

Міністерство освіти і науки України  
Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна  
Кафедра фізики низьких температур

“ЗАТВЕРДЖУЮ”

Проректор з науково-педагогічної  
роботи



20 р.

Робоча програма навчальної дисципліни

Вступ до фізики низьких температур  
(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

Програму рекомендовано до затвердження Вченою радою фізичного факультету

«31» серпня 2021 року, протокол № 7.

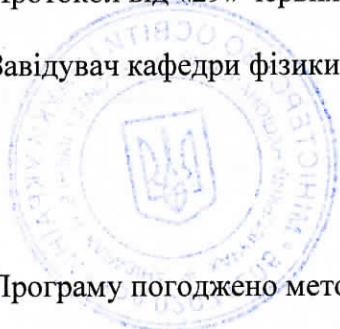
РОЗРОБНИК ПРОГРАМИ:

Савич Сергій Володимирович, кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри фізики низьких температур.

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 «Вступ до фізики низьких температур» укладена відповідно до освітньої програми «Фізика» підготовки фахівців першого (бакалаврського) рівня вищої освіти  
(назва рівня вищої освіти, освітньо-кваліфікаційного рівня)  
спеціальності 104 Фізика та астрономія.

### 1. Опис навчальної дисципліни

1.1. Мета викладання навчальної дисципліни є отримання теоретичних та практичних навичок в галузі експериментального вивчення властивостей твердих тіл при низьких температурах.

1.2. Основні завдання вивчення дисципліни є: сформувати у студентів фізичні уявлення щодо різноманіття та специфіки використання низьких температур у дослідженнях фізичних властивостей речовини.

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	
5-й	-й
Лекції	
32 год.	год.
Практичні, семінарські заняття	
16 год.	год.
Лабораторні заняття	
год.	год.
Самостійна робота	
102 год.	год.
Індивідуальні завдання	
Дві контрольні роботи, 12 год.	
Курсова робота, 18 год.	

1.6. Заплановані результати навчання.

**знати:** характеристики криогенних холодоагентів, фізичні принципи різноманітних процесів охолодження, основні поняття квантової фізики, квантову природу енергетичних спектрів фононів у кристалі при низьких температурах, основні методи експериментальних досліджень фононних спектрів.

**вміти:** вести та самостійно доповнювати конспекти лекцій, опрацьовувати як навчальну так і спеціальну фахову, у тому рахунку і періодичну, наукову літературу, здійснювати самоконтроль якості засвоєння теоретичних знань.

## 2. Тематичний план навчальної дисципліни

**Тема 1.** Термодинамічні основи кріогеніки.

Зміст. Кріогенні рідини як холодоагенти. Розподіл кріогенних газів у природі. Основні фізичні процеси кріогеніки.

**Тема 2.** Огляд методів отримання низьких та наднизьких температур.

Зміст. Скраплювання кріогенних газів. Метод адіабатичного розмагнічування парамагнітних солей. Кріостати. Основи низькотемпературної термометрії.

**Тема 3.** Основи динаміки кристалічних ґраток при низьких температурах.

Зміст. Кристалічна структура. Поняття елементарної комірки. Прості та складні ґратки. Ґратки Браве. Приклади кристалічних ґраток металевих елементів. Низькотемпературний поліморфізм.

**Тема 4.** Зворотна ґратка.

Зміст. Зворотна ґратка, імпульсний простір, зона Бріллюена.

**Тема 5.** Застосування низьких температур у фізиці твердого тіла та фізиці металів.

Зміст. Теплові, магнітні, електричні властивості твердих тіл при низьких температурах. Явище надпровідності.

**Тема 6.** Основні поняття квантової механіки в фізиці низьких температур.

Зміст. Теорія де Бройля. Хвильове рівняння Шредінгера. Співвідношення неозначеності. Принцип Паулі. Розподіли Фермі і Бозе. Тотожність частинок.

**Тема 7.** Квантова теорія коливань кристалічної ґратки (гармонійне наближення).

Зміст. Фонони. Акустичні (поперечні та поздовжні) і оптичні гілки фононного спектру. Поняття закону дисперсії електронів та фононів. Щільність фононних станів (ЩФС). Фізичний зміст і умова нормування ЩФС. Локальні та квазілокальні коливання.

**Тема 8.** Теплоємність ґратки.

Зміст. Моделі Дебая та Ейнштейна. Зв'язок ЩФС і теплоємності. Температурна залежність температури Дебая.

**Тема 9.** Огляд експериментальних методів отримання фононних спектрів та ЩФС.

Зміст. Нейтронографічні, рентгенівські і оптичні методи отримання фононних спектрів та ЩФС. Фізичні процеси, що лежать в основі цих методів.

## 3. Структура навчальної дисципліни

Назви розділів і тем	Кількість годин												
	денна форма					заочна форма							
	усього	у тому числі					усього	у тому числі					
л.		с.	лаб.	інд.	с. р.	л		п	лаб.	інд.	с. р.		
Тема 1	10	2	2			6							
Тема 2	16	6	4			6							
Тема 3	8	2				6							
Тема 4	14	2			6	6							
Тема 5	20	4	6			10							
Тема 6	18	6	2			10							
Тема 7	18	6				12							
Тема 8	12	2				10							
Тема 9	34	2	2		24	6							
<b>Усього годин</b>	150	32	16		30	72							

#### 4. Теми семінарських занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Кріостати розчинення: фізика і технологія.	2
2	Сучасні методи кріогеніки.	2
3	Надплинність гелію: теорія і експеримент.	2
4	Новітні надпровідні сполуки.	2
5	Теоретичні основи надпровідності.	2
6	Проблема високотемпературної надпровідності.	2
7	Квантова фізика: історія і сучасність.	2
8	Термоактиваційний аналіз як метод дослідження напівпровідників.	2
	Разом	16

#### 5. Завдання для самостійної роботи

№ з/п	Види, зміст самостійної роботи	Кількість годин
1	Вивчити фізичний зміст ефектів, що використовуються в кріогеніці.	6
2	Опанувати методи отримання, збереження та транспортування кріогенних рідин.	6
3	Засвоїти основні методи та устаткування низькотемпературної термометрії	6
4	Удосконалити знання з кристалічної будови твердих тіл.	6
5	Вивчити основні фізичні характеристики твердих тіл при низьких температурах.	10
6	Підготуватися до контрольної роботи	6
7	Вивчити базові поняття квантової фізики.	10
8	Опанувати основні положення квантової теорії коливань кристалічних твердих тіл.	12
9	Вивчити різні моделі теплоємності твердих тіл.	10
10	Опанувати методи досліджень фононного спектру кристалічних тіл.	6
11	Підготуватися до контрольної роботи	6
12	Виконати курсову роботу.	18
	Разом	102

#### 6. Індивідуальні завдання

Контрольні роботи, курсова робота.

#### 7. Методи контролю

Поточний: опитування, семінарські заняття, дві контрольні роботи.

Підсумковий: екзамен.

### Схема нарахування балів

Поточний контроль, самостійна робота, індивідуальні завдання									Семінар. заняття	Контр. роботи	Курс. робота	Разом за сем.	Екзамен.	Сума
Розділ 1														
Т 1	Т 2	Т 3	Т 4	Т 5	Т 6	Т 7	Т 8	Т 9	6	12	10	60	40	100
2	6	2	2	4	6	6	2	2						
Разом 32														

T1, T2 ... – теми розділів.

### Критерії оцінювання навчальних досягнень студентів із навчальної дисципліни «Вступ до фізики низьких температур»

Навчальні досягнення студентів з навчальної дисципліни «Вступ до фізики низьких температур» оцінюються в балах, загальна сума яких становить 100. Вона складається із 60 балів, які студент може отримати протягом семестру в результаті проходження поточного контролю, та 40 балів, які студент може отримати в результаті проходження підсумкового контролю у вигляді письмового екзамену.

Ступінь засвоєння знань студентами (поточний контроль знань) проводиться шляхом їх усного опитування під час лекційних занять та двох письмових контрольних робіт. Максимальна кількість балів за вичерпні відповіді на запитання за умови стовідсоткового відвідування лекційних занять складає 32 бали, за контрольні роботи – 12, участь в підготовці та проведенні семінарів – 6, за курсову роботу – 10 балів.

Екзаменаційне завдання складається із 3 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 всіх трьох тестів, що входять у екзаменаційне завдання, оцінюється 40 балами.

### Шкала оцінювання

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

## 9. Рекомендована література

### Основна література

1. Фізика низьких температур: навч. посібник / А. Франів, В. Стадник, В. Курляк. – Львів : ЛНУ імені Івана Франка, 2016. – 362 с.
2. Різак В.М., Різак І.М., Рудацький Е.Я. Криогенна фізика і техніка.– К. Наукова думка, 2006.
3. Веркин Б.И., Соклов С.С. Введение в физику гелия. – Киев: Наук. думка, 1993. – 336 с
4. И.М.Дмитренко. В мире сверхпроводимости. Киев, Наукова думка, 1981.
5. Скотт Р.Б. Техника низких температур. – М.: ИЛ, 1962. – 413 с
6. Сверхпроводящие машины и устройства. Под ред. С.Фонера и Б Шварца. М., Мир,1977.
7. Довгий Я. Чарівне явище надпровідність. –Львів: Євросвіт, 2000.
8. Мендельсон К. На пути к абсолютному нулю. – М.: Атомиздат, 1971.– 274 с.
9. Мендельсон К. Физика низких температур. – М.: ИЛ, 1963. – 230 с.
10. Методы получения и измерения низких и сверхнизких температур. Справочник. Под ред. Б.И.Веркина. – К.: Наук. думка, 1987. – 198 с.
11. Физика низких температур . Под ред. А.И.Шальникова. – М.: ИЛ, 1959. – 937 с.
12. Лоунасмаа О.В. Принципы и методы получения температур ниже 1К. – М: Мир, 1977. – 356 с.
13. Слабкий Л.И. Методы и приборы предельных измерений в экспериментальной физике. – М.: Наука, 1973. – 272 с.
14. Скотт Р.Б. Техника низких температур. – М.: ИЛ, 1962. – 413 с.
15. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Квантовая механика. Нерелятивистская теория. (Теоретическая физика. Том 3). – М.: Наука, 1989. – 752 с.
16. Физика твердого тела. Энциклопедический словарь. В 2-х Т. – Киев: Наук. Думка, 1996.
17. Косевич А.М. Основы механики кристаллических решеток. – М.: Наука, 1972. – 280 с.
18. Брандт Н.Б., Чудинов С.М. Экспериментальные методы исследования энергетических спектров электронов и фононов в металлах. – М.: Изд-во МГУ, 1983. – 406 с.

### Допоміжна література

1. Ашкрофт Н., Мермин Н. Физика твердого тела. Том 1 и 2. М.: Мир 1979.
2. Киттель Ч. Введение в физику твердого тела. М.:Наука, 1978.
3. Брандт Н.Б., Чудинов С.М. Электронная структура металлов. М.: Из – во МГУ, 1973.
4. Киттель Ч. Элементарная физика твердого тела. М.: Наука, 1965.
5. Займан Дж. Принципы теории твердого тела. М.: Мир, 1974.
6. Каганов М.И. Электроны, фононы, магноны. М.: Наука, 1979.
7. Абрикосов А.А. Введение в электронную теорию металлов. М.: Наука, 1971.

## 10. Посилання на інформаційні ресурси в Інтернеті, відео-лекції, інше методичне забезпечення

1. [http://www.vargin.mephi.ru/book\\_ph\\_tvteho.html](http://www.vargin.mephi.ru/book_ph_tvteho.html)
2. [http://www.vargin.mephi.ru/book\\_phys.html](http://www.vargin.mephi.ru/book_phys.html)
3. [http://vargin.mephi.ru/book/ph\\_razn.html](http://vargin.mephi.ru/book/ph_razn.html)