



Фізика та техніка низьких температур

Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	<i>Другий (магістерський)</i>
Галузь знань	<i>10 природничі науки</i>
Спеціальність	<i>104 фізика та астрономія</i>
Освітня програма	<i>Комп'ютерне моделювання фізичних процесів</i>
Статус дисципліни	<i>Вибіркова</i>
Форма навчання	<i>очна(денна)</i>
Рік підготовки, семестр	<i>5 курс, осінній</i>
Обсяг дисципліни	<i>5 кредитів, 150 годин</i>
Семестровий контроль/ контрольні заходи	<i>Екзамен, модульна контрольна робота.</i>
Розклад занять	<i>http://rozklad.kpi.ua/Schedules/ViewSchedule.aspx?v=56662c70-7725-4e49-9d8f-0af4dabd9776</i>
Мова викладання	<i>Українська</i>
Інформація про керівника курсу / викладачів	Лектор: ст. викладач Немировський Анатолій Володимирович, nemiold@ukr.net Практичні: ст. викладач Немировський Анатолій Володимирович, nemiold@ukr.net Лабораторні: ст. викладач Немировський Анатолій Володимирович, nemiold@ukr.net
Розміщення курсу	<i>Посилання на дистанційний ресурс (Moodle, Google classroom, тощо)</i>

Програма навчальної дисципліни

Опис навчальної дисципліни, її мета, предмет вивчення та результати навчання

Робота більшості сучасних приладів заснована на результатах досліджень фізичних властивостей твердих тіл. Знаючи основи фізики твердого тіла, яка, насправді, є дуже розгалуженою наукою, можна дізнатися про методологію і основні загальні методи, що використовуються для з'ясування властивостей твердих тіл та можливості їх прикладного застосування в різних температурних діапазонах включаючи найнижчі.

Низькі температури (0-77K) дозволили відкрити такі нові фізичні ефекти, як надпровідність, надтекучість рідкого гелію, на яких вивчаються особливості їх квантової природи. Кріогенна техніка давно використовує особливості матеріалів та речовин на практиці і вже знайшли технічного застосування деякі пристрої з використанням надпровідності.

Вивчення зазначеної дисципліни забезпечить студентам:

Знання концептуальних підходів фізики до вивчення фізичних явищ.

Знання класичних методів отримання низьких температур;

Знання методик наукових досліджень в області кріогенних температур

Уміння розібратись в складних кріогенних системах.

Уміння виконувати експериментальні роботи з фізики та техніки низьких температур.

Здатність опанувати основні положення фізики надпровідників;
Здатність застосовувати апарат фізики для дослідження квантових процесів при низьких температурах;
Здатність досліджувати властивості різних речовин та матеріалів при значному охолодженні.
Навчальна дисципліна формує у студентів наступні *загальні та фахові компетентності*:

Загальні компетентності:

ЗК2. Знання та розуміння предметної області та розуміння професійної діяльності

ЗК4. Здатність вчитися і оволодівати сучасними знаннями

ЗК7. Здатність проведення досліджень на відповідному рівні

Фахові компетентності:

ФК2. Здатність формулювати, аналізувати та синтезувати рішення наукових проблем в області фізики та/або астрономії.

ФК7. Здатність організувати освітній процес та проводити практичні і лабораторні заняття з фізичних та/або астрономічних навчальних дисциплін в закладах вищої освіти.

ФК9. Здатність самостійно опанувати знання і навички, необхідні для розв'язання складних задач і проблем у нових для себе деталізованих предметних областях фізики та/або астрономії й дотичних до них міждисциплінарних областях.

Після засвоєння навчальної дисципліни студенти мають продемонструвати такі **програмні результати навчання**:

ПРН01 Використовувати концептуальні та спеціалізовані знання і розуміння актуальних проблем і досягнень обраних напрямів сучасної теоретичної і експериментальної фізики та/або астрономії для розв'язання складних задач і практичних проблем.

ПРН02 Проводити експериментальні та/або теоретичні дослідження з фізики та астрономії, аналізувати отримані результати в контексті існуючих теорій, робити аргументовані висновки (включаючи оцінювання ступеня невизначеності) та пропозиції щодо подальших досліджень.

ПРН15 Планувати наукові дослідження з урахуванням цілей та обмежень, обирати ефективні методи дослідження, робити обґрунтовані висновки за результатами дослідження.

ПРН16. Брати продуктивну участь у виконанні експериментальних та/або теоретичних досліджень в області фізики та астрономії.

Вивчення дисципліни має за мету підготовку магістрантів до майбутньої роботи в науково-дослідних лабораторіях та педагогічної діяльності в загальноосвітніх школах та вищих навчальних закладах різного рівня на посадах асистентів.

1. Пререквізити та постреквізити дисципліни (місце в структурно-логічній схемі навчання за відповідною освітньою програмою)

Знання загальноосвітніх дисциплін з експериментальної та теоретичної фізики, вищої математики та дисципліну „Основи електротехніки та електроніки”, які викладаються на попередніх курсах.

2. Зміст навчальної дисципліни

Тема № 1 Низькотемпературна термометрія. Фізичні основи та методи вимірювання низьких температур.

Тема № 2 Вакуум в криогенних системах. Кінетичні явища в газах.

Тема № 3 Поверхневі явища та фазові переходи в вакуумі. Криогенні методи одержання вакууму

Тема № 4 Засоби одержання та контролю вакууму.

Тема № 5 Зберігання і транспорт криогенних продуктів.

Тема № 6 Властивості матеріалів при криогенних температурах. Гелій та тверді тіла при криогенних температурах.

Тема № 7 Надпровідні матеріали. Особливості надпровідного стану.

Тема № 8 Надпровідники другого роду.

Тема № 9 Використання надпровідників в наукових дослідженнях та в техніці

3. Навчальні матеріали та ресурси

1. Лисенко М. Г., Учебний посібник по курсу „Фізика і техніка низьких температур” , рукопис в електронному вигляді , заходиться в криогенній лабораторії ФМФ, 2009–320 с.
2. Посібник. Фізико-технічний лабораторний практикум / А.В. Немировський, М.Г. Лисенко, О.В. Козленко, В.В. Гаврилюк. –Київ : КПІ ім.. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2020. -130с.
3. Фізико-технічний лабораторний практикум / А.В. Немировський, М.Г. Лисенко, О.В. Козленко, В.В. Гаврилюк. –Київ : КПІ ім.. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2020. - 130с. Назва з екрана – Доступ: <http://ela.kpi.ua/jspui/handle/123456789/31316>
4. Справочник по физико – техническим основам криогеники, под ред. проф. М. П. Малкова, Энергоатомиздат, 1985 – 432 с.
5. В. М. Різак, І. М. Різак, Е. Я. Рудавський, Криогенна фізика і техніка, Київ, вид. «Наукова думка», 2006– 512 с.
6. А. М. Архаров, И.В. Марфенина, Е. И. Микулин, Криогенные системы, том 1, Москва, Машиностроение, 1996 – 576 с.
7. Л. Н. Розанов, Вакуумная техника, Москва, Высшая школа, 1990 – 320 с.

Навчальний контент

4. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Лекційні заняття

№ з/п	Назва теми та перелік основних питань (перелік дидактичних засобів з посиланням на літературу)
1	Низькотемпературна термометрія. Фізичні основи та методи вимірювання низьких температур. <i>Температурні шкали та області їх використання. Термодинамічна шкала температур. Міжнародні угоди по стандартизації температурних вимірювань. Базові термометри. Газові та конденсаційні термометри. Вторинні термометри. Градування вторинних термометрів по реперних точках. Таблиця реперних точок для градування в діапазоні криогенних температур. Термопарні термометри, принцип дії та недоліки при вимірюванні криогенних температур.. Термометри опору: металічні (платинові та мідні) та напівпровідникові. Переваги платинових термометрів. Магнітні термометри. Рекомендації по вимірюванню наднизьких температур.</i> Літ.: [2], розділ 10, [3], стор.156 – 180.
2	Вакуум в криогенних системах. Кінетичні явища в газах. <i>Види теплообміну в криогенних системах: конвекція в газах, теплопередача в газах теплоізоляційного шару, радіаційний теплообмін. Роль теплопередачі в газах теплоізоляційного шару. Види низькотемпературної теплоізоляції. Газонаповнена теплоізоляція під атмосферним тиском. Високо вакуумна теплоізоляція. Вакуумно-порошкова теплоізоляція. Багатошарова екранно–вакуумна теплоізоляція. Переваги та недоліки вакуумної теплоізоляції. Теплові мости та опори. Теплопередача в вакуумних системах. Степені вакууму та особливість теплоізоляції при різних якостях вакууму. Внутрішнє тертя в газах.</i> Літ.: [1], розділ 2, [2], розділ 7, 8Б.
3	Поверхневі явища та фазові переходи в вакуумі. Криогенні методи одержання вакууму. <i>Сорбція та її види. Механізми сорбції. Сорбенти і сорбати. Адсорбція. Теплота адсорбції, фізична та хімічна адсорбція. Механізми адсорбції. Теплоті фізичної та хімічної адсорбції різних речовин на вуглеці. Час адсорбції., його залежність від теплоти адсорбції. Випаровування та конденсація в вакуумі. Тиск насиченої пари різних речовин, тиск вакуумних масел. Адсорбція газів і пари. Розчин газів в твердих тілах. Вплив</i>

	<p><i>адсорбції на якість вакуумних систем. Швидкості випаровування різних речовин. Використання сорбції та фазових переходів при криогенних температурах. Криогенні методи одержання глибокого вакууму. Адсорбційні криогенні насоси.</i></p> <p>Літ. [1], розділ 2, [4], глава 2</p>
4	<p>Засоби одержання та контролю вакууму.</p> <p><i>Дифузія та течія газів. В'язкий і молекулярний режими течії газу Течія газу в трубопроводах. Провідність трубопроводу круглого перерізу при різних режимах. Схема найпростішої вакуумної системи, основне рівняння вакуумної техніки. Вакуумні насоси, класифікація. Основні параметри вакуумних насосів. Конструкції об'ємних насосів. Принцип дії та конструкція роторних насосів. Форвакуумні насоси, молекулярні насоси, пароструминні насоси. Вакуумні масла. Високо вакуумні насоси. Конструкції криогенних насосів. Вимірювання вакууму. ртутні вакуумметри, мембранні вакуумметри, теплові перетворювачі, принцип дії та конструкція основних типів. Пошук протікань в вакуумі. Вакуумні системи та елементи.</i></p> <p>Літ.: [1], розділ 2, [4], глава 6.</p>
5	<p>Зберігання і транспорт криогенних продуктів.</p> <p><i>Технічні вимоги на гази та криопродукти. Балони та газгольдери. Резервуари для зберігання та перевезення рідкого азоту, кисню. Посуд і цистерни для зберігання і перевезення водню та гелію. Зберігання і перевезення природного газу та фтора. Криостати для фізичних дослідів. Особливості конструкцій. Посуд Д'юара. Способи боротьби з теплопритоком в криостатах. Конструктивні особливості гелієвих криостатів. Скляні та металічні гелієві криостати з додатковим охолодженням рідким азотом. Регулювання температури. Способи регулювання температури в криостатах для фізичних досліджень. Діапазони регулювання температури при використанні різних холодоагентів.</i></p> <p>Літ.: [2], розділ 15.16.</p>
6	<p>Властивості матеріалів при криогенних температурах. Гелій та тверді тіла при криогенних температурах.</p> <p><i>Рідкий гелій. Фазова діаграма. Надтекучий гелій. Використання надтекучості в криогенній системі адронного колайдера. Криостати для надпровідних магнітних систем та для вимірювань властивостей речовин в зовнішніх магнітних полях. Механічні властивості конструкційних матеріалів при низьких температурах. Конструкційні матеріали для низьких температур. Електричні властивості матеріалів при низьких температурах. . Робота електронних та оптоелектронних приладів при криогенних температурах, теплові шуми. Використання криокулерів для охолодження вхідних пристроїв електронних схем.</i></p> <p>Літ.: [1],розділ 1, [2], розділ 16</p>
7	<p>Надпровідні матеріали. Особливості надпровідного стану.</p> <p><i>Надпровідний стан. Критична температура. Ізотопічний ефект. Надпровідники в магнітному полі. Критичне поле. Критичний струм. Зв'язок критичного магнітного поля з температурою надпровідника. Основні досліді по вивченню властивостей надпровідників. Ефект Мейснера – Оксенфельда. Феноменологічна теорія Лондонів проникнення магнітного поля в надпровідник. Поверхневі струми в надпровіднику. Модель Біна. Досліді по вимірюванню глибини проникнення магнітного поля в надпровідник. Надпровідники першого та другого роду. Магнітні властивості надпровідників, левітація. Поняття по механізм утворення куперівських електронних пар. та поняття про теорію надпровідності.</i></p> <p>Літ.: [6], стор. 5-49.</p>
8	<p>Надпровідники другого роду.</p> <p><i>Намагніченість надпровідника першого та другого роду. Особливості надпровідності надпровідників другого роду. Глибина проникнення магнітного поля та довжина кореляції надпровідних електронів. Основи теорії надпровідників другого роду Від'ємна та додатна</i></p>

	поверхнева енергія. Утворення вихорів Абрикосова. Основні досліди з надпровідниками другого роду. Механізм надпровідності – вплив піннігу вихорів. „Високотемпературні” (керамічні) надпровідники (ВТНП). Критичні параметри та електричні і магнітні властивості ВТНП. ВТНП з критичною температурою вищою за температуру кипіння рідкого азоту (77 К). Літ.: [6], стор 59 – 74, [1], розділ 4
9	Використання надпровідників в наукових дослідженнях та в техніці. Надпровідні лінії передач. Електричні машини з надпровідними елементами. Надпровідні магнітні системи. Густина струму в надпровідних соленоїдах . Соленоїди для магнітних полів з магнітною індукцією до 10 Тл. Магнітна система адронного колайдера. Особливості надпровідних магнітних систем адронного колайдера з охолодженням надтекучим гелієм.. Надпровідні магніти для реакторів „Токамак” та та магнітних гідрогенераторів. Використання в магнітних підвісах для транспорту на магнітних подушках та магнітних підшипниках з нехтовно малим коефіцієнтом тертя. Низькотемпературні бульбашкові камери. Вимірювання слабких магнітних полів. Надпровідна магнітометрія. Літ.: [6] стор. 96-135, [1], розділ 4

Лабораторні роботи

Лабораторна робота № 1 (в літературі № 21).Визначення швидкості відкачки форвакуумного насоса Літ.: [7]

Лабораторна робота № 2 (в літературі № 5). Вивчення температурних характеристик фотоелектронного помножувача. Літ.: [7]

Лабораторна робота № 3 (в літературі № 7). Вивчення роботи охолоджуваного фото опору. Літ.: [7]

Лабораторна робота № 4 (в літературі № 8). Вивчення роботи охолоджуваного трансформатора.[7]

Лабораторна робота № 5. (в літературі № 9) Визначення критичних полі керамічного надпровідника. Літ.: [7]

Лабораторна робота № 6. (в літературі № 11). Вивчення магнітних властивостей високотемпературного надпровідника. Літ.: [7]

Лабораторна робота № 7 (в літературі № 12). Вивчення магнітної левітації надпровідника.

5. Самостійна робота студента

Проведення розрахунків за первинними даними, отриманими на лабораторних заняттях, , виконання розрахункової роботи, виконання домашньої контрольної роботи.

Політика та контроль

6. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

- Жодних пропусків занять (як лекцій, так і лабораторних). Пропуски з поважних причин відпрацьовуються за окремим графіком.
- На заняттях вітається активність студентів, правда лише по відношенню до теми заняття, максимальна підготовка до лабораторних (наявність протоколу та відповіді на запитання викладача).виконання та захист 6 лабораторних робіт

повна відповідь	2 бали
неповна відповідь	1.5 бали
задовільна відповідь	1 бал
підготовка та виконання лабораторної роботи	0,5 балів
не підготовлення до роботи	0 балів

7. Види контролю та рейтингова система оцінювання результатів навчання (PCO)

Поточний контроль: експрес опитування. Ваговий бал = 2.5. Максимальна кількість балів на всіх практичних заняттях дорівнює

$$2,5 \text{ балів} \times 6 = 15 \text{ балів}$$

Лабораторні роботи

Ваговий бал – 2.5. максимальна кількість балів за всі лабораторні роботи дорівнює

$$2,5 \text{ балів} \times 6 = 15 \text{ балів}$$

Модульний контроль

Максимальна кількість балів за всі контрольні роботи

$$7.5 \text{ балів} \times 2 = 15 \text{ балів.}$$

Календарний контроль: провадиться двічі на семестр як моніторинг поточного стану виконання вимог силабусу.

Семестровий контроль: екзамен

Умови допуску до семестрового контролю: [зарахування усіх лабораторних робіт / семестровий рейтинг більше 35 балів.](#)

Таблиця відповідності рейтингових балів оцінкам за університетською шкалою:

<i>Кількість балів</i>	<i>Оцінка</i>
100-95	Відмінно
94-85	Дуже добре
84-75	Добре
74-65	Задовільно
64-60	Достатньо
Менше 60	Незадовільно
Не виконані умови допуску	Не допущено

8. Додаткова інформація з дисципліни (освітнього компонента)

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

Складено старшим викладачем Немировським Анатолієм Володимировичем

Ухвалено кафедрою загальної фізики та фізики твердого тіла (протокол № 06-21 від 18.06.2021)

Погоджено Методичною комісією факультету¹ (протокол № 13 від 22.06.2021)

¹ Методичною радою університету – для загальноуніверситетських дисциплін.