

Загальні відомості про курс:

Курс лекцій за програмою підготовки бакалаврів.

Всього лекцій: 34 години.

У курсі передбачаються також практично-демонстраційні заняття, де плануються демонстрації методів зрідження низькокиплячих газів (гелію) та особливості техніки використання низьких температур при проведенні експериментальних досліджень.

Викладач:

Професор, доктор фіз.-мат. наук, Пан В.М.

Короткий зміст та мета курсу:

Розвиток багатьох важливих напрямків сучасної фізики, техніки й технології виявився неможливим без проникнення у світ низьких та наднизьких температур, а також у природу незвичайних явищ, які відбуваються при глибокому та надглибокому охолодженні. Завдяки тому, що тепловий рух атомів "вимерзає" й термічна енергія стає все меншою при зниженні температури, електронні й квантові властивості стають домінуючими у конденсованому стані. Саме це дає змогу спостерігати, вивчати й застосовувати унікальні макроскопічні квантові явища надпровідність і надплинність. Надпровідність як і кріоелектроніка, тобто електроніка з використанням низьких температур обіцяють стати галузями сучасної техніки й технології, що найбільш бурхливо розвиваються у третьому тисячолітті.

Запропонований курс лекцій включає короткий виклад основних проблем фізики конденсованого стану, фізики твердого тіла, квантової фізики, які є необхідними для розуміння низькотемпературних явищ. Він дає уяву про походження й природу квантових рідин, надплинності гелію, надпровідності металів та деяких інших низькотемпературних явищ у твердих тілах. Вивчається також техніка глибокого й надглибокого охолодження та проблеми використання низьких і наднизьких температур у сучасній техніці. Курс відповідає програмі підготовки бакалаврів 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 телекомунікаційних технологій.

Зміст курсу:

1. Вступ (2 год). Предмет курсу. Низькі та наднизькі температури. Їх виняткове значення для фізики й техніки. Деякі історичні кроки на шляху до абсолютного нуля. Винятковість гелію. Макроскопічно-квантові явища - надпровідність та надплинність. Унікальні надбання сучасної техніки із застосуванням надпровідності.

2. Надплинність (8 год). Квантова рідина. І-точка. HeI та HeII. Термомеханічний (фонтанний) та механокалоричні ефекти у HeII. Нульова ентропія надплинного гелію. Двохрідинна модель. Бозе-конденсація. Співвідношення невизначеностей. Квантовий осцилятор. Принцип нерозрізнуваності частинок. Симетричні й антисиметричні хвильові функції. Ферміони й бозони. Типи квантових статистик. Принцип Паулі.

Квазічастинки як елементарні збудження. Фонони. Хвильова функція конденсату. Енергетичний спектр надплинного HeII. Розсіювання нейтронів у HeII. Другий звук. Ротони. Критичні явища. Вихори у HeII. Квантування циркуляції. Властивості та надплинність ^2He . Інші квантові надплинні системи.

3. Надпровідність (8 год). Нульовий електроопір. Незатухаючий поверхневий струм. Ефект Мейсснера-Оксенфельда. Бозе-конденсація зарядженої Фермі-рідини. Електрон-фононна взаємодія. Куперівські пари. Енергетична щілина. Ізотопічний ефект. Тунельні явища. Квантування магнітного потоку. Термодинаміка надпровідників. Критична температура та критичне магнітне поле. Надпровідники I-го та II-го роду та їх поведінка у магнітному полі. Глибина проникнення слабого магнітного поля. Тонка плівка у магнітному полі. Критичний струм розпарювання. Енергія NS-межі. Довжина когерентності. Фаза Шубнікова. Друге критичне поле. Вихори Абрікосова. Пінінг вихорів. Заморожений потік та критичний стан. "Високотемпературні" надпровідники (ВТНП). Особливості електромагнітних властивостей ВТНП. Використання надпровідних пристроїв у енергетиці, електротехніці й електроніці.

4. "Слабка" надпровідність (4 год). Фазова когерентність та види слабких зв'язків. Стаціонарний ефект Джозефсона. Нестационарний ефект Джозефсона. Відгук джозефсонівського контакту на зовнішнє магнітне поле. Джозефсонівські вихори. Фраунгоферова структура магніто-польової залежності критичного струму контакту. СКВІД'и. Надпровідникова електроніка.

5. Високочастотні властивості надпровідників (2 год). Комплексна провідність надпровідника. Скін-ефект і поверхневий імпеданс. Поверхневий опір та його температурна залежність. Застосування надпровідників у радіотехніці та телекомунікації.

6. Низькотемпературні явища у твердих тілах (4 год). Теплоємність твердих тіл при низьких температурах. Теплоємність кристалічної ґратки. Електронна теплоємність. Низькотемпературний магнетизм. Парамагнетизм іонів. Антиферромагнетизм. Орієнтація ядерних спінів. Ефект Де-Гааза - ван-Альфена. Кінетичні явища при низьких температурах. Електропровідність. Ефект Шубнікова - Де-Гааза. Квантовий ефект Холла. Теплопровідність діелектриків і металів. Явище квантової дифузії.

7. Техніка глибокого та надглибокого охолодження (6 год). Зрідження низькокиплячих газів. Ефект Джоуля-Томсона. Ідеальний цикл зріджування газу. Цикл із звичайним дроселюванням. Цикл Лінде високого тиску. Цикл Клода-Капіці. Поршневі та турбо-детандери. Теплообмінники й регенератори. Мікрокріогенні охолоджувачі Стирлінга та Джиффорда-МакМагона. Вихореві трубки. Надглибоке охолодження методом адіабатичного розмагнічування парамагнітних солей та ядерних спінів. Охолодження при розчиненні сумішей $\text{He}^3\text{-He}^4$. Низькотемпературна термометрія. Кріостатні системи. Теплоізоляція. Суперізоляція. Транспортування та застосування рідкого гелію та інших низькокиплячих газів.

Передумови:

- Базовий курс квантової механіки;
- Базовий курс електродинаміки;
- Базовий курс фізики твердого тіла;

ЛАБОРАТОРНІ РОБОТИ:

1. Мендельсон К., - Физика низких температур, М., Изд-во иностр. лит-ры, 1963.
2. Скотт Р.Б., - Техника низких температур, М., Изд-во иностр. лит-ры, 1962.
3. Уайт Дж., - Физика и техника низких температур, М., Изд-во иностр. лит-ры, 1962.
4. Пан В.М., Прохоров В.Г., Шпигель А.С. Металлофизика сверхпроводников, К., Наук. Думка, 1984.
5. Тилли Д.Р., Тилли Дж., - Сверхтекучесть и сверхпроводимость, М., Мир, 1977.
6. Кресин В.З., - Сверхпроводимость и сверхтекучесть, М., Наука, 1978.
7. Шмидт В.В., - Введение в физику сверхпроводников, М., Наука, Физматгиз, 1982.
8. Мощалков В.В., - Высокотемпературная сверхпроводимость, М., Знание, 1987.
9. Высокотемпературные сверхпроводники, - Под ред. Нелсона Д., Уиттингхема М., Джорджа Т.М.М., М., Мир, 1988.
10. Побелл, Франк, Материалы и методы при низких температурах, Шпрингер-Ферлаг, Берлин, 1996, 371 с.
11. МакКлэнтон, П.В.Е., Мереди, Д.Дж., - Материалы при низких температурах), Блекі, Лондон, 1984.