

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД
“УЖГОРОДСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ”**

**кафедра твердотільної електроніки та
інформаційної безпеки**



«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Проректор з наукової роботи

_____ /Студеняк І.П./

«28» вересня _____ 2020 року

**РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ
“КВАНТОВІ МАКРОСКОПІЧНІ ОБ’ЄКТИ І КВАНТОВІ ЯВИЩА”**

| | |
|---------------------|-----------------------------------|
| Рівень вищої освіти | третій (освітньо-науковий) |
| Галузь знань | 10 Природничі науки |
| Спеціальність | 104 Фізика та астрономія |
| Освітня програма | Фізика та астрономія |
| Статус дисципліни | вибіркова |
| Мова навчання | українська |

Ужгород 2020

Робоча програма навчальної дисципліни **«Квантові макроскопічні об'єкти і квантові явища»** для здобувачів вищої освіти ступеня доктора філософії галузі знань **10 Природничі науки** спеціальності **104 Фізика та астрономія** освітньої програми **Фізика та астрономія**.

Розробники програми: Різак В.М., доктор фіз.-мат. наук, професор

Робочу програму розглянуто та затверджено на засіданні кафедри **твердотільної електроніки та інформаційної безпеки**

Протокол № 1 від 10 вересня 2020 р.

Завідувач кафедри _____

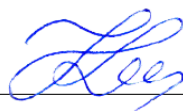


Різак В.М.

Схвалено науково-методичною комісією фізичного факультету

Протокол № 1 від 23 вересня 2020р.

Голова науково-методичної комісії _____



Карбованець М. І.

1. ОПИС НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

| Найменування показників | Розподіл годин за навчальним планом | |
|--|-------------------------------------|-----------------------|
| | Денна форма навчання | Заочна форма навчання |
| Кількість кредитів ЄКТС – 7 | Рік підготовки: | |
| Загальна кількість годин - 210 | 1 | 1 |
| Кількість модулів – 2 | Семестр: | |
| Тижневих годин для денної форми навчання: аудиторних – 3 самостійної роботи студента – 4 | 1,2 | 1,2 |
| | Лекції: | |
| | 40 | 16 |
| | Практичні (семінарські): | |
| | 44 | 8 |
| Вид підсумкового контролю: екзамен | Лабораторні: | |
| | | |
| Форма підсумкового контролю: усна | Самостійна робота: | |
| | 126 | 186 |

2. МЕТА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

КВАНТОВІ МАКРОСКОПІЧНІ ОБ’ЄКТИ І КВАНТОВІ ЯВИЩА

Мета курсу – оволодіння аспірантами основними фундаментальними уявленнями про макроскопічні квантові явища та формування в аспірантів навиків експериментальної роботи на приладах та апаратурі для вивчення фізичних явищ в інтервалі низьких температур.

Завдання курсу "Квантові макроскопічні об’єкти і квантові явища" – вивчення поведінки фізичних властивостей речовин при низьких температурах, отримання базових теоретичних знань з квантових теорій надплинності й надпровідності, ознайомлення аспірантів з новими квантовими макроскопічними об’єктами і квантовими явищами та основними сучасними досягненнями на шляху до створення квантового комп’ютера.

Фокус навчальної дисципліни: зміст та матеріал навчальної дисципліни стосується аналізу макроскопічних квантових явищ, який орієнтує на актуальні питання сьогоdnішнього стану фізики, в рамках яких можлива подальша професійна та наукова кар’єра у галузі фізики та астрономії.

Місце дисципліни в структурі освітньо-наукової програми: спецкурс відноситься до дисциплін нормативної частини циклу професійної підготовки, за результатами яких здобувачі здають залік та виконують навчальний процес по спеціальності 104 " фізика і астрономія".

Відповідно до освітньої програми, вивчення дисципліни сприяє формуванню у здобувачів третього рівня вищої освіти таких компетентностей:

Інтегральна: здатність розв'язувати комплексні задачі та проблеми в галузі фізики та астрономії, здійснювати у цій галузі професійну та дослідницько-інноваційну діяльність, що передбачає глибоке переосмислення наявних і створення нових цілісних знань та професійної практики.

Загальні компетентності:

1. *Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу (ЗК-1)*
2. *Навички використання новітніх інформаційних і комунікаційних технологій (ЗК-2)*
4. *Здатність до пошуку, обробки та аналізу інформації з різних джерел (ЗК-4)*
5. *Здатність генерувати нові ідеї (креативність) (ЗК-5)*
8. *Здатність до планування часу (ЗК-8)*
9. *Здатність до роботи в команді, вміння мотивувати інших у просуванні до спільної мети (ЗК-9)*
10. *Здатність комунікації на фахову тематику з нефхівцями (ЗК-10)*

Фахові компетенції (ФК)

1. *Здатність застосовувати фізичні знання для систематизації різноманітних пов'язаних фактів і явищ у різних галузях сучасної теоретичної і експериментальної фізики та астрономії (ФК-1)*
2. *Здатність визначати завдання і проблематику фізичного дослідження в одній з галузей фізики твердого тіла. (ФК-2)*
3. *Здатність вирізняти і знаходити спостережень відтворювані експериментальні факти (ФК-3)*
4. *Здатність створювати та порівнювати між собою фізичні та математичні моделі фізичних об'єктів, процесів та явищ (ФК-4)*
5. *Здатність оцінювати моделі з точки зору відповідності фізичним об'єктам, процесам та явищам, для пояснення яких застосовуються дані моделі (ФК-5)*
7. *Володіння експериментальними методиками дослідження матеріалів, явищ і процесів (ФК-7)*
8. *Оволодіння інформаційними технологіями та електронними засобами проведення, обробки та аналізу результатів дослідження (ФК-8)*
10. *Володіння теоретичними методами, що застосовуються для вивчення фізичних або астрономічних об'єктів, явищ і процесів в області фізики твердого тіла (ФК-10)*

3. ПЕРЕДУМОВИ ДЛЯ ВИВЧЕННЯ НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Передумовами вивчення навчальної дисципліни «Квантові макроскопічні об'єкти і квантові явища» є необхідним знання розділів загальної фізики, теоретичної фізики, квантової механіки, фізики конденсованого стану, фізики низьковимірних систем, квантової теорії твердого тіла. У програмі використовуються результати новітніх досліджень з найактуальніших досягнень галузі макроскопічних квантових явищ та їх практичного застосування.

4. ОЧІКУВАНІ РЕЗУЛЬТАТИ НАВЧАННЯ

Відповідно до освітньої програми «Фізика та астрономія», вивчення навчальної дисципліни повинно забезпечити досягнення здобувачами вищої освіти таких програмних результатів навчання (ПРН):

| Програмні результати навчання | Шифр ПРН |
|--|-----------------|
| Сучасні передові концептуальні та методологічні знання в галузі фізики і астрономії та суміжних галузей знань. | ПРН 1.1 |
| Фундаментальні праці провідних зарубіжних вчених та наукових шкіл у галузі дослідження | ПРН 1.2. |
| Формулювати мету власного наукового дослідження в контексті світового наукового процесу, усвідомлювати його актуальність і значення для розвитку інших галузей науки, суспільно-політичного, економічного життя. | ПРН 2.1 |
| Формулювати загальну методологічну базу власного наукового дослідження | ПРН 2.2. |
| Проводити комплексні дослідження в галузі науково-дослідницької та інноваційної діяльності, які приводять до отримання нових знань. | ПРН 2.3. |
| Формулювати наукову проблему з огляду на стан її наукової розробки та сучасні наукові тенденції. | ПРН 2.5. |
| Формулювати робочі гіпотези та моделі досліджуваної проблеми. | ПРН 2.6. |
| Аналізувати наукові праці в галузі сучасної фізики, виявляючи дискусійні та мало досліджені питання | ПРН 2.7 |
| Здійснювати моніторинг наукових джерел інформації відносно досліджуваної проблеми | ПРН 2.8. |
| Визначати інформаційну цінність джерел шляхом порівняльного аналізу з іншими джерелами | ПРН 2.9. |
| Вести спілкування в діалоговому режимі з широкою науковою спільнотою та громадськістю в галузі фізики та астрономії | ПРН 3.1. |
| Уміти використовувати сучасні інформаційні та комунікативні технології при спілкуванні, обміні інформацією, зборі, аналізі, обробці, інтерпретації джерел. | ПРН 3.5. |
| Самовдосконалюватися, нести відповідальність за новизну наукових досліджень та прийняття експертних рішень | ПРН 4.3 |

Очікувані результати навчання, які повинні бути досягнуті здобувачами освіти після опанування навчальної дисципліни «Квантові макроскопічні об'єкти і квантові явища»:

| Очікувані результати навчання з дисципліни | Шифр ПРН |
|---|-----------------|
| Узагальнення і систематизація знань та основних концепцій, теоретичних і практичних проблем в галузі сучасної фізики, зокрема, аспектів макроскопічних квантових явищ | ПРН 1.1 |
| Знати макроскопічні рівняння надплинної рідини та їх розв'язки | ПРН 1.2 |
| Знати типи звуків в надплинній рідині, квантові вихори в надплинному гелії, фермі-рідина, властивості квантового газу квазічастинок | |
| Знати основні експериментальні факти надпровідного стану та класифікацію надпровідників | |
| Знати ефект Мейснера, рівняння Лондонів, рівняння Гінзбурга-Ландау, квантування магнітного потоку, вихрові нитки в надпровідниках | ПРН 1.2 |
| Знати мікроскопічну теорію Бардіна-Купера-Шриффера | ПРН 1.2 |
| Знати основи зонної теорії, квантовий ефект Холла в двовимірних системах | ПРН 1.2 |
| Розуміти фізичні явища, що проходять в атомних конденсатах й атомних лазерах та квантовому комп'ютері | ПРН 1.2 |

| | |
|---|----------|
| Вміти логічно і послідовно формулювати основні фізичні принципи надплинності і надпровідності та інших макроскопічних квантових ефектів | ПРН 2.3 |
| Вміти застосовувати математичний апарат для пояснення досліджуваних явищ | ПРН 2.6 |
| Вміти застосовувати фундаментальні знання до розв'язку конкретних практичних та інженерних задач | ПРН 2.6 |
| Аналізувати існуючі експериментальні підходи у вивченні макроскопічних квантових ефектів | ПРН 2.7 |
| Вміти орієнтуватись в науковій і науково-популярній літературі та мати представлення про основні тенденції розвитку концепції симетрії та концепції топології в сучасній фізиці | ПРН 2.7 |
| Вміти використовувати базові теоретичні знання для розв'язку професійних задач, усвідомлювати їх актуальність і значення для розвитку інших галузей науки | ПРН 2.1 |
| Набути навичок підготовки презентацій та виступів на семінарських заняттях | ПРН 3.3 |
| Володіти навичками аналізу методологічних проблем, що виникають при вирішенні дослідницьких і практичних завдань у галузі дослідження макроскопічних квантових явищ | |
| Володіти навичками включати отримані знання про дані явища в уже наявну систему знань і застосовувати їх в самостійних методичних розробках | |
| Володіти навичками переносити отримані знання про дані методи в суміжні галузі і використовувати ці знання для побудови узагальнених міждисциплінарних методичних розробок. | |
| Володіти навичками ініціювати наукові дослідження галузі фізики та астрономії | ПРН 4.1. |

5. ЗАСОБИ ДІАГНОСТИКИ ТА КРИТЕРІЇ ОЦІНЮВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ НАВЧАННЯ

Засоби оцінювання та методи демонстрування результатів навчання

Засобами оцінювання та методами демонстрування результатів навчання з навчальної дисципліни є: **оцінювання домашніх і самостійних завдань та контрольних робіт; оцінювання завдань, виконаних студентами під час практичних занять, залік.**

Контрольні заходи включають такі **форми контролю та критерії оцінювання результатів навчання**: поточний, модульний та підсумковий контроль.

Поточний контроль – оцінювання рівня знань, умінь і навичок здобувачів, що здійснюється в ході навчального процесу проведенням усного опитування, контрольної роботи, тестування, домашнього завдання тощо.

Результатом *модульного контролю* є модульна бальна оцінка, за якою підбивається підсумок роботи аспірантів впродовж модуля у відповідності до кредитно-модульної системи оцінювання знань (КМСОЗ).

Підсумковий семестровий контроль проводиться у формі заліку в обсязі навчального матеріалу, що визначений навчальною програмою, та в терміни, встановлені графіком навчального процесу. При семестровому контролі отримані здобувачем згідно КМСОЗ переводяться в оцінки за національною шкалою та за шкалою ЄКТС.

Комплексний показник успішності здобувача третього рівня вищої освіти, його обізнаності в предметі, що вивчається, характеризує якість його знань, систематичність, творчість,

активність та самостійність. Максимальна сума балів за всі види робіт (контрольні, самостійне вивчення, практичні (семінарські) заняття) з даного курсу становить 100 балів .

Форми контролю та критерії оцінювання результатів навчання

Форми поточного контролю: оцінювання домашніх і самостійних завдань та контрольних робіт, виконаних студентами під час практичних занять (кількість балів зазначена в табл. 1).

Форма модульного контролю: контрольна робота.

Форма підсумкового семестрового контролю: екзамен.

Розподіл балів, які отримують здобувачі вищої освіти (модуль 1)

| Поточне оцінювання та самостійна робота | | | | Модульна контрольна робота | Сума |
|---|----|----|----|----------------------------|------|
| T1 | T2 | T3 | T4 | 20 | 40 |
| 6 | 4 | 6 | 4 | | |

Розподіл балів, які отримують здобувачі вищої освіти (модуль 2)

| Поточне оцінювання та самостійна робота | | | | | Модульна контрольна робота | Сума |
|---|----|----|----|----|----------------------------|------|
| T1 | T2 | T3 | T4 | T5 | 20 | 40 |
| 2 | 2 | 7 | 2 | 7 | | |

Оцінювання окремих видів навчальної роботи з дисципліни

| Вид діяльності здобувача вищої освіти | Модуль 1 | | Модуль 2 | |
|---|-----------|---------------------------------------|-----------|---------------------------------------|
| | Кількість | Максимальна кількість балів (сумарна) | Кількість | Максимальна кількість балів (сумарна) |
| Практичні заняття (допуск, виконання та захист) | 2 | 10 | 2 | 10 |
| Разом | | 10 | | 10 |

Критерії оцінювання модульної контрольної роботи

Завдання для модульної контрольної роботи складається з 4 питань, кожне з яких оцінюється максимально у 5 балів. При оцінюванні кожного завдання контрольної роботи враховується обсяг і правильність виконаних завдань: оцінка “відмінно” ставиться за правильне виконання всіх завдань; оцінка “добре” ставиться за виконання 75 % усіх завдань; оцінка “задовільно” ставиться, якщо правильно виконано більше 50% запропонованих завдань; оцінка “незадовільно” ставиться, якщо завдань виконано менше від 50 %.. Неявка на модульну контрольну роботу – 0 балів.

Критерії оцінювання підсумкового семестрового контролю

До заліку допускаються аспіранти, які виконали всі лабораторні роботи. Залік отримує студент, що виявив знання основного програмового матеріалу в обсязі, необхідному для

подальшого навчання та майбутньої роботи за професією, вміє виконувати завдання, передбачені програмою, ознайомлений з рекомендованою літературою. Підсумкова оцінка розраховується за накопичувальною системою. При цьому максимальна кількість балів встановлюється наступним чином: за змістовий модуль №1 – 40 балів; за змістовий модуль №2 – 40 балів. Білет для проведення заліку складається з 4 питань, кожне з яких оцінюється максимально у 5 балів.

Шкала оцінювання згідно КМСОЗ: ЄКТС та національна

| Сума балів | Оцінка ECTS | Оцінка за національною шкалою |
|------------|-------------|--|
| | | іспит (залік) |
| 90 – 100 | A | відмінно (зараховано) |
| 82 – 89 | B | добре (зараховано) |
| 75 – 81 | C | |
| 64 – 74 | D | задовільно (зараховано) |
| 60 – 63 | E | |
| 35 – 59 | FX | незадовільно з можливістю повторного складання (не зараховано) |
| 0 – 34 | F | незадовільно з обов'язковим повторним вивченням дисципліни (не зараховано) |

6. ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

6.1. Зміст навчальної дисципліни

Модуль 1 **КВАНТОВІ МАКРОСКОПІЧНІ ОБ'ЄКТИ І КВАНТОВІ ЯВИЩА І: електрони в металі й надпровідники, надплинність**

Тема 1. **Фермі-газ: від нормальних металів до зірок**

Фермі-газ в металі.

Фермі-сфера і фотоефект

Теплоємність фермі-газу

Приклади вимірювання теплоємності фермі-систем

Тиск фермі-газу

Тема 2. **Надплинність**

Загальна характеристика гелію.

Рідкий ^4He . Надплинність.

Рідкий ^3He . Фермі-рідина.

Розчини квантових рідин ^3He – ^4He .

Твердий гелій.

Тема 3. **Надпровідність**

Властивості надпровідного стану.

Мікроскопічна теорія надпровідності.

Надпровідники першого і другого роду.

Високотемпературна надпровідність.

Тема 4. Елементи кріоелектроніки

Основні напрямки кріоелектроніки.
Кріогенні перемикачі і запам'ятовуючі пристрої.
Кріогенні пристрої у радіотехніці НВЧ. Сквіди.
Надпровідні приймачі випромінювання.

Модуль 2 КВАНТОВІ МАКРОСКОПІЧНІ ОБ'ЄКТИ І КВАНТОВІ ЯВИЩА II: напівпровідники, двовимірні електронні системи, квазічастинки

Тема 1. Елементарна фізика напівпровідників

Валентна зона і зона провідності
Незвичайні «атоми» в напівпровіднику: електрон донорної домішки
Незвичайні «атоми» в напівпровіднику: екситон

Тема 2. Двовимірні електронні системи

Польовий транзистор
Можливість формування двовимірного електронного газу

Тема 3. Двовимірний електронний газ в магнітному полі. Квантовий ефект Холла

Ефект Холла
Циклотронна орбіта і квантування циклотронного руху
Квантовий ефект Холла

Тема 4. Квантування коливань ґратки кристала

Колівання одновимірної ґратки з однакових атомів
Колівання одновимірної ґратки з базисом
Локальні коливання
Колівання атомів тривимірної ґратки
Експериментальне дослідження коливальних спектрів

Тема 5. Фізичні властивості речовин при низьких температурах

Теплоємність твердих тіл при низьких температурах.
Магнетизм твердих тіл в області кріогенних температур.
Електро- і теплопровідність речовин при низьких температурах.

6.2. Структура навчальної дисципліни Денна форма навчання

| Назви змістових модулів і тем | Кількість годин | | | | | |
|--|-------------------------|-------------------------|-------------------------|----------------------|-------------------|----|
| | Форма навчання - денна: | | | | | |
| | Усього | у тому числі | | | | |
| лекції | | практичні (семінарські) | практичні (лабораторні) | індивідуальна робота | самостійна робота | |
| Модуль 1 | | | | | | |
| Тема 1. Фермі-газ: від нормальних металів до зірок | | 4 | | 9 | | 20 |
| Тема 2. Надплинність | | 4 | | | | 10 |
| Тема 3. Надпровідність | | 4 | | 9 | | 20 |

| | | | | | | |
|---|--|----|--|----|--|-----|
| Тема 4. Елементи кріоелектроніки | | 4 | | 8 | | 16 |
| Модульна контрольна робота | | 2 | | | | |
| Разом за I модуль | | 18 | | 26 | | 66 |
| Модуль 2 | | | | | | |
| Тема 1. Елементарна фізика напівпровідників | | 4 | | | | 4 |
| Тема 2. Двовимірні електронні системи | | 4 | | | | 10 |
| Тема 3. Двовимірний електронний газ в магнітному полі. Квантовий ефект Холла | | 4 | | 9 | | 20 |
| Тема 4. Квантування коливань ґратки кристала | | 4 | | | | 6 |
| Тема 5. Фізичні властивості речовин при низьких температурах | | 4 | | 9 | | 20 |
| Модульна контрольна робота | | 2 | | | | |
| Разом за II модуль | | 22 | | 18 | | 60 |
| Разом за 1,2 семестр | | 40 | | 44 | | 126 |

6.2. Структура навчальної дисципліни

Заочна форма навчання

| Назви змістових модулів і тем | Кількість годин | | | | | |
|---|-------------------------|--------------|----------------------------|----------------------------|-------------------------|----------------------|
| | Форма навчання- заочна: | | | | | |
| | Усього | у тому числі | | | | |
| | | лекції | практичні (семінарські) | практичні (лабораторні) | індивідуальна робота | самостійна робота |
| Модуль 1 | | | | | | |
| Тема 1. Фермі-газ: від нормальних металів до зірок | | 2 | | 2 | | 30 |
| Тема 2 & 3. Надплинність& Надпровідність | | 2 | | | | 30 |
| Тема 4. Елементи кріоелектроніки | | 2 | | | | 30 |
| Модульна контрольна робота | | 2 | | | | |
| Разом за модуль | | 8 | | 4 | | 90 |
| Модуль 2 | | | | | | |
| Тема 1. Елементарна фізика напівпровідників | | 1 | | | | 20 |
| Тема 2. Двовимірні електронні системи | | 1 | | | | 10 |
| Тема 3. Двовимірний електронний газ в магнітному полі. Квантовий ефект Холла | | 1 | | 2 | | 30 |
| Тема 4. Квантування коливань ґратки кристала | | 1 | | | | 16 |
| Тема 5. Фізичні властивості речовин при низьких температурах | | 2 | | 2 | | 20 |
| Модульна контрольна робота | | 2 | | | | |
| Разом за модуль | | 8 | | 4 | | 96 |
| Разом за 1,2 семестр | | 16 | | 8 | | 186 |

6.3. Теми практичних (семінарських, лабораторних) занять

| № з/п | Назва теми | Кількість Годин | |
|--------------|---|-----------------|--------|
| | | Денна | Заочна |
| 1 | Вступне заняття | 6 | |
| 2 | Одержання низьких температур (термоелектричне охолодження) | 8 | 2 |
| 3 | Дослідження явища надпровідності | 8 | 2 |
| 4 | Вимірювання температурних залежностей опору металів і напівпровідників. Вивчення датчиків температури різних типів (криогенні температури) | 8 | 2 |
| 5 | Дослідження ефекту Холла та характеристик польових транзисторів | 8 | 2 |
| 6 | Підсумкове заняття | 6 | |
| Разом | | 44 | 8 |

6.4. Самостійна робота

| № з/п | Назва теми | Кількість годин | |
|-------|--|-----------------|--------|
| | | денна | заочна |
| 1 | Термодинамічні основи охолодження | 10 | 12 |
| 2 | Холодильні цикли | 10 | 12 |
| 3 | Методи одержання температур, нижчих від 1 К | 10 | 12 |
| 4 | Елементи низькотемпературної термометрії | 10 | 12 |
| 5 | Стаціонарний ефект Джозефсона | 4 | 12 |
| 6 | Нестационарний ефект Джозефсона | 6 | 12 |
| 7 | Високотемпературна надпровідність. | 10 | 12 |
| 8 | Квантовий компютер | 6 | 12 |
| 9 | Термогальваномагнітні ефекти | 6 | 10 |
| 10 | Розщеплення холлівських структур | 6 | 12 |
| 11 | Магнітогідродинамічний ефект | 6 | 12 |

| | | | |
|----|---|------------|------------|
| 12 | Гальваномагнітні ефекти | 6 | 12 |
| 13 | Дробовий квантовий ефект Холла | 10 | 12 |
| 14 | Низькотемпературні квантово-розмірні ефекти в напівпровідникових нанокристалах | 10 | 12 |
| 15 | Механічні властивості твердих тіл при низьких температурах | 16 | 20 |
| | Разом | 126 | 186 |

...

7. ІНСТРУМЕНТИ, ОБЛАДНАННЯ ТА ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ, ВИКОРИСТАННЯ ЯКИХ ПЕРЕДБАЧАЄ НАВЧАЛЬНА ДИСЦИПЛІНА

Технічні засоби: лекційний курс передбачає використання технічних засобів навчання, комп'ютерних проекторів.

Обладнання: прилади і матеріали для виконання лабораторних робіт

Програмне забезпечення: Microsoft Office Excel, MATLAB або будь-який інший програмний продукт для обробки експериментальних результатів.

8. РЕКОМЕНДОВАНІ ДЖЕРЕЛА ІНФОРМАЦІЇ

Основна література

1. Різак В.М., Різак І.М., Рудавський Е.Я. Криогенна фізика і техніка: Київ: Наукова думка; 2006.
2. Переш Є.Ю., Різак В.М., Семрад О.О. Хімія твердого тіла - Ужгород: Закарпаття, 2011.
- 3: Ч.Киттель, Введение в физику твёрдого тела,
- 4: Stefan Hüfner, Photoelectron Spectroscopy: Principles and Applications, 1995
- 5: P.Heimann, H.Neddermeyer, Temperature effects on ultraviolet photoemission from gold, Solid State Communications, 26, 279 (1978)
- 6: F.Pobell, Matter and Methods at Low Temperatures, 2007
- 7: N.Bernardes and D.F.Brewer, Liquid and Solid ^3He , Review of Modern Physics, 34, 190 (1962)
- 8: John E. Rives and Horst Meyer, Density of Liquid Helium-3 Between 0.045 and 1.3°K, Physical Review Letters, 7, 217 (1961)
- 9: D.S.Greywall, Specific heat of normal liquid ^3He , Physical Review B, 27, 2747 (1983)
- 10: superconductors.org, , , www.superconductors.org
- 11: Википедія, , , <http://en.wikipedia.org/wiki/Superconductor>
- 12: CERN, LHC Machine Outreach: Superconducting cable, 2015, <http://lhc-machineoutreach.web.cern.ch/lhc-machine-outreach/components/cable.htm>

- 13: Sebastien Balibar, LookingBackatSuperfluidHelium, SeminairePoincare, 1 (2003) (arXiv:0303561) (2003)
- 14: Alfred Leitner, Alfred Leitner's Old Physics Stories, 1963, <http://alfredleitner.com/>
- 15: Андроникашвили Э.Л., Непосредственное наблюдение двух видов движения в гелии II, ЖЭТФ, 16, 780 (1946)
- 16: Андроникашвили Э.Л., Температурная зависимость нормальной плотности гелия-II, ЖЭТФ, 18, 424 (1948)
- 17: В.В. Шмидт, Введение в физику сверхпроводников, 2000
- 18: wikipedia.org, Josephson effect, 2016, http://en.wikipedia.org/wiki/Josephson_effect
- 19: T. Kazimierzczuk, D. Fröhlich, S. Scheel, H. Stolz and M. Bayer, Giant Rydberg excitons in the copper oxide Cu₂O, Nature, 514, 343 (arxiv 1407.0691) (2014)
- 20: В.Л.Бонч-Бруевич и С.Г.Калашников, Физика полупроводников, 1990
- 21: wikipedia.org, Field-effect transistor, 2017, https://en.wikipedia.org/wiki/Field-effect_transistor
- 22: Klaus von Klitzing, The Quantized hall effect, Nobel Prize Lecture, (1985)
- 23: Klaus von Klitzing, Developments in the quantum Hall effect, Philosophical Transactions of the Royal Society A, 363, 2203 (2005)
- 24: Л.Д.Ландау, Е.М.Лифшиц, Теоретическая физика том 3. Нерелятивистская квантовая механика,
- 25: Klaus von Klitzing, 25 Years of Quantum Hall Effect (QHE): A Personal View on the Discovery, Physics and Applications of this Quantum Effect, Seminaire Poincare, 2, 1 (2004)
- 26: Ч.Киттель, Введение в физику твёрдого тела,
- 27: Frank Pobell, Matter and Methods at Low Temperatures, 2007
- 28: W. R. Gardner, J. K. Hoffer, and N. E. Phillips, Thermodynamic Properties of ⁴He. The hcp Phase at Low Densities, Phys. Rev. A, 7, 1029 (1973)
- 29: Малков М.П. и др., Справочник по физико-техническим основам криогеники,
- 30: Джолли У.П. Криоэлектроника. - Москва: Мир, 1975.
- 31: D.R.Smith and F.R.Fickett, Low-Temperature Properties of Silver, Journal of Research of the National Institute of Standards and Technology, 100, 119 (1995)
32. Я.Довгий, Чарівне явище надпровідність, Львів, Євросвіт, 2000.

...

Допоміжна література

1. Методы получения и измерения низких температур и сверхнизких температур / Под ред. Б.И.Веркина. - Киев: Наук. думка, 1987.
2. Орлова Н.П., Погорелова О.Ф., Улыбин С.А. Низкотемпературная термометрия. - Москва: Энергоатомиздат, 1987.
3. R.C.Richardson, E.Smith, Experimental Techniques in Condensed Matter Physics at Low Temperatures, Addison-Wesley Publishing Company.
4. P.V.E. van Clintock et al., Matter at Low Temperatures, Blackie Press, 1980.
5. Štefan J. Svet v blízkosti absolútnej nuly. - Bratislava: Vydavateľstvo Alfa, 1989.
6. Integral quantum Hall effect for non-specialists, D. R. Yennie, Rev. Mod. Phys. **59**, 781 (1987) DOI:10.1103/RevModPhys.59.781
7. 25 years of Quantum Hall Effect, K. Von Klitzing, Poincaré Seminar (Paris-2004). Postscript.
8. Quantum Hall Effect Observed at Room Temperature, Magnet Lab Press Release
9. Room-Temperature Quantum Hall Effect in Graphene, K. S. Novoselov et al., Science **315** 1379 (9 Mar 2007) DOI:10.1126/science.1137201
11. J. E. Avron, D. Osadchy and R. Seiler, Physics Today, August (2003)
12. І.П. Пінкевич, В.Й. Сугаков. Теорія твердого тіла. – К., 2006.
13. Дж. Займан. Принципы теории твердого тела. - М., 1974.
14. А.И. Ансельм. Введение в теорию полупроводников. - М., 1972.
- 15 Н. Ашкрофт, Н. Мермин. Физика твердого тела. Т1,2. - М., 1979.
16. А.С. Давыдов. Теория твердого тела. - М., 1977.

17. Х. Харрисон. Теория твердого тела. - М., 1972.

18 А. Аннималу. Квантовая теория кристаллических твердых тел. - М., 1991.

Інформаційні ресурси в мережі Інтернет

1. www.superconductors.org
2. www.webelements.com
3. www.elsevier.com/locate/cryogenics
4. www.sciencedirect.com/science/journal/09214534

...