

Загальні відомості про курс:

Курс лекцій за програмою підготовки магістрів та спеціалістів.

Всього лекцій: 34 години.

У курсі передбачаються також практично-демонстраційні заняття, де плануються демонстрації деяких унікальних властивостей високотемпературних надпровідників (явища левітації магніту над ВТНП та явища надвисокої добротності ВТНП резонатору у електромагнітному полі надвисокої частоти) при температурі кипіння рідкого азоту (77 К).

Викладач:

Проф., д.фіз.-мат.н., Пан В.М.

Короткий зміст та мета курсу:

Високотемпературна надпровідність як і кріоелектроніка, тобто електроніка з використанням низьких температур, сьогодні є галузями сучасної техніки й технології, що найбільш бурхливо розвиваються й мають прискорювати свій розвиток й надалі у третьому тисячолітті.

Запропонований курс лекцій включає виклад основних розділів та проблем фізики надпровідного стану, а також деяких проблем фізики кристалів, електродинаміки щільних середовищ, та вихоревої матерії, які є необхідними для розуміння поведінки високотемпературних надпровідників (ВТНП) у надпровідному, нормальному та струмонесучому (резистивному) станах. Він дає уяву про сучасні погляди на походження й природу надпровідності металів, металічних сполук, анізотропних шаруватих кристалів та деяких інших твердих тіл. Особлива увага приділяється вивченню електромагнітних властивостей й відгуків надпровідників з позицій феноменологічних уявлень та підходів. Наголос робиться також на вивченні тих проблем, що є важливими при практичному використанні ВТНП. Курс відповідає програмі підготовки магістрів та спеціалістів на радіофізичному факультеті й включає лекційні та самостійні практичні заняття.

Курс розрахований на майбутніх спеціалістів, зайнятих у кріогенній та надпровідниковій мікроелектроніці, а також у розробці й використанні різноманітних електромагнітних технологій та пристроїв.

Зміст курсу:

1. Вступ (2 г.). Предмет курсу. Електропровідність металів при низьких й наднизьких температурах. Відкриття надпровідності у експериментах Каммерлінг-Оннеса. Майже 50 років для теоретичного осмислення унікального явища. "Високотемпературна" надпровідність (ВТНП). Надбаня сучасної техніки із застосуванням надпровідності.

2. Фундаментальні властивості надпровідників (2 г.). Нульовий електроопір надпровідників нижче критичної температури T_c . Незатухаючий поверхневий струм. Ефект Мейсснера-Оксенфельда. Абсолютний діамagnetизм надпровідників. Критичне магнітне поле H_c і критичний струм I_c . Правило Сілсбі. Проміжний стан надпровідників у магнітному полі.

3. Феноменологічний погляд на надпровідність (6 г.). Бозе-конденсація зарядженої Фермі-рідини. Хвильова функція конденсату. Двохрідинна модель. Квантування магнітного потоку. Термодинаміка надпровідників. Енергія основного стану надпровідника нижче T_c . Фазові перетворення I й II роду з нормального до надпровідного стану. Тепломісткість надпровідників при низьких температурах. Стрибок тепломісткості у точці $T = T_c$. Термодинамічне критичне поле H_c . Надпровідники I-го та II-го роду. Магнітні властивості й фазові переходи у магнітному полі надпровідників I й II роду. Тонка плівка у магнітному полі. Критичний струм розпарування. Нижнє $H_{c1}(T)$ й верхнє $H_{c2}(T)$ критичні магнітні поля у надпровідниках II роду. Вихорі Абрикосова. Фаза Шубнікова. Рівняння Лондонів та теорія Гінзбурга - Ландау: спільності й відміни. Дві найважливіші скейлінгові довжини у надпровідниках: довжина когерентності, $\xi(T)$, та глибина проникнення слабого магнітного поля, $\lambda(T)$. Енергія межі розділу нормальної і надпровідної фаз у надпровідниках I й II роду. Ефект близькості. Роль флуктуацій поблизу T_c . Парамагнітне обмеження верхнього критичного поля H_{c2} .

4. "Слабка" надпровідність (4 г.). Фазова когерентність та види слабких зв'язків. Тунельний ефект у N-I-S і S-I-S' структурах. Ефекти Джозефсона (стаціонарний і нестаціонарний) у надпровідних тунельних контактах. Відгук джозефсонівського контакту на зовнішнє магнітне поле. Рівняння Феррела-Прейнджа. Джозефсонівські вихорі. Фраунгоферова структура магніто-польової залежності критичного струму контакту. СКВІД і надпровідникова електроніка.

5. Основи мікроскопічної теорії надпровідності (2 г.). Феномен Купера. Куперівські пари й модель БКШ. Роль електрон-фононої та кулонівської взаємодії у ефекті куперівського спарування. Енергетична щілина D у спектрі квазічастинок. Залежність D від температури. Критична температура надпровідника T_c . Ізотопічний ефект. Густина станів у надпровіднику. Константа електрон-фононої взаємодії й кулонівський псевдопотенціал. Надпровідники з сильним й проміжним зв'язком. Рівняння Еліашберга. Альтернативні механізми виникнення парних кореляцій у ВТНП.

6. Високочастотні властивості надпровідників (4 години). Комплексна провідність надпровідника. Скін-ефект і поверхневий імпеданс. НВЧ-імпеданс свержпроводників (теорія Маттіса - Бардіна). Поверхневий опір та його температурна залежність. Застосування надпровідників у радіотехніці та телекомунікації.

7. Сучасні відомості про ВТНП (4 години). Металоксидні купратні сполуки, їх кристалічна структура та фізичні властивості. Шари CuO_2 - квазі-двовимірні носії ВТНП. Величезна анізотропія ВТНП. Залежність T_c від катіонного складу й вмісту кисню. Фазові діаграми температура - хімічний склад. Магнітні й структурні перетворення у купратних МОС. Аномалії ізотопічного ефекту й інших властивостей ВТНП. Ефект анізотропії електронного спектру й параметру енергетичної щілини. Особливості електромагнітних властивостей ВТНП. Роль ВТНП у сучасній техніці, а також у енергетиці й електроніці майбутнього.

8. Вихорева матерія у надпровідниках II роду (4 г.). Взаємодія вихорів. Сила Лоренца. Вихорева ґратка и вихоревий (змішаний) стан. Поверхневий бар'єр Біна-Лівінгстона. Основні механізми пінінгу вихорів. Критичний струм неідеальних надпровідників II роду в магнітному полі. Модель критичного стану. Одночастковий і колективний пінінг вихорів. Засоби складання елементарних сил пінінгу. Модулі пружності вихоревої ґратки. Резистивний стан надпровідників II роду. В'язка течія вихорів під дією сили Лоренца. Термоактивований рух вихорів. Крип магнітного потоку. Релаксація магнітного моменту надпровідника й опір у режимі крипу. Центри

проковзування фази.

9. Електродинаміка шаруватих ВТНП-кристалів. (4 годин). Анізотропні рівняння Гінзбурга - Ландау та модель Лоуренса - Доніака для шаруватих надпровідників із слабким джозефсонівським зв'язком між шарами. Структура вихорів у шаруватих надпровідниках. Анізотропія й особливості вихоревого стану. Двовимірні точкові вихорі (панкейки). Джозефсонівські струни. Ефект близькості у ВТНП. ВТНП з внутрішніми поверхнями розділу (гранулярні надпровідники). Міжкристалітні межі зерен-гранул як "слабкі зв'язки". Джозефсонівське середовище. Поведінка магнітного моменту ВТНП матеріалів. Роль внутризеренних і міжзеренних надструмів. Депінінг і лінія необоротності. Плавлення вихоревої ґратки. Стани вихоревої рідини й вихоревого скла. Вольт-амперні характеристики резистивного стану ВТНП.

10. Практичні застосування надпровідників у електротехніці та електроніці. (2 г.) Струмнесучі безвтратні компоненти електричних ланцюгів. Надпровідні багатожилчасті композитні проводи й кабелі. Термомагнітні нестійкості й засоби кріостабілізації провідників. Втрати у змінному електромагнітному полі. Надпровідні магніти (соленоїди). Надпровідні накопичувачі енергії. Використання надпровідників для левітації (магнітного підвішування). Застосування ефекту Джозефсона для реєстрації слабких електромагнітних полів та сигналів. Надпровідний квантовий інтерферометр (СКВІД). Принципи роботи й конструкції одно- й двохконтактних СКВІД`ів. Надпровідні пасивні елементи у радіотехніці. НВЧ-резонатори й фільтри. Засоби вироблення й властивості ВТНП матеріалів для практичного використання (кераміки, тонкі плівки й плівкові композиції, монокристали, масивні текстуровані матеріали, проводи, стрічки).

Передумови:

- Базовий курс квантової механіки;
- Базовий курс електродинаміки;
- Базовий курс фізики твердого тіла;
- Фізика й техніка низьких температур;

ЛІТЕРАТУРА:

1. В.В. Шмидт, Введение в физику сверхпроводников, М., Наука, Физматгиз, 1982, 240 с.
2. М. Тинкхам, Введение в сверхпроводимость, пер. с англ., М., Атомиздат, 1980, 310 с.
3. В. Буккель, Сверхпроводимость. Основы и приложения, пер. с нем., М., Мир, 1975, 368 с.
4. Физические свойства высокотемпературных сверхпроводников, под ред. Д.М. Гинсберга, пер. с англ., М., Мир, 1990, 543 с.
5. П. Де Жен, Сверхпроводимость металлов и сплавов, М., Мир, 1968. - 280 с.
6. Р.П. Хюбенер, Структуры магнитных потоков в сверхпроводниках, М., Машиностроен., 1984-224 с.
7. С.В. Вонсовский, Ю.А. Изюмов, Э.З. Курмаев, Сверхпроводимость переходных металлов, их сплавов и соединений, М., Наука, Физматгиз, 1977, 384 с.
8. М. Коэн, Г. Глэдстоун, М. Йенсен, Дж. Шриффер, Сверхпроводимость полупроводников и переходных металлов, пер. с англ., М., Мир, 1972, 316 с.
9. Дж. Шриффер, Теория сверхпроводимости, М., Наука, Физматгиз, 1970. - 312 с.
10. А. Роуз-Инс, Е. Родерик, Введение в физику сверхпроводников, пер. с англ., М.,

Мир, 1972.

11.М. Уилсон, Сверхпроводящие магниты, М., Мир, 1985, 405 с.

12.Н.В. Плакида, Высокотемпературные сверхпроводники, М., Наука, Физматгиз, 1993, 288 с.

13.Мощалков В.В., Высокотемпературная сверхпроводимость, М., Знание, 1987.

14.К.К. Лихарев, В.К. Семенов, А.Б.Зорин, Новые возможности для сверхпроводящей электроники // Итоги науки и техники,сер. Сверхпроводимость, 1988, Том 1, сс.1-74.

15.А.Кемпбелл, Дж.Иветтс, Критические токи в сверхпроводниках, пер. с англ., М., Мир, 1975-332с.

16.В.М.Пан, В.Г.Прохоров, А.С.Шпигель, Металлофизика сверхпроводников, К., Наукова Думка, 1984.-192 с.

17.Р.Г.Минц, А.Л.Рахманов, Неустойчивости в сверхпроводниках, М., Наука, 1984. - 262 с.

18.А.Вл.Гуревич, Р.Г.Минц, А.Л.Рахманов, Физика композитных сверхпроводников, М., Наука, Физматгиз, 1987. - 240 с.

19.Высокотемпературные сверхпроводники, Под ред. Д. Нелсона, М.Уиттингхема, Т.М.М. Джорджа, М., Мир, 1988.

20.А. Бароне, Дж. Патерно, Эффект Джозефсона, пер. с англ., М., Мир, 1984

21.И.М. Дмитренко, В мире сверхпроводимости, К., Наукова Думка, 1981.