

## **МЕТА ВСТУПНОГО ІСПИТУ ДО АСПІРАНТУРИ**

Метою вступного іспиту до аспірантури є перевірка рівня теоретичних знань і практичних навичок вступників у галузі прикладної радіофізики, електроніки та наноматеріалів, можливостей використання знань й застосування навичок у науковому дослідженні та у практичній діяльності, можливостей творчого опрацювання наукової інформації із застосуванням розуміння міждисциплінарного підходу та можливостей творчого мислення щодо пошуку вирішення існуючих проблем. У програмі вступного іспиту до аспірантури відображені основні вимоги до підготовки осіб, що вступають до аспірантури за спеціальністю 105 Прикладна фізика та наноматеріали.

### **1. ЗМІСТ ВСТУПНОГО ІСПИТУ ДО АСПІРАНТУРИ**

Вступні випробування проводяться за рішенням екзаменаційної комісії з використанням білетів. Для підготовки відповіді використовують екзаменаційні листки, що зберігаються в особовій справі вступника.

З програмами вступних випробувань, переліком питань, порядком проведення вступних випробувань за спеціальністю 105 Прикладна фізика та наноматеріали, вступники мають змогу ознайомитися на офіційному сайті ДНУ.

Рівень знань вступників оцінюється екзаменаційною комісією за стобальною системою. Результати проведення вступного випробування оформляються протоколом, в якому фіксуються екзаменаційні питання. На кожного вступника ведеться окремий протокол.

Протоколи прийому вступних випробувань після затвердження зберігаються в особовій справі вступника.

Вступний іспит до аспірантури для здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю 105 Прикладна фізика та наноматеріали складається з питань за наступними розділами:

1. Методологія та організація наукових досліджень.
2. Колювання і хвилі.
3. Статистична радіофізика.
4. Квантова електроніка.
5. Мікропроцесорна техніка.
6. Мікроелектроніка НВЧ.
7. Фізика напівпровідників та діелектриків.
8. Електронні, оптичні та магнітні явища в твердих тілах.
9. Цифрова та аналогова електроніка.
10. Наноматеріали та нанотехнології.

## **2. ПИТАННЯ, ЩО ЗАПРОПОНОВАНІ ДЛЯ ВСТУПНИКІВ ДО АСПІРАНТУРИ ЗА СПЕЦІАЛЬНІСТЮ 105 ПРИКЛАДНА ФІЗИКА ТА НАНОМАТЕРІАЛИ, ОНП ПРИКЛАДНА ФІЗИКА ТА НАНОМАТЕРІАЛИ В 2020 р.**

### **2.1. МЕТОДОЛОГІЯ ТА ОРГАНІЗАЦІЯ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.**

Наука й наукові дослідження в сучасному світі. Фундаментальні наукові дослідження в галузі прикладної фізики та наноматеріалів. Сутність наукової теорії: принцип та категорії. Методи емпіричного дослідження: спостереження, вимірювання, експеримент. Метод як інструмент для вирішення головного завдання науки. Поняття «методологія» та два основних значення. Три рівні загальнонаукових методів дослідження. Методи теоретичного пізнання: формалізацію, аксіоматичний метод, гіпотетико-дедуктивний метод і сходження від абстрактного до конкретного. Загальні методи і прийоми дослідження: аналіз, синтез, абстрагування, ідеалізація, узагальнення, індукція, дедукція. Загально логічні методи і прийоми дослідження: аналогія, моделювання, системний підхід, імовірнісні (статистичні) методи.

### **2.2. КОЛИВАННЯ І ХВИЛІ.**

Основні параметри та характеристики коливального контуру. Резонанс струму. Резонанс напруги. Резонансні характеристики системи зв'язаних контурів. Рівняння та спектр амплітудно-модульованих радіосигналів. Фазова і частотна модуляція. Методи їх здійснення. Частотний детектор із взаємно розстроєними контурами. Фазове детектування. Фазові детектори. Лінійні кола з розподіленими параметрами. Телеграфні рівняння. Принцип та схеми детектування амплітудно-модульованих сигналів. Основні параметри та характеристики довгих ліній. Рівняння Максвелла та їх фізичні інтерпретації. Параметри електромагнітної хвилі. Метод комплексних амплітуд. Комплексний вектор Пойнтінга. Закон збереження енергії в електродинаміці. Плоскі електромагнітні хвилі та їх властивості. Плоскі гармонічні хвилі. Плоскі неоднорідні хвилі. Електромагнітні хвилі у неідеальному провіднику. Граничні умови для векторів електромагнітного поля. Граничні умови Леонтовича. Хвильове рівняння в електродинаміці. Відбиття та заломлення плоскої електромагнітної хвилі на межі з провідним середовищем. Відбиття та заломлення плоскої електромагнітної хвилі на межі поділу двох діелектриків. Повне відбиття плоскої електромагнітної хвилі на межі розділу двох діелектриків. Класифікація електромагнітних хвиль у хвилеводах. Властивості основної хвилі у прямокутному хвилеводі. Матриці розсіювання та передачі НВЧ-елементів та їх властивості. НВЧ трансформатори опорів та їх застосування. Мостові пристрої НВЧ та їх застосування. Резонатори НВЧ.

### **2.3 СТАТИСТИЧНА РАДІОФІЗИКА**

Спектри періодичних сигналів. Тригонометрична й комплексна форма ряду Фур'є. Спектри неперіодичних сигналів. Спектральна густина. Кореляційний аналіз випадкових сигналів. Корелятор та його можливе застосування. Оптимальна лінійна фільтрація сигналів. Дія випадкових сигналів на лінійні стаціонарні кола. Шуми та флуктації в електронних колах. Імпульсні методи вимірювання подовжнього і поперечного часів релаксації ядерного магнітного резонансу.

### **2.4 КВАНТОВА ЕЛЕКТРОНІКА**

Явище ЕПР з точки зору квантової та хвильової теорій. Зв'язок явища ЕПР з ефектом Зеемана. Тонка структура спектрів ЕПР. Надтонка структура спектрів ЕПР. Супернадтонка структура спектрів ЕПР. Форма лінії Гауса. Форма лінії Лоренса. Населеність спінових рівнів. Спонтанні та індуковані переходи в системі спінових рівнів. Спін-гратова та спін-спінова релаксації. Механізми спін-гратової релаксації Явище ЯМР з точки зору квантової та хвильової

теорій. ЯМР в рідинах та в твердому тілі. Явища ЯКР. Поняття сильного та слабого магнітного поля. Рівні Ландау. Циклотронний резонанс. Люмінесценція, екситонна люмінесценція. Різноманітності механізмів люмінесценції та екситонної люмінесценції в твердому тілі. Закони збереження імпульсу та енергії при збудженні та випромінюванні. Примушене випромінювання. Співвідношення Ейнштейна. Від'ємний коефіцієнт поглинання та від'ємні температури. Напівпровідниковий лазер на р-n переході. Твердотільні лазери на кристалах рубіну. НВЧ-генератор на молекулах  $\text{NH}_3$ . Нелінійні явища в оптичному діапазоні: оптичне випромінювання світла та генерація вищих гармонік нелінійним середовищем; вимушене комбінаційне розсіювання та розсіювання Мандельштама-Бріллюена, порушення закону Ейнштейна щодо червоної межі фотоефекта. Фізичні принципи побудови модуляторів лазерного випромінювання: ефекти Керра, Погкельса, Фарадея та пружнооптичний ефект. Дифракція Бреґґа та Рамана-Ната. Зовнішній фотоефект. Типи фотокатодів. Внутрішній фотоефект: фоторезистори, фотодіоди, фототранзистори, фототиристри. їх характеристики та параметри. Оптрони, їх характеристики та параметри, практичне застосування оптронів.

## **2.5. МІКРОПРОЦЕСОРНА ТЕХНІКА**

Загальна структура й основні функції мікропроцесора. Основні режими роботи мікропроцесорних пристроїв. Способи адресації джерел і приймачів інформації. Машинний цикл. Структура мікропроцесорного пристрою. Циклічність роботи мікропроцесора. Слово стану. Шинна організація мікропроцесорних пристроїв. Архітектура. Введення і виведення даних по перериваннях. Схема керування МП у режимі переривань. Схема організації введення і виведення даних за перериванням. Контролери прямого доступу до пам'яті. Організація звертання до пам'яті і зовнішніх пристроїв. Схема. Розподіл простору адрес пам'яті. Формат команд. Способи адресації команд і схеми їхнього виконання. Розподіл команд мікропроцесора залежно від призначення

## **2.6 МІКРОЕЛЕКТРОНІКА НВЧ**

Монолітні та гібридні інтегральні схеми НВЧ. Планарні (смужкові) лінії передачі. Пасивні елементи інтегральних схем НВЧ. Резонатори інтегральних схем НВЧ. Частотні фільтри НВЧ на планарних лініях передачі. Подільники та суматори потужності. Спрямовані відгалужувачі на планарних лініях передачі. Пристрої для керування амплітудою і фазою сигналу. Смужкові невзаємні феритові пристрої. Перетворювачі частоти на смужкових лініях передачі. Мікросмужкові транзисторні підсилювачі НВЧ. Генераторні діоди НВЧ.

## **2.7 ФІЗИКА НАПІВПРОВІДНИКІВ ТА ДІЕЛЕКТРИКІВ**

Будова кристалів. Трансляційна симетрія. Елементарна комірка. Решітки Браве. Індеси Міллера. Поширення хвиль в періодичних структурах. Закон Вульфа-Бреґґа. Дефекти в кристалах. Точкові дефекти та їх утворення. Типи хімічного зв'язку в кристалах. Сили зв'язку у твердому тілі. Описання енергетичного стану кристалів за допомогою газу квазічастинок. Приклади квазічастинок. Фонони, магнони, екситони, плазмони та ін. Електрони в металі як квазічастинки. Квазіімпульс. Закон дисперсії. Теорема Блоха. Густина станів. Статистика газу квазічастинок. Коливання кристалічної решітки. Акустична та оптична вітки коливаль. Теплоємність решітки. Дебаївська частота. Електронні стани в кристалах. Одноелектронна модель. Наближення слабо і сильнозв'язаних електронів. Зонна схема та типи твердих тіл. Вироджений електронний газ. Електронна теплоємність, поверхність Фермі. Ефективна маса. Електрони та дірки. Положення Фермі-рівня в невинроджених напівпровідниках. Явища в контактах. Потенціальні бар'єри. Контактна різниця потенціалів. Бар'єр Шотки. Струми обмежені просторовим зарядом. Поляризація та ефективне поле у діелектриках. Електростриктия і п'єзоелектрика. Піроелектрики і сегнетоелектрики. Електричний гістерезис. Фізичні властивості сегнетоелектриків в області фазових переходів.

## **2.8 ЕЛЕКТРОННІ, ОПТИЧНІ ТА МАГНІТНІ ЯВИЩА В ТВЕРДИХ ТІЛАХ.**

Кінетичні рівняння. Електро- та теплопровідність. Тривалість релаксування. Механізми розсіювання електронів. Розсіювання на домішках і дефектах. Іонна провідність кристалів. Суперіонна провідність. Магнітоопір та ефект Холла. Квантовий ефект Холла. Напівпровідники. Електронна структура. Доміпсові рівні. Донори та акцептори, р-п-переходи. Ефект Гана. Фотопровідність. Рекомбінація та релаксація нерівноважних носіїв заряду. Теплоємність. Температурна залежність теплоємності. Моделі Ейнштейна та Дебая. Класифікація та основні властивості магнетиків. Атомний магнетизм та магнітні властивості слабомагнітних речовин. Діамагнетизм системи слабо взаємодіючих атомів і молекул. Діамагнетизм та парамагнетизм твердих тіл. Природа феромагнетизму. Домени. Магнітний гістерезис. Антиферомагнетизм і феромагнетизм. Механізми поглинання фотонів. Поглинання вільними носіями. Решітчасте поглинання. Поглинання зв'язаними носіями. Міжзонні прямі та непрямі переходи.

## **2.9 ЦИФРОВА ТА АНАЛОГОВА ЕЛЕКТРОНІКА.**

Інтегральні перетворення Фур'є, Лапласа та z-перетворення: означення, основні властивості та використання при моделюванні електронних схем. Підсилювачі низької частоти. Зворотні зв'язки в підсилювачах. Диференціальні підсилювальні каскади. Вихідні каскади підсилення, характеристики та параметри. Операційні підсилювачі. Функціональні пристрої на операційних підсилювачах. Генерація коливань. Баланс амплітуд, баланс фаз. Генератори. RC-генератори з поворотом фази. Детектування сигналів. Детектори. Логічні елементи та схеми. Послідовні логічні пристрої. Комбінаційні логічні пристрої. Типові функціональні вузли цифрових комбінаційних логічних пристроїв. Перетворювачі кодів. Дешифратори. Цифрові компаратори. RS, D, T, JK-тригери. Регістри, лічильники. Дискретизація неперервних сигналів. Фур'є-перетворення дискретних сигналів. Алгоритми швидкого перетворення Фур'є. Z-перетворення та його основні властивості. Найважливіші характеристики цифрових фільтрів. Рекурсивні та нерекурсивні фільтри. Методи синтезу цифрових фільтрів з нескінченною імпульсною характеристикою. Метод білінійного Z-перетворення. Методи синтезу цифрових фільтрів з кінцевою імпульсною характеристикою.

## **2.10 НАНОМАТЕРІАЛИ ТА НАНОТЕХНОЛОГІЇ**

Класифікація квантоворозмірних структур (квантові точки, дроти, плівки, поодинокі квантові ями та надграти). Загальні характеристики квантоворозмірних структур. Класифікація напівпровідникових надграт. Зміна залежності густини квантових станів в квантоворозмірних структурах в порівнянні з об'ємним твердим тілом. Зміни зонних схем напівпровідників та металів в квантоворозмірних структурах в порівнянні з об'ємним твердим тілом. Енергія, імпульс та хвильова функція для електронів в поодинокій квантовій ямі. Технології, що використовуються для створення квантоворозмірних структур. Нові технологічні досягнення та фізичні явища, що спостерігаються в квантоворозмірних структурах. Фотоелектричні прилади на базі пірі структур на коваріаційних напівпровідникових надграт. Випромінюючи квантоворозмірні структури: світлодіоди, лазери. Випромінюючи квантоворозмірні структури білого світла. Сучасні типи транзисторів на базі квантоворозмірних структур. Фізичні властивості поруватого Si. Елементи самоорганізації, що спостерігаються в квантоворозмірних структурах. Діагностика квантоворозмірних структур: рентгено-дифракційний аналіз, мас-спектральний аналіз, атомно-силова мікроскопія, ексітонна та люмінесцентна спектроскопія, зондова скануюча мікроскопія. Квантоворозмірні вуглецеві структури: графен, графан, фулерен.

### 3. КРИТЕРІЇ ОЦІНКИ ВІДПОВІДЕЙ

Кожна відповідь на питання оцінюється за 100 - бальною шкалою:

**60-63:** бали виставляються вступникові в аспірантуру, який демонструє неадекватне розуміння умов завдання, неправильно вибирає шляхи їх вирішення, володіє тільки початковими знаннями

**64-74:** бали виставляються вступникові в аспірантуру, який демонструє знання в обмеженому обсязі, не знає значної частини програмного матеріалу, основних понять з питань прикладної радіофізики, електроніки та наноматеріалів, допускає істотні помилки при відповіді на питання, неспроможний виконати практичні завдання.

**75-81:** бали виставляються вступникові в аспірантуру, який знає лише основний матеріал, але не засвоїв його окремих деталей, допускає недоліки у його практичному застосуванні, відчуває труднощі при інтерпретації окремих складових предметних розділів, обмежений в аналізі та узагальненні явищ, користується в відповідях лише матеріалами конспекту лекцій.

**82-89:** бали виставляються вступникові в аспірантуру, який добре володіє програмним матеріалом, грамотно і по суті викладає його, не допускає істотних недоліків у відповідях на запитання практичного характеру, здійснює грамотні експертні висновки. У відповідях користується основною літературою, підручниками, посібниками.

**90-100:** бали виставляються вступникові в аспірантуру, який в повному обсязі володіє програмним матеріалом, вичерпано, послідовно, грамотно й логічно його викладає. У відповідях вступника до аспірантури добре пов'язана теорія та практика. При цьому вступник не зазнає труднощів з відповіддю на питання прикладного характеру, правильно використовує існуючу законодавчу та нормативну базу, показує обізнаність у матеріалі, викладеному в рекомендованих літературних джерелах.

### 4. ПЕРЕЛІК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Гапонов О.В. Методологія та організація наукових досліджень. Навчальний посібник. Дніпропетровськ. Інновація. 2014. – 59 с.
2. Комлацкий, Логинов, Комлацкий: Планирование и организация научных исследований. Учебное пособие : Феникс, 2014.
3. Основы научных исследований / Б.И. Герасимов, В.В. Дробышева, Н.В. Злобина и др. - М.: Форум: НИЦ Инфра-М, 2013. - 272 с.
4. Основы исследовательской деятельности: уч. пособие / С.А. Петрова, И.А. Ясинская. М.: ФОРУМ, 2010. – 208 с.
5. Кожухар В.М. Основы научных исследований: учебное пособие / В.М. Кожухар. - М. Издательско-торговая корпорация «Дашков и К». 2010. – 2016 с.
6. Анісімов І.О. Коливання хвилі: Навч. посібник для студентів ВНЗ. – К.: Академпрес, 2003. – 280 с.
7. Хижняк М.А. Теорія хвильових процесів: Навч. посібник. – Х.: Штрих, 2003. – 308 с.
8. Фіалковський О.Т., Дочкін А.Г., Бондаренко Т.Г. Технічна електродинаміка: Навч. посібник. – К.: ДУТ, 2018. – 159 с.
9. Пілінський В.В. Технічна електродинаміка та поширення радіохвиль: навч. посібник. – К. НТУ України «КПІ», 2014. – 336 с.
10. Вербицький Є. В. Теорія поля: Навчально-методичний посібник. – К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017. – 262 с.

11. Андрушак А. С., Готра З. Ю., Кушнір О. С. Прикладна електродинаміка інформаційних систем: навч. посібник – Львів: Вид-во Львівської політехніки, 2012. – 304 с.
12. Мінаков А.О., Тирнов О.Ф. Статистична радіофізика: Підручник для ВНЗ. – Х.: Факт, 2003. – 528 с.
13. Волошук Ю. І. Сигнали та процеси у радіотехніці: Підручник для студентів ВНЗ. В 4 т. Т. 1. – Х.: Компанія СМІТ, 2003. – 580 с.
14. Волошук Ю. І. Сигнали та процеси у радіотехніці: Підручник для студентів ВНЗ. В 4 т. Т. 2. – Х.: Компанія СМІТ, 2003. – 444 с.
15. Шуми пристроїв телекомунікацій: навч. посібник / О. О. Дробахін, В. І. Магро, В. Д. Рябчій, Д. Ю. Салтиков. – Д.: РВВ ДНУ, 2017. – 80 с.
16. Буланій М. Ф., Коваленко О. В., Омельченко С. О., Штамбур І. В., Якунін О. Я. Підручник. Резонансні явища. Дн-ськ, АРТ-ПРЕС, 2006.
17. Коваленко О. В., Буланій М. Ф., Омельченко С. О., Штамбур І. В. Спеціальний лабораторний практикум з курсу «Квантова електроніка». ДНУ, 2002.
18. Погорелов В.Є. Фізичні основи квантової електроніки: Підручник. – К.: Київ. ун-т, 2007. – 133 с.
19. Колесник Ю.І., Кіпенський А.В. Елементи та пристрої квантової електроніки: Навч. посібник. – Х.: НТУ «ХПІ», 2016. – 320 с.
20. Панфілов І.П., Флейта Ю.В. Електронні та квантові прилади НВЧ: Навч. посібник. Модуль 1. – Одеса: ОНАЗ ім. О.С. Попова, 2010. – 120 с.
21. Панфілов І.П., Флейта Ю.В. Електронні та квантові прилади НВЧ: Навч. посібник. Модуль 2. – Одеса: ОНАЗ ім. О.С. Попова, 2010. – 118 с.
22. Вертц Дж., Болтон Дж. Теория и практические приложения метода ЗПР М., Мир, 1975.
23. Ж.Ж. Клэр. Введение в интегральную оптику. М. Сов. Радио, 1980.
24. Курбатов Л.И. Оптоэлектроника видимого и ИК диапазонов спектра. М. М ФТИ, 1999.
25. В.С. Голубков, Н.Н. Евтихий, В.Ф. Пануловский. Интегральная оптика в информационной технике. М. Энергоиздат, 1985.
26. К.В. Шалимова. Физика полупроводников. М. Энергия. 1979.
27. Яриев А. Введение в оптическую электронику. М. Вш. школа. 1983.
28. Суэмацу. Основы оптоэлектроники. М. Мир. 1988.
29. М.Ф. Буланій, О.В. Коваленко, В.І. Клименко. М етодичні вказівки до практикуму з оптоелектроніки. ДНУ, 2002.
30. А.Н. Матвеев. Оптика. М. Высш. школа, 1985.
31. Л. А. Косяченко. Основы интегральной та волоконной оптики. Чернівці, Рута, 2008.
32. В.І. Григорук, П.А. Коротков. Основы прикладной оптической спектроскопии. Теория спектроскопии. Навчальний посібник. КНУ ім.Тараса Шевченка, 2013. – 319с.
33. Тонкошкур О.С., Гомілко І.В. Проектування мікроконтролерних пристроїв. Практикум: навчальний посібник. Дніпро, 2019 - 100 с.
34. І.В. Гомілко, О.С. Тонкошкур, О.В. Коваленко. Застосування мікроконтролерів. Навчальний посібник. – Дніпропетровськ: «Видавництво ДНУ», 2013 р. – 428 с.
35. О.С. Тонкошкур, І.В. Гомілко, О.В. Коваленко. Мікроконтролерні пристрої. Навчальний посібник. Мікроконтролерні пристрої.Дніпропетровськ: «Видавництво ДНУ», 2011. – 264 с.
36. О.С. Тонкошкур, В.У. Ігнаткін, І.В. Гомілко. Цифрові пристрої та мікропроцесори. Мікроконтролери. Навчальний посібник. Дніпродзержинськ: ДДТУ, 2008 – 208 с.
37. Дробахін, О. О. Техніка та напівпровідникова електроніка НВЧ: Навч. посібник / О. О. Дробахін, С. В. Плаксін, В. Д. Рябчій, Д. Ю. Салтиков. – Д.: ДНУ, 2018. – 341 с.

38. Бондаренко І.М. Мікроелектроніка НВЧ. Ч.1. Елементи та пристрої НВЧ-тракту: Навч. посібник для студентів ВНЗ. – Х.: ХНУРЕ. – 2017. – 152 с.
39. Бондаренко І.М. Мікроелектроніка НВЧ. Ч.2. Напівпровідникові елементи та пристрої НВЧ: Навч. посібник для студентів ЗВО. – Х.: ХНУРЕ, 2019. – 172 с.
40. Основи мікрохвильової електроніки: Навч. посіб. / В. І. Молчанов, Ю. М. Поплавко. – К.: НТУУ «КПІ», 2010. – 348 с.
41. Мелков Г.А., Прокопенко О.В. Вибрані розділи з курсу «Мікрохвильова електродинаміка та електроніка»: Навч. посібник. – К.: КНУ ім. Тараса Шевченка, 2013. – 226 с.
42. Болеста І.Н. Фізика твердого тіла. – Вид. центр ЛНУ, 2003. - 410 с.
43. Бойчук В.І. Основи теорії твердого тіла. – Дрогобич. – Коло, 2010. – 264 с.
44. Поплавко Ю.М. Фізика твердого тіла. – К.: Вид-во Політехніка. – 2017. – 415 с.
45. М.Г. Находкін, Ф.Ф. Сиров. Елементи функціональної електроніки. Київ, УкрІНТІ, 2002. – 323 с.
46. О. В. Коваленко, О. В. Вашерук, В. Г. Письменний, В. Є. Гроздов, Цифрова схемотехніка, Дніпропетровськ, видавництво ДНУ, 2015. – 166 с.
47. О.В. Коваленко, О.В. Вашерук, В. Г. Письменний, В. Є. Гроздов. Аналогова схемотехніка, Дніпропетровськ, видавництво ДНУ, 2015. – 371 с.
48. Коваленко О. В., Колбунов В. Р., Тонкошкур О. С., Тищенко В. В. Монографія. Керамічні, склоподібні та квантоворозмірні напівпровідникові структури на основі оксидів і халькогенідів металів. Дніпропетровськ. Видавництво ДНУ, 2013.
49. Д. М. Заячук. Нанотехнології наноструктури. Львів. Львівська політехніка, 2009.
50. А. В. Шпак, Ю. А. Куницький, В. Л. Карбовський Кластери і наноструктурні матеріали. Київ, Академперіодика, 2001.
51. А.В.Бабіч, А.В.Коротун. Методичні вказівки до лабораторного практикуму з дисципліни «Фізика низькорозмірних систем». Запоріжжя, ЗНТУ, 2015.
52. Н. Находкін, Д. Шека. Фізичні основи мікро- та наноелектроніки. Київ. КНУ, 2005.
53. Находкін Н, Сизов Ф. Елементи функціональної електроніки. Київ. УкрІНТЕЛ, 2002.
54. Шпак А, Куницький Ю., Коротченко О., Смик С. Квантові низькорозмірні системи. Київ. Академперіодика, 2003.
55. А. А. Щука. Нанoeлектроника. Москва. Бином. Лаборатория знаний, 2012.
56. Д. И. Рыжонков, В. В. Лёвина, Э. Л. Дзидзигури. Наноматериалы. Г. Г. Шишкин, М. Агеев. Нанoeлектроника, элементы, приборы, устройства. Москва, бином. Лаборатория знаний, 2010.
57. Н. Херман. Полупроводниковые сверхрешётки. М. Мир, 1989.
58. Ч. Пул, Мл. Ф. Оуэнс. Мир материалов и технологий. Нанотехнологии 2-е изд. М. Техносфера, 2006.
59. Драгунов В, Неизвестный И, Гридич В. Основы нанoeлектроники. М. Лотос, 2006.
60. Чаплыгин Ю. Нанотехнологии в электронике. М. Техносфера, 2005.