их коррекция в случае сильного электрон-фононного взаимодействия. Оценки максимально возможных T_c . Формула Мак-Миллана.
15. Зависимость энергии связи пары от температуры. Критическая температура T_c сверхпроводника и характеристическое отношение в теории БКШ.
16. Термодинамика сверхпроводников. Плотность энергии конденсации Бозе—Эйнштейна и Бардина—Купера—Шриффера. Критическая скорость куперовских пар в теории БКШ.
17. Теория сверхпроводимости Гинзбурга—Ландау. Основные уравнения и положения.
18. Параметр порядка в теории Гинзбурга—Ландау. Глубина проникновения магнитного поля и длина когерентности, их зависимость от T и длины свободного пробега l .
19. Сверхпроводники II-го рода. Вихри Абрикосова. Распределение магнитного поля и параметра порядка в одиночном абрикосовском вихре.
20. Энергия границы раздела N- и S-фазы. Энергия вихревой линии, энергия ядра абрикосовского вихря в сверхпроводнике II-го рода. Взаимодействие вихрей.
21. Эффект Джозефсона. Особенности вольтамперной характеристики SIS-контакта. СКВИДы.
22. Эффект андреевского отражения. Особенности вольтамперной характеристики NS-контакта.

СВЕРХТЕКУЧЕСТЬ

23. Фазовая диаграмма He^4 . Основные свойства сверхтекучего гелия. Механокалорический эффект. Эффект фонтанирования. Опыт Капицы с паучком.
24. Спектр элементарных возбуждений He II. Критерий сверхтекучести Ландау.

25. Спектр возбуждений бозе-газа со слабым отталкиванием между частицами:
- а) Гамильтониан газа в представлении вторичного квантования. Упрощение члена взаимодействия при малых импульсах частиц.
 - б) Основное состояние газа. Волновые функции состояний, близких к основному. Разложение гамильтониана при малом числе надконденсатных частиц.
 - в) Преобразование Боголюбова. Диагонализация гамильтониана. Спектр элементарных возбуждений.
26. Волновая функция конденсата. Поток конденсатных частиц. Потенциальность сверхтекучего течения.
27. Вращение жидкого Не II. Квантование вращения. Вихревые нити. Энергия вихревых нитей.
28. Условие возникновения первой вихревой нити. Плотность нитей при большой скорости вращения. Энергия нитей и энергия вращения жидкости как целого.
29. Вихревые кольца в жидком Не II: скорость, энергия, импульс. Применение критерия Ландау к вихревым кольцам.
30. Двухжидкостная модель Не II. Плотность нормальной компоненты.
31. Уравнения двухжидкостной гидродинамики сверхтекучей жидкости:
- а) Уравнение непрерывности. Уравнение Эйлера.
 - б) Плотность потока массы и поток импульса. Уравнение для плотности потока импульса.
 - в) Уравнение для скорости сверхтекучей компоненты. Уравнение переноса тепла.
32. Распространение звука в жидком Не II. Второй звук. Скорость второго звука при низких температурах.

ТЕОРИЯ ГИНЗБУРГА—ЛАНДАУ

33. Свободная энергия магнетика в магнитном поле.
34. Термодинамический потенциал магнетика, зависящий от напряжённости магнитного поля.

35. Феноменологическое построение свободной энергии Гинзбурга—Ландау без магнитного поля. Её видоизменение в магнитном поле.
36. Вывод 1-го уравнения Гинзбурга—Ландау из свободной энергии. Граничные условия для волновой функции конденсата.
37. Вывод 2-го уравнения Гинзбурга—Ландау из свободной энергии. Вид уравнения внутри и вне сверхпроводника. Плотность сверхпроводящего тока.
38. Нахождение критического магнитного поля из теории Гинзбурга—Ландау.
39. Две характерных длины в уравнениях Гинзбурга—Ландау. Параметр Гинзбурга—Ландау. Уравнения Гинзбурга—Ландау в безразмерной форме.
40. Эффект близости.
41. Сверхпроводящая пластина в параллельном её плоскости магнитном поле. Зависимость критического поля пластины от её толщины. Изменение рода фазового перехода с толщиной пластины.
42. Поверхностная энергия границы раздела нормальной и сверхпроводящей фаз. Два рода сверхпроводников.
43. Квантование магнитного потока через отверстие в сверхпроводнике.
44. Теория эксперимента Литтла—Паркса. Магнитные осцилляции сверхпроводящего тока и критической температуры.

* *
* *