

ЗМІСТ

Передмова	5
Лекція 1 (<i>Основні експериментальні факти, спостережувані ефекти</i>).....	10
Лекція 2 (<i>Магнітні властивості надпровідників</i>).....	23
Лекція 3 (<i>Термодинаміка надпровідників</i>)	30
Лекція 4 (<i>Феноменологічні підходи до опису надпровідності, теорія Лондонів</i>)	38
Лекція 5 (<i>Глибина проникнення Лондонів, глибина проникнення Піппарда</i>)	47
Лекція 6 (<i>Квантове узагальнення рівнянь Лондонів та найпростіші їх розв'язки</i>)	58
Лекція 7 (<i>Провідні властивості надпровідників</i>).....	71
Лекція 8 (<i>Теорія Гінзбурга-Ландау</i>)	81
Лекція 9 (<i>Довжина когерентності, параметр Гінзбурга-Ландау, ефект близькості</i>) ...	96
Лекція 10 (<i>Енергія границі між нормальною та надпровідною фазами</i>).....	111
Лекція 11 (<i>Слабка надпровідність, стаціонарний ефект Джозефсона</i>)	125
Лекція 12 (<i>Нестаціонарний ефект Джозефсона</i>)	134
Лекція 13 (<i>Проникнення магнітного поля у слабкий контакт</i>)	145

Лекція 14 (<i>Струмові особливості слабких контактів, сквіди, надпровідники II-го роду</i>)	157
Лекція 15 (<i>Вихори Абрикосова, перше та друге критичні магнітні поля</i>).....	167
Лекція 16 (<i>Критичний струм, резистивний стан</i>).....	182
Лекція 17 (<i>Основи мікроскопічної теорії</i>)	197
Лекція 18 (<i>Феномен Купера, теорія Бардіна-Купера-Шріффера</i>)	211
Лекція 19 (<i>Метод рівнянь руху, перетворення Боголюбова, квазічастинкові збудження</i>)	224
Лекція 20 (<i>Надпровідна щілина, струм розпарювання</i>)	241
Лекція 21 (<i>Нерівноважні процеси, відбиття Андреса</i>)	254
Заключні зауваження	270
Рекомендована література, деякі корисні е-адреси в Інтернеті	273
Енергетичні величини та співвідношення між ними	274

ПЕРЕДМОВА

Лекційний курс, який ви тримаєте у руках, розкрили і, сподіваюсь, вивчатимете, присвячений унікальному та дуже цікавому фізичному явищу – надпровідності, важливого при цьому не тільки з фундаментальної, а й з прикладної точки зору його різноманітних застосувань. Матеріал курсу викладався впродовж 1988-1997 рр. на старших курсах фізичного та радіофізичного факультетів Київського національного університету ім. Тараса Шевченка, а з 1998 р. викладається в рамках підготовки спеціалістів і магістрів на фізико-математичному факультеті Національного технічного університету України “Київський політехнічний інститут”. У лекціях робиться спроба представити основні фізичні уявлення про історію, найбільш суттєві для розуміння експериментальні факти, розвиток поглядів та методи опису надпровідників і надпровідних сполук, їх взаємодію з постійними та змінними електромагнітними полями, мікроскопічні причини та механізми виникнення надпровідного стану і, нарешті, деякі питання слабкої надпровідності.

Виклад матеріалу лекцій наближений до історії досліджень в області фізики надпровідних явищ та спирається на поступове накопичення про них експериментальних даних. З методичної точки зору обрано такий спосіб подання учбового матеріалу, коли воно представлене не у вигляді розширеного переказу, як це, власне, і прийнято у переважній більшості моног-

рафій та підручників, а як досить обмежений і стислий виклад необхідної для входження в предмет інформації, що безпосередньо повідомляється студентам під час лекцій. Тому лекції не перевантажені математикою, методичними або експериментальними деталями, довгими викладками чи складними графіками, а також надто глибокими міркуваннями тощо, які наведені та у деталях викладаються у багаточисельній і багаторівневій літературі з питань надпровідності. Все це пояснюється тим, що ставилася мета якомога більше зосередитись на фізичному змісті та тлумаченні ефектів і процесів, що розглядаються, їх зв'язку з деякими явищами інших розділів фізики, якісних можливостях експериментального спостереження тих чи інших передбачень теорії. Дуже коротко згадуються сучасні напрямки застосувань явища надпровідності, в тому числі високотемпературної. Майже всі результати, що наведені нижче, отримані з “перших принципів” так, щоб студент міг простежити за викладом від початку і до кінця. Проте складні обчислення ми старалися, як вже зазначалося, обминати, наводячи, коли треба, тільки кількісну оцінку або якісні міркування.

Не зупиняючись на короткій характеристиці лекційного посібника – про нього легко дізнатись із змісту, зауважу (в першу чергу, для майбутніх дослідників), що на відміну від багатьох інших розділів фізики в області дослідження фундаментальних властивостей надпровідників ϵ , як говорить лауреат Нобелівської премії 2003 р. видатний російський фізик-теоретик В.Л. Гінзбург, своя “провідна зірка”. Подібне буває не настільки часто, щоб в певній області знань можна було сформулювати наукову задачу, яка б виявилась зро-

зумілою навіть для людей, далеких від науки та її основних напрямів. В галузі надпровідності така зірка, або задача-максимум, безумовно, існує.

Нею тепер для дуже великої кількості науковців, інженерів і технологів є відкриття або штучне створення сполук, що здатні переходити у надпровідний стан при нормальних умовах – головним чином, температурних. Вже виник і став використовуваним термін *кімнатно-температурні надпровідники* або *кімнатно-температурна надпровідність*. Зараз, коли пишуться ці рядки, у світі нема людини, у тому числі, із середовища професіоналів-низькотемпературщиків, хто б мав уявлення, як це зробити і чи можна зробити взагалі. Проте, і це надзвичайно важливо, ніхто не висловив принципових заперечень з приводу того, що такі системи не можуть існувати. Тут, здається, велику роль, має зіграти розуміння, що надпровідники з шуканими параметрами можуть бути саме серед штучних сполук, в той час як досі такими були, значною мірою, природні речовини. Як відомо, спеціально синтезовані сполуки по багатьох фізичних параметрах дуже часто переважають природні. Тому виникає надія, що серед останніх, в решті решт, виявиться і критична температура того чи іншого штучного надпровідника.

Ці слова мені особливо хотілося висловити у передмові з надією, що хто-небудь з випускників славетного НТУУ “КПІ” захопиться такою – без перебільшення, загальнолюдською і в той же час благородною – ціллю ошчасливити людство невичерпними можливостями невитратної передачі електричної енергії на будь-які відстані. В усякому разі, хотілося б побажати майбутнім дослідникам займатися проблемами, які не

тільки нетривіальні з наукової точки зору, але й цікавлять людство, важливі для його добробуту і довготривалого перебування на Землі.

Надпровідності ще немає 100-а років і довгий час, близько 50-ти років, її застосування стримувалося поганим розумінням її природи і порівняно обмеженими можливостями техніки низьких температур. Але згодом, у 70-80-ті роки минулого століття, з об'єкту суто фізичних досліджень надпровідність перетворилась у таку, чий знання і досягнення не тільки проникли у різні галузі техніки, але і створили нові. Надпровідні матеріали використовуються для створення надсильних магнітних полів, кабелів, спроможних переносити великі густини струмів без втрат, потужних моторів і генераторів. Створені і широко застосовуються надчутливі прилади слабкострумової електроніки, резонатори, параметричні перетворювачі частот, з'являються станції підсилення сигналів для мобільного зв'язку тощо. Вже висловлені ідеї щодо створення принципово нових елементів пам'яті та логіки не тільки для класичних, а й для квантових великих і персональних ЕОМ. У зв'язку з цим виникає потреба у спеціалістах, що знайомі з основними результатами та досягненнями фізики надпровідності. Хотів би сподіватися, що цей лекційний курс певною мірою сприятиме підготовці саме таких фахівців.

Для розуміння матеріалу досить знань в обсязі стандартних університетських курсів з основ квантової механіки та фізики твердого тіла, зокрема фізики металів.

Міг би подякувати багато колег за співпрацю та корисні поради, але найбільшу подяку висловлюю ке-

рівництву фізико-математичного факультету НТУУ “КПІ” в особі декана академіка Віктора Григоровича Бар’яхтара та керівництву Інституту теоретичної фізики ім. М.М. Боголюбова НАН України в особі директора академіка Анатолія Глібовича Загороднього за підтримку цієї книжки та її видання у рік ювілею – 90-річчя від часу заснування НАН України.

Насамкінець, радий скористатися можливістю і висловити глибоку вдячність кандидатів фізико-математичних наук Олені Олександрівні Понежі та Любові Іванівні Шмагайло (обидві – з ІТФ ім. М.М. Боголюбова НАН України), без великої допомоги яких у підготовці рукопису поява лекцій була б практично неможливою.

2007 р., м. Київ

До другого електронного видання

Це е-видання друге і в ньому виправлені помічені з 2011 р. помилки, які також знаходили переважно студенти, що уважно проробляли текст лекцій. Знову-таки, зауважень і змін не так багато, але їх врахування необхідне для удосконалення викладу.

Як і раніше, сподіваюсь, що Лекції стануть у нагоді і сприятимуть інтересу молоді до такого, можна стверджувати, незрівняного ні з чим явища, як надпровідність, якому вже більше 100 років. Незважаючи на таку давню історію, природа надпровідності ставить нові задачі, для розв’язання яких мають бути готовими наступні покоління дослідників.

2014 р., м. Київ