

Міністерство освіти і науки України

Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна

Кафедра фізики низьких температур

“ЗАТВЕРДЖУЮ”

Проректор з науково-педагогічної
роботи



2021 р.

Робоча програма навчальної дисципліни

«Властивості конденсованих середовищ при низьких температурах»
(назва навчальної дисципліни)

рівень вищої освіти перший (бакалаврський)
галузь знань 10 природничі науки
(шифр, назва галузі)

спеціальність 104 Фізика та астрономія
(шифр, назва спеціальності)

освітня програма «Фізика»
спеціалізація _____
(шифр, назва)

вид дисципліни нормативна

факультет фізичний

2021/2022 навчальний рік

Програму рекомендовано до затвердження Вченою радою фізичного факультету

«31» серпня 2021 року, протокол № 7.

РОЗРОБНИК ПРОГРАМИ:

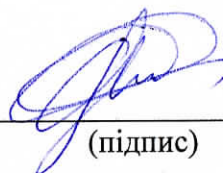
Пойда Володимир Павлович, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри експериментальної фізики.

Орт Олександр Георгійович, кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри фізики низьких температур.

Програму схвалено на засіданні кафедри експериментальної фізики

Протокол від «24» 06 2021 року № 6.

Завідувач кафедри експериментальної фізики



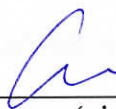
(підпис)

Володимир ПОЙДА
(ім'я та прізвище)

Програму схвалено на засіданні кафедри фізики низьких температур

Протокол від «29» червня 2021 року № 17.

Завідувач кафедри фізики низьких температур



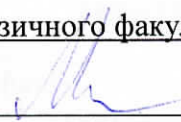
(підпис)

Валерій ШКЛОВСЬКИЙ
(ім'я та прізвище)

Програму погоджено методичною комісією фізичного факультету

Протокол від «31» серпня 2021 року № 1

Голова методичної комісії фізичного факультету



(підпис)

Микола МАКАРОВСЬКИЙ
(ім'я та прізвище)

Гарант ОП



(підпис)

Олег ЛАЗОРЕНКО
(ім'я та прізвище)

ВСТУП

Програма навчальної дисципліни “Властивості конденсованих середовищ при низьких температурах” складена відповідно до освітньої програми «Фізика» підготовки фахівців першого (бакалаврського) рівня вищої освіти
(назва рівня вищої освіти, освітньо-кваліфікаційного рівня)

спеціальність 104 Фізика та астрономія
(шифр, назва спеціальності)

1. Опис навчальної дисципліни

1.1. Мета викладання навчальної дисципліни

1. Опанування студентами властивостей квантових рідин, їх відмінних якостей і методів її застосування в сучасній експериментальній фізиці і новітніх технологіях, а також у надчутливих вимірюваннях в фізиці низьких температур. Знання і розуміння теоретичного та експериментального базису сучасної фізики квантових рідин і низьких температур. Здатність використовувати базові знання з фізики для розуміння природи квантових об'єктів, а саме квантових рідин. Здатність працювати з джерелами навчальної та наукової інформації. Здатність самостійно навчатися і опановувати нові знання з фізики міцності та пластичності твердих тіл.

2. Надання студентам базових знань щодо класифікації та фізичних механізмів утворення дефектів кристалічної структури, а також щодо впливу наявності лінійних, точкових, поверхневих та макроскопічних дефектів на механічну поведінку твердих тіл, які перебувають під дією механічних напружень, високих, кімнатних та низьких температур для того, щоб сформуванати у них такі компетентності:

1. Знання і розуміння теоретичного та експериментального базису сучасної фізики міцності і пластичності матеріалів.
2. Здатність використовувати базові знання з фізики для розуміння будови та механічної поведінки природних і штучних об'єктів: металів, сплавів та інших конструкційних матеріалів.
3. Здатність працювати з джерелами навчальної та наукової інформації.
4. Здатність самостійно навчатися і опановувати нові знання з фізики міцності та пластичності твердих тіл,.

1.2. Основні завдання вивчення дисципліни.

1. Ознайомити студентів із базовими теоретичними знаннями і фундаментальними фізичними уявленнями щодо дефектів кристалічної будови.
2. Ознайомити студентів із основними положеннями фізики міцності та пластичності, а також даними щодо впливу дефектів кристалічної структури на механічні властивості твердих тіл при низьких температурах.
3. Підготувати студентів до сприйняття і розуміння інших фахових навчальних дисциплін, у яких розглядається вплив дефектів кристалічної будови на фізичні властивості твердих тіл.
4. Підготувати студентів до виконання лабораторних робіт на спецпрактикумах кафедри.
5. Підготувати студентів до проведення наукових досліджень, спрямованих на вивчення різноманітних фізичних і, зокрема, механічних властивостей матеріалів при низьких температурах.

6. Сформувати у студентів основні уявлення про статистичні особливості, термодинамічні і кінетичні властивості металів при низьких температурах обумовлені вільними електронами, та основні факти електродинаміки.

1.3. Кількість кредитів: 5

1.4. Загальна кількість годин: 150

1.5. Характеристика навчальної дисципліни	
Нормативна / за вибором	
Денна форма навчання	Заочна (дистанційна) форма навчання
Рік підготовки	
3-й	-й
Семестр	
6-й	-й
Лекції	
64 год.	год.
Практичні, семінарські заняття	
год.	год.
Лабораторні заняття	
год.	год.
Самостійна робота	
86 год.	год.
Індивідуальні завдання	
1 курсова робота (20 годин)	

1.6. Заплановані результати навчання

У результаті вивчення даної навчальної дисципліни студент повинен показати такі результати навчання:

1. Базові теоретичні знання про атомно-кристалічну будову твердих тіл та про основні типи міжатомних сил зв'язку в кристалах.
2. Базові теоретичні знання щодо закону Гука, фізичного змісту модулів пружності твердих тіл і відмінностей між пружною та пластичною деформацією.
3. Базові теоретичні знання щодо класифікації дефектів кристалічної структури, механізмів утворення: точкових дефектів, решіткових та зернограничних дислокацій, поверхневих та макроскопічних дефектів, а також відомості щодо їх властивостей та механізмів взаємодії.
4. Базові теоретичні знання щодо впливу всіх типів дефектів кристалічної структури на деякі фізичні властивості кристалів, у тому числі: вміння аналізувати вплив дефектів решітки на дифузійні явища (рух точкових дефектів), пластичність (рух дислокацій і точкових дефектів), руйнування (зародження і ріст тріщин при об'єднанні дислокацій та пор), двійникування, рух (міграція) міжзернових і міжфазних границь, фазові перетворення тощо.
5. Базові теоретичні знання щодо основних термінів та понять фізики дефектів кристалічної будови, фізики міцності та пластичності.
6. Базові теоретичні знання щодо фізичних основ пластичності та міцності матеріалів, а також про їх механічну поведінку при високих, кімнатних та низьких температурах.
7. Базові теоретичні знання з фізики квантових рідин і надплинності: основні модельні уявлення про квантові бозе-фермі-рідини.
8. Базові теоретичні знання про властивості рідкого He.

9. Базові експериментальні уявлення про сучасний стан дослідження фізики надплинних речовин.
10. Базові знання з методик дослідження надплинної природи кантових рідин.
11. Базові навички самостійного навчання: вміти відшукувати потрібну інформацію щодо дефектів кристалічної будови та щодо механічних властивостей конкретних конструкційних та функціональних матеріалів і, зокрема, металів і сплавів, з яких виготовлені вироби, що експлуатуються при низьких температурах, у друкованих та/або електронних літературних джерелах. Аналізувати, систематизувати, розуміти, тлумачити та запам'ятовувати її, вести та самостійно доповнювати конспекти лекцій, опрацьовувати навчальну літературу, здійснювати самоконтроль якості засвоєння теоретичних знань з даної навчальної дисципліни.

2. Тематичний план навчальної дисципліни

Розділ 1. Атомно-кристалічна будова твердих тіл та її дефекти.

Тема 1. Вступ. Предмет і завдання навчальної дисципліни «Властивості конденсованих середовищ при низьких температурах» .

Тема 2. Атомно-кристалічна будова твердих тіл. Основні характеристики кристалічних твердих тіл. Типи міжатомних сил зв'язку в кристалах. Іонний або гетерополярний зв'язок. Ковалентний або гомеополярний зв'язок. Молекулярний зв'язок. Металевий зв'язок. Змішаний зв'язок. Елементи кристалографії, які будуть використовуватись при вивченні даної навчальної дисципліни (оглядово). Найпоширеніші кристалічні решітки металів: об'ємноцентрована кубічна (ОЦК), гранецентрована кубічна (ГЦК), гексагональна щільно упакована (ГЩУ). Визначення положення атомних площин і напрямків, що проходять у кристалічних просторових решітках, з використанням індексів Міллера. Монокристали. Полікристали. Зерна.

Тема 3. Механічні властивості твердих тіл. Пружна і пластична деформація. Основні визначення: механічне напруження, ступінь деформації, відносний ступінь деформації до руйнування. Поняття про істинний ступінь деформації. Закон Гука. Модулі пружності: модуль Юнга та модуль зсуву. Механічні випробування. Діаграма розтягу. Межа пружності. Межа пропорційності. Межа плинності. Межа міцності.

Тема 4. Класифікація дефектів кристалічної структури. Дефекти кристалічної будови. Поняття про чотири типи дефектів кристалічної будови: точкові, лінійні, поверхневі, об'ємні.

Тема 5. Точкові дефекти. Вакансії та міжвузлові атоми. Утворення точкових дефектів за механізмами Френкеля і Шоттки. Енергія утворення точкових дефектів. Поняття про краудіони. Спотворення в кристалічній решітці, спричинені точковими дефектами. Рівноважна концентрація точкових дефектів. Рухливість точкових дефектів. Поняття про комплекси точкових дефектів. Загартування і відпалювання точкових дефектів. Витоки і стіки точкових дефектів. Експериментальні методи спостереження і дослідження точкових дефектів.

Тема 6. Решіткові (внутрішньозернові) дислокації. Розрахунок теоретичної міцності кристалу для зсуву. Формула Френкеля. Основні типи дислокацій: крайова та гвинтова. «Позитивні» та «негативні» дислокації. Екстраплощина. Лінія, ядро або центр дислокації. Контур і вектор Бюргерса. Густина дислокацій. Рух дислокацій: консервативний та неконсервативний. Ковзання крайової дислокації. Площина та напрямок ковзання. Переповзання крайової дислокації. Рух гвинтової дислокації. Утворення точкових дефектів при неконсервативному русі дислокацій. Утворення порогів на дислокації. Змішані дислокації та їх рух в кристалі. Поперечне ковзання та поперечне множинне ковзання. Пластична деформація кристалів як направлений рух дислокацій під дією прикладних напружень. Гальмування дислокацій. Поняття про основні методи зміцнення матеріалів.

Тема 7. Пружні властивості дислокацій. Дислокації в неперервному пружному середовищі. Поняття про дислокації Вольтера. Енергія крайової та гвинтової дислокацій. Сили, що діють на дислокацію. Взаємодія крайових та гвинтових дислокацій. Взаємодія точкових дефектів з дислокаціями. Атмосфери Котрелла, Снука, Судзукі. Дисперсійне зміцнення. Електрична взаємодія дислокацій з атомами домішок.

Тема 8. Утворення дислокацій. Утворення дислокацій в процесі кристалізації. Утворення дислокацій під дією напружень. Розмноження дислокацій при роботі джерел Бюргерса-Котрелла та Франка-Ріда. Утворення дислокацій з вакансійних дисків. Дислокаційні структури у типових кристалічних структурах. Поділ дислокацій на повні та на частинні. Дефекти упакування. Методи виявлення дислокацій в кристалах.

Тема 9. Поверхневі дефекти. Внутрішні границі кристалів. Границі зерен і субзерен. Блоки. Малокутові границі. Границі кручення і нахилу. Великокутові границі. Модель співпадаючих вузлів. Решітка місць співпаданя вузлів. Спеціальні великокутові границі та великокутові границі загального типу. Зернограничні дислокації та механізми їх утворення. Поняття про активізований стан границь зерен, спричинений їх взаємодією з решітковими дислокаціями. Границі двійників. Границі дефектів упаковки. Міжфазні границі.

Тема 10. Об'ємні дефекти. Пори і тріщини. Критерій Гріффітса. Механізми зародження мікротріщин.

Розділ 2. Фізичні основи пластичності та міцності матеріалів.

Тема 1. Поняття про механічні властивості конструкційних матеріалів. Показники пластичності, міцності, твердості і в'язкості матеріалів. Мікротвердість. Ударна в'язкість. Повзучість. Тривала міцність. Втомленість. Жароміцність.

Тема 2. Механізми пластичної деформації, що здійснюється завдяки руху дислокацій в монокристалі або внутрішньозернового ковзання в зернах полікристалу. Вплив характеристик структурного стану та умов деформування на пластичну деформацію матеріалів.

Тема 3. Механічні властивості конструкційних матеріалів при низьких температурах. Сучасні конструкційні метали і сплави та композитні матеріали, які використовуються при виготовленні криогенного обладнання.

Розділ 3. Квантові рідини.

Тема 1. Природа квантових рідин. Основні модельні уявлення о квантових бозе-фермі-рідинах.

Розділ 4. Рідкий гелій.

Тема 2. Основні властивості He-4. Діаграма стану гелію. Фазовий перехід в рідкому гелії, He – I та He – II. Надплинність рідкого He – II та критерій надплинності Ландау.

Тема 3. Експерименти, що підтверджують справедливість двохрідинної моделі He – II.

Розділ 5. Основи теорії рідкого He – II (квантової бозе-рідини).

Тема 1. Основи теорії рідкого He – II (квантової бозе-рідини).

Тема 5. Теорія надплинності Ландау та елементарні збудження в He – II (фонони та фотони). Двохрідинна модель руху He – II та його термодинамічні характеристики.

Розділ 6. Гідродинаміка надплинного He – II та розповсюдження в ньому низькочастотних звукових хвиль.

Тема 1. Лінеаризація повної системи гідродинамічних рівнянь (без урахування дисипативних ефектів).

Тема 2. Розповсюдження звукових хвиль (1-го, 2-го, 3-го, 4-го та 5-го типів) в надплинному He – II. Течія надплинної компоненти He – II в тонких плівках та каналах.

Розділ 7. Конденсація Бозе-Енштейна та надплинність He – II.

Тема 1. Конденсація Бозе-Енштейна та природа надплинності He – II.

Тема 2. Рівняння Ейлера для надплинної та нормальної компонент He – II.

Розділ 8. Квантовані вихорі в рідкому He – II.

Тема 1. Динаміка прямолінійних вихрових нитей в рідкому He – II, що обертається.

Тема 2. Динаміка квантованих вихрових кілець при течії рідкого He – II крізь капілярні трубки.

3. Структура навчальної дисципліни

Назви розділів і тем	Кількість годин											
	денна форма						заочна форма					
	усього	у тому числі					усього	у тому числі				
л		п	лаб.	інд.	с. р.	л		п	лаб.	інд.	с. р.	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Розділ 1. Атомно-кристалічна будова твердих тіл та її дефекти												
Тема 1.	4	1				3						
Тема 2.	4	1				3						
Тема 3.	5	2				3						
Тема 4.	5	2				3						
Тема 5.	4	2				2						
Тема 6.	4	2				2						
Тема 7.	5	2				3						
Тема 8.	4	2				2						
Тема 9.	4	2				2						
Тема 10.	5	2				3						
Разом за розділом 1	44	18				26						
Розділ 2. Фізичні основи пластичності та міцності матеріалів.												
Тема 1.	6	4				4						
Тема 2.	8	5				4						
Тема 3.	8	5				5						
Разом за розділом 2	22	14				13						
Розділ 3. Квантові рідини												
Тема 1.	2	1				4						
Тема 2.	2	1				3						
Тема 3.	4	2				3						
Разом за розділом 3	8	4				10						
Розділ 4. Рідкий гелій												
Тема 1.	6	3				3						
Тема 2.	5	3				2						
Разом за розділом 4	11	6				5						
Розділ 5. Основи теорії рідкого He – II (квантової бозе-рідини).												
Тема 1.	4	2				4						
Тема 2.	5	2				4						
Разом за розділом 5	9	4				8						
Розділ 6. Гідродинаміка надплинного He – II та розповсюдження в ньому												

низькочастотних звукових хвиль.											
Тема 1.	6	4				6					
Тема 2.	6	4				6					
Разом за розділом 6	12	8				12					
Розділ 7. Конденсація Бозе-Енштейна та надплинність He – II.											
Тема 1.	5	2				4					
Тема 2.	5	2				4					
Разом за розділом 7	10	4				8					
Розділ 8. Квантовані вихорі в рідкому He – II.											
Тема 1.	4	2				2					
Тема 2.	6	4				2					
Разом за розділом 8	10	6				4					
Усього годин	120	64				86					

4. Теми семінарських (практичних, лабораторних) занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1		
	Разом	

5. Завдання для самостійної роботи

№ з/п	Види, зміст самостійної роботи	Кількість годин	Контроль
1	Опрацювати тему «Кристалічна будова твердих тіл»	3	опитування
2	Дослідити кристалічну будову твердих тіл при низьких температурах	3	опитування
3	Ознайомитися з дефектами кристалічної будови	3	опитування
4	Опрацювати поняття про зернограничне проковзування та акомодційні механізми надпластичної течії.	3	опитування
5	Опрацювати поняття про причини та основні механізми крихкого та пластичного руйнування матеріалів.	3	опитування
6	Опрацювати тему «Еквікогезивна температура».	3	опитування
7	Опрацювати поняття про стрибкоподібну деформацію металів і сплавів при низьких температурах.	3	опитування
8	Дослідити низькотемпературну повзучість.	3	опитування
9	Дослідити низькотемпературну крихкість (холодноламкість).	3	опитування
10	За інтернет-джерелами і допоміжною літературою проаналізувати відомості про конструкційну міцність матеріалів криогенної техніки при низьких температурах.	3	опитування
12	Вивчити вплив низьких температур та надпровідного переходу на розвиток пластичної деформації.	3	опитування
13	Опанувати закони Шмідта-Боаса та Холла-Петча.	3	опитування
14	Дослідити явище надпластичності.	2	опитування
15	Опрацювати тему «Квантові бозе- та фермі рідини у Всесвіті та мікросвіті».	3	опитування

16	Оцінити критерій надплинності Ландау в капілярних трубках	3	опитування
17	Ознайомитись з експериментами П.Л. Капиці та Е.Л. Андронікашвілі, що підтверджують двох рідинну модель He- II	3	опитування
18	Дослідити Фейнманівську модель фотонів	3	опитування
19	Опрацювати тему «Термодинамічні характеристики рідкого He – II»	3	опитування
20	Проаналізувати дисипативні процеси в рідкому He - II	3	опитування
21	Ознайомитися з експериментальним визначенням швидкості звуків в рідкому He – II	3	опитування
22	Опрацювати тему «Феноменологічні теорії надплинності Р. Фейнмана, М.М. Боголюбова та В. Гінзбурга-Л. Пітаєвського»	3	опитування
23	Проаналізувати експерименти, що підтверджують існування квантованих вихорів в рідкому He - II	4	опитування
25	Підготувати до захисту курсову роботу	20	захист курсової роботи
	Разом	86	

6. Індивідуальні завдання

Курсова робота

7. Методи контролю

Поточний контроль: опитування, курсова робота; семестровий підсумковий контроль: залікова робота.

8. Схема нарахування балів

для підсумкового семестрового контролю при проведенні залікової роботи

Поточний контроль, самостійна робота, індивідуальні завдання								Залікова робота	Сума
P 1	P 2	P 3	P 4	P 5	P 6	P 7	P 8		
T1-T10	T1-T3	T1-T3	T1-T2	T1-T2	T1 – T2	T 1 – T 2	T1 – T2	60 балів	100 балів
8 бал.	8 бал.	8 бал.	8 бал.	8 бал.	8 бал.	8 бал.	8 бал.		
40 балів									

T1, T2 ... – теми розділів.

Критерії оцінювання навчальних досягнень студентів із навчальної дисципліни «Властивості конденсованих середовищ при низьких температурах»

Навчальні досягнення студентів з навчальної дисципліни «Властивості конденсованих середовищ при низьких температурах» оцінюються в балах, максимальна загальна сума

яких становить 100. Вона складається із 40 балів, які студент може отримати протягом семестру в результаті проходження поточного контролю, та 60 балів, які студент може отримати в результаті проходження підсумкового контролю у вигляді залікової роботи.

Ступінь засвоєння знань студентами (поточний контроль знань) проводиться шляхом їх усного або письмового опитування у під час лекційних занять. Максимальна кількість балів за вичерпні відповіді на запитання за умови стовідсоткового відвідування лекційних занять складає 40.

Залікове завдання складається із 4 тестів відкритого типу, сформульованих у вигляді конкретних вузлових питань за програмою навчальної дисципліни. Вичерпна відповідь на кожне з них повинна бути аргументованою, чітко, логічно та послідовно викладеною. За необхідності висновок повинен підсумовувати або узагальнювати викладене. Правильне виконання кожного з 4 тестів, що входять у залікове завдання, оцінюється 15 балами.

Шкала оцінювання

Сума балів за всі види навчальної діяльності протягом семестру	Оцінка	
	для екзамену	для заліку
90 – 100	відмінно	зараховано
70-89	добре	
50-69	задовільно	
1-49	незадовільно	не зараховано

9. Рекомендована література

Базова література

- Новиков И. И., Розин К. М. Кристаллография и дефекты кристаллической решетки. – М.: Металлургия, 1990. – 231 с.
- Новиков, И.И. Дефекты кристаллического строения металлов: учебное пособие для вузов. – М.: Металлургия, 1983. – 232 с.
- Штремель М. А. Прочность сплавов. Ч. 1, Дефекты решетки. – М.: Металлургия, 1982. – 277 с.
- Штремель М.А. Прочность сплавов: учебник для вузов. Часть I: Дефекты решётки. – М.: МИСиС, 1999. – 384 с.
- Штремель М.А. Прочность сплавов: учебник для вузов. Часть II: Деформация. – М.: МИСиС, 1997. – 527 с.
- Физическое материаловедение: Учебник для вузов: В 6 т. / Под общей ред. Б. А. Калина. – М.: МИФИ, 2007; Том 1. Физика твердого тела / Г. Н. Елманов, А. Г. Залужный, В. И. Скрытный, Е. А. Смирнов, В. Н. Яльцев – М.: МИФИ, 2007.–636 с.
- Владимиров В. И. Физическая природа разрушения металлов. М.: Металлургия, 1984. – 280 с.
- Золоторевский В.С. Механические свойства металлов. М.: Металлургия, 1983. – 352 с.
- Полухин П. И., Горелик С. С., Воронцов В. И. Физические основы пластической деформации. М.: Металлургия, 1982. – 584 с.
- Физическое материаловедение / Под ред. Р. У. Кана и П. Ханзена. Т.3: Физико-механические свойства металлов и сплавов. – М.: Металлургия. –1987. – 663 с.
- Орлов А. Н., Переверзенцев В. В., Рыбин В. В. Границы зерен в металлах. М.: Металлургия, 1980. – 154 с.
- Ужик Г.В. Прочность и пластичность металлов при низких температурах. – М.: Изд-во АН СССР, 1957. – 280 с.

13. Вигли Д.А. Механические свойства материалов при низких температурах. – М.: Мир, 1974. – 336 с.
14. Нечоволод К. К. Ползучесть кристаллических тел при низких температурах. – Киев – Донецк: Вища школа, 1980. – 184 с.
15. Пустовалов В. В., Фоменко В. С. Пластическая деформация кристаллов при низких температурах. К.: Наукова думка. – 2012. – 357 с.
16. Солнцев Ю. П., Ермаков Б. С, Слепцов О. И. Материалы для низких и криогенных температур: Энциклопедический справочник. – СПб.: ХИМИЗДАТ, 2008. – 768 с.
17. Солнцев Ю.П., Степанов Г.А. Конструкционные стали и сплавы для низких температур. – М.: Металлургия, 1985. – 271 с.
18. Веркин Б.И. Пустовалов В.В. Низкотемпературные исследования пластичности и прочности (Приборы техника методы).– М.: Энергоиздат, 1982. – 192 с.
19. Балла Д.Д., Білецький В.І., Бондаренко О.В. Основи фізики квантових рідин. Навчальний посібник. Харків: ХНУ, 2005. – 85 с.
20. Халатников И.М. Теория сверхтекучести. М. : «Наука», Гл. ред. физ.-мат. лит.; 1971. – 320 с.
21. Паттерман С. Гидродинамика сверхтекучей жидкости. М.: «Мир», 1978. – 520 с.
22. Ландау. Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика: Учебное пособие в 10-ти томах. Т. Гидродинамика. 4-е изд., стереот. М.: «Наука». Гл. ред. физ.-мат. лит.; 1988. – 736 с.
23. Лифшиц Е.М., Питаевский Л.П. Теоретическая физика: Учебное пособие в 10-ти томах. Т. 9. Теория конденсированного состояния. М.: «Наука». Гл. ред. физ.-мат. лит.; 1978. – 448 с.
24. Капица П.Л. Научные труды. Физика и техника низких температур. М.: «Наука», 1989.
25. Андроникашвили Э.Л., Мамаладзе Ю.Г., Цакадзе Дж.С., Цакдзе С. Дж. Физика сверхтекучего гелия. Книга 1. Явление сверхтекучести и основные свойства гелия II. Тбилиси: «Мецниереба», 1990. – 188с.
26. Андроникашвили Э.Л., Мамаладзе Ю.Г., Цакадзе Дж.С. Дж. Физика сверхтекучего гелия. Книга 2. Квантованные вихри вращение сверхтекучей жидкости. Тбилиси: «Мецниереба», 1978. – 185с
27. Кондратьев А.С., Кучма А.Е. Лекции по теории квантовых жидкостей. Учебное пособие. Ленинград: Изд-во ЛГУ, 1989. – 264 с.
28. Фейнман Р. Статистическая механика. Курс лекций. Изд 2-е. М.: «Мир», 1978. – 407 с.

Допоміжна література

1. Ван Бюрен. Дефекты в кристаллах. – М.: Изд-во иностр. литер., 1962. – 346 с.
- 2 Орлов А. И. Введение в теорию дефектов в кристаллах. – М.: Высшая школа, 1983. – 144 с.
3. Коттрел А. Теория дислокаций. – М.: Мир, 1969. – 95 с.
4. Шаскольская, М.П. Кристаллография: Учебное пособие для вузов. – М.: Высшая школа, 1984. – 376 с.
5. Хоникомб Р. Пластическая деформация металлов / пер. с англ. Под ред. д. ф.-м. н. Любова Б. Я. – М.: Мир, 1972. – 408 с.
6. Хирт Д., Лоте И. Теория дислокаций / Под ред. Э.М. Нагорного и Ю.А. Осипьяна. – М.: Атомиздат, 1972. – 600 с.
7. Павлов П. В., Хохлов А. Ф. Физика твердого тела: Учебник для вузов. – М.: Высшая школа, 2000. – 494 с.
8. Фридель Ж. Дислокации. – М.: Мир, 1967. – 627 с.
9. Hosford W. F. Mechanical Behavior of Materials. – New York: Published in the United States of America. Cambridge University Press, 2005 – 425 p.

10. Судзуки Т., Ёсинага Х., Такеути С. Динамика дислокаций и пластичность. – М.: Мир, 1989. – 294 с.
11. Справочник по физико-техническим основам криогеники / М.П. Малков, И.Б. Данилов, А.Г. Зельдович, А.Б. Фрадков; под ред. М.П. Малкова. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 432 с.
12. Халатников И.М. Квантовые жидкости. М.: «Знание», 1965. – 16 с.
13. Тилли Д.Р., Тилли Дж. Сверхтекучесть и сверхпроводимость. М.: «Мир», 1977. – 304 с.
14. Кресин В.З. Сверхпроводимость и сверхтекучесть. Изд. 2-е, перераб. М.: «Наука». Гл. ред. физ.-мат. лит.; 1978. – 191 с.
15. Кресин В.З. Макроскопические квантовые явления. М.: «Знание», 1976. – 64 с. (Новое в жизни, науке, технике. Серия «Физика», №8).

10. Інформаційні ресурси в Інтернеті, інше методичне забезпечення

1. https://ru.wikipedia.org/wiki/Дефекты_кристалла
2. http://www.vargin.mephi.ru/book_ph_tvte1o.html
3. http://www.vargin.mephi.ru/book_phys.html
4. http://www.vargin.mephi.ru/book_ph-razn.html