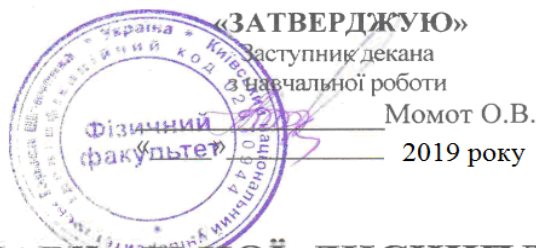


КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА

Фізичний факультет
(назва факультету)

Кафедра загальної фізики



РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Фізичні властивості наносистем

(повна назва навчальної дисципліни)

для студентів

галузь знань 10 Природничі науки
(шифр і назва)
спеціальність 104 Фізика та астрономія
(шифр і назва спеціальності)
освітній рівень магістр
(молодший бакалавр, бакалавр, магістр)
освітня програма Фізика наносистем
(назва освітньої програми)
спеціалізація Фізика наносистем
(за наявності) (назва спеціалізації)
вид дисципліни обов'язкова

Форма навчання	<u>очна</u>
Навчальний рік	<u>2019/2020</u>
Семестр	<u>2</u>
Мова викладання, навчання та оцінювання	<u>українська</u>
Форма заключного контролю	<u>екзамен</u>

Викладачі: доцент Цареградська Тетяна Леонідівна

(Науково-педагогічні працівники, які забезпечують викладання даної дисципліни у відповідному навчальному році)

Пролонговано: на 20__/20__ н.р. _____ (_____) «__» 20__ р.
(підпис, ПІБ, дата)

на 20__/20__ н.р. _____ (_____) «__» 20__ р.
(підпис, ПІБ, дата)

на 20__/20__ н.р. _____ (_____) «__» 20__ р.
(підпис, ПІБ, дата)

КИЇВ – 2019

Розробники¹:

Коротченко Олег Олександрович, доктор фіз.-мат. наук, професор,
професор кафедри загальної фізики
Цареградська Тетяна Леонідівна, кандидат фіз.-мат. наук, доцент,
доцент кафедри загальної фізики
(вказати авторів: ПІБ, науковий ступінь, вчене звання, посада, кафедра)

ЗАТВЕРДЖЕНО
Зав. кафедри загальної фізики



(підпис)

(Боровий М.О.)
(прізвище та ініціали)

Протокол № 10 від 7 травня 2019 р.

Схвалено науково-методичною комісією фізичного факультету

Протокол № 21 від «10» травня 2019 року

Голова науково-методичної комісії



(підпис)

(Оліх О.Я.)
(прізвище та ініціали)

¹ Розробляється лектором. Робоча програма навчальної дисципліни розглядається на засіданні кафедри (циклової комісії – для коледжів), науково-методичної комісії факультету/інституту (радї навчального закладу - коледжу), підписується завідувачем кафедри (головою циклової комісії), головою науково-методичної комісії факультету/інституту (головою ради) і затверджується заступником декана/директора інституту з навчальної роботи (заступником директора коледжу).

ВСТУП

1. Мета дисципліни – отримання глибоких та систематизованих знань з фізики низькорозмірних напівпровідників та теорії високотемпературної стабільності аморфних сплавів, властивостей наноматеріалів, отриманих при загартуванні з розплаву та керованим наноструктуруванням з аморфного стану (контрольованим відпалом та мегапластичною деформацією).

2. Попередні вимоги до опанування або вибору навчальної дисципліни:

1. Знати

основні питання фізики низькорозмірних напівпровідників, зокрема: математичне формулювання та фізичний зміст основних проявів квантово-розмірного ефекту у низькорозмірних напівпровідниках; основні сучасні уявлення фізики напівпровідникових гетероструктур, їх застосування у приладах і пристроях;

закони термодинаміки, метод термодинамічних потенціалів, загальні умови термодинамічної рівноваги, умови рівноваги в гомогенних та гетерогенних системах, парціальні та інтегральні термодинамічні функції, термодинамічні функції ідеальних та реальних розчинів, квазіхімічну теорію розчинів.

2. Вміти

застосовувати на практиці методи квантової механіки та фізики твердого тіла для опису властивостей низькорозмірних напівпровідників; логічно і послідовно формулювати основні закономірності визначення енергетичних станів у низькорозмірних напівпровідниках; самостійно працювати з науковою літературою в галузі фізики напівпровідникових наносистем;

застосовувати на практиці метод термодинамічних потенціалів Гіббса, аналізувати основні типи діаграм стану двокомпонентних систем за допомогою ізобаро-ізотермічного потенціалу, розраховувати криві рівноваги та будувати діаграми стану.

3. Володіти

основними навичками розв'язку типових задач квантової механіки та фізики твердого тіла, методами розрахунку енергетичного спектру носіїв заряду у нано-розмірному середовищі та розрахунків з використанням кінетичного рівняння Больцмана в наближенні часу релаксації;

елементарними навичками графічно визначати парціальні та відносні парціальні термодинамічні функції за відомими інтегральними для бінарних систем, розраховувати парціальні та відносні парціальні функції для одного з компонентів за відомими парціальними функціями другого компонента.

3. Анотація навчальної дисципліни / референс:

В рамках курсу «Фізичні властивості наносистем» розглядаються як класичні, так і сучасні досягнення в області опису фізичних закономірностей та практичного використання напівпровідникових нано-розмірних систем

та теорії високотемпературної стабільності аморфних сплавів, властивостей наноматеріалів, отриманих гартуванням з розплаву та керованим наноструктуруванням з аморфного стану.

Метою вивчення дисципліни є засвоєння основних положень теорії напівпровідникових наносистем, зокрема, статистику носіїв заряду в таких системах, основних механізмів переносу заряду в них

та теорії високотемпературної стабільності аморфних сплавів, явища фазового розшарування в аморфних сплавах, методів та властивостей наноматеріалів, отриманих гартуванням з розплаву та керованим наноструктуруванням з аморфного стану.

Навчальна задача курсу полягає в оволодінні методами розрахунку та експериментальних вимірювань напівпровідникових наносистем, включаючи квантові ями, дроти, точки та композитні матеріали із напівпровідниковою складовою

та фізичних властивостей наноматеріалів, отриманих гартуванням з розплаву та керованим наноструктуруванням з аморфного стану.

Результати навчання полягають в умінні застосовувати закони зарядопереносу у напівпровідникових наносистемах та високотемпературної стабільності аморфних сплавів для розв'язання практичних задач. Методи викладання: лекції, консультації, лабораторні роботи.

Методи оцінювання: опитування в процесі лекції, контрольні роботи після основних розділів спецкурсу, оцінювання лабораторних робіт, іспит. Підсумкова оцінка виставляється на основі проміжних оцінок (60%) та іспиту (40%).

4. Завдання (навчальні цілі) – ознайомлення студентів з фізичними властивостями основних типів напівпровідникових наносистем та наноматеріалів, отриманих гартуванням з розплаву та керованим наноструктуруванням з аморфного стану.

Згідно вимог проекту Стандарту вищої освіти України (другий (магістерський) рівень вищої освіти, галузь знань 10 «Природничі науки», спеціальність 104 «Фізика та астрономія», ОНП «Фізика наносистем») дисципліна забезпечує набуття здобувачами освіти наступних **компетентностей**:

Інтегральних:

Здатність розв'язувати комплексні проблеми в галузі фізики наносистем, що передбачає глибоке переосмислення наявних та створення нових цілісних знань.

Загальних:

- Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу **(ЗК1)**.
- Навички використання новітніх інформаційних і комунікаційних технологій **(ЗК2)**.
- Здатність до пошуку, оброблення на аналізі інформації з різних джерел. **(ЗК4)**
- Здатність використовувати професійно-профільовані знання в галузі фізики. **(ЗК6)**

Фахових:

- Володіння принципами функціональної побудови наносистем **(ФК2)**.
- Здатність застосовувати сучасні експериментальні методи дослідження наносистем та діагностики наносистем **(ФК4)**.
- Здатність застосовувати знання теорій опису фізичних властивостей наносистем різних типів **(ФК5)**.
- Здатність застосовувати знання з фізики нанорозмірних напівпровідників **(ФК6)**.
- Здатність застосовувати знання з фізики аморфних металевих систем **(ФК10)**.
- Здатність застосовувати знання в галузі методів вимірювання фізичних властивостей наносистем **(ФК14)**.

5. Результати навчання за дисципліною: *(описуються з детальною достовірністю для розробки заходів оцінювання)*

<i>Результат навчання</i> (1. знати; 2. вміти; 3. комунікація*; 4. автономність та відповідальність*)		<i>Методи викладання і навчання</i>	<i>Методи оцінювання</i>	<i>Відсоток у підсумковій оцінці з дисципліни</i>
Код	Результат навчання			
1.1	Знати теорію напівпровідникових наносистем, зокрема, особливостей розрахунку густини станів та концентрації носіїв заряду в низкорозмірному випадку, основних механізмів переносу заряду в квантових ямах, дротах, точках та композитних матеріалах із напівпровідниковою складовою.	<i>лекції</i>	<i>Модульна контрольна робота</i>	20
1.2	Знати теорію високотемпературної стабільності аморфних сплавів; закономірності явища фазового розшарування в аморфних сплавах, властивості наноматеріалів, отриманих гартуванням з розплаву та керованим наноструктуруванням з аморфного стану (контрольованим відпалом та мегапластичною деформацією).	<i>лекції</i>	<i>Модульна контрольна робота</i>	20
2.1	Вміти досліджувати напівпровідникові наносистеми, логічно і послідовно формулювати основні закономірності кінетичних явищ в них.	<i>Лабораторні роботи</i>	<i>Захист лабораторних робіт</i>	10
2.2	Вміти досліджувати фізичні властивості наноматеріалів, отриманих гартуванням з розплаву та керованим наноструктуруванням з аморфного стану.	<i>Лабораторні роботи</i>	<i>Захист лабораторних робіт</i>	10

6. Співвідношення результатів навчання дисципліни із програмними результатами навчання (необов'язково для вибіркових дисциплін)

Результати навчання дисципліни	1.1	1.2	2.1	2.2
Програмні результати навчання				
ПРН 1.12. Знати аналітичні та чисельні методи опису кінетики процесу кристалізації рідких та аморфних систем.		+		+
ПРН 2.1. Вміти визначати тип легування напівпровідника і тип транзистора за їх енергетичних зонних структур.	+		+	
ПРН 2.2. Вміти будувати енергетичні діаграми вільної поверхні, поверхні розділу фаз, квантово-розмірних систем.	+			+
ПРН 2.3. Вміти розраховувати перерозподіл заряду, потенціалу і поля на поверхні і границях розділу фаз, оцінювати ступінь локалізації електронів і визначати роботу виходу електронів.	+		+	
ПРН 2.9. Вміти створювати віртуальні прилади для	+			+

* заповнюється за необхідністю, наприклад для практик, лабораторних курсів тощо.

інтегрування та узгодження роботи реальних приладів з відповідними інтерфейсами під час виконання фізичного експерименту.				
---	--	--	--	--

Структура курсу

Курс складається з 2-х змістових модулів: «Фізичні властивості напівпровідникових гетеропереходів», який включає в себе 8 лекцій та 3-х лабораторних роботи та «Властивості наноматеріалів, отриманих загартуванням з розплаву та керованим наноструктуруванням з аморфного стану», який складається з 7 лекцій та 3-х лабораторних робіт.

7. Схема формування оцінки:

7.1. Форми оцінювання студентів: (зазначається перелік видів робіт та форм їх контролю / оцінювання із зазначенням *Min.* – рубіжної та *Max.* кількості балів чи відсотків)

- семестрове оцінювання:

1. Модульна контрольна робота 1 (12 балів-20 балів). Захист лабораторних робіт(6 балів-10 балів).
2. Модульна контрольна робота 2 (12 балів-20 балів). Захист лабораторних робіт(6 балів-10 балів).

- підсумкове оцінювання у формі екзамену

Підсумкове оцінювання у формі екзамену²: (обов'язкове проведення екзаменаційного оцінювання в письмовій формі)

	ЗМ1/Частина 1 (за наявності)	ЗМ2/Частина 2 (за наявності)	екзамен	Підсумкова оцінка
<i>Мінімум</i>	<u>18</u>	<u>18</u>	<u>24</u>	<u>60</u>
<i>Максимум</i>	<u>30</u>	<u>30</u>	<u>40</u>	<u>100</u>

у випадку комплексного екзамену слід вказати питому вагу складових

Студент не допускається до екзамену, якщо під час семестру набрав менше 36 балів.³

(слід чітко прописати умови, які висуваються викладачами даної дисципліни).

Оцінка за іспит не може бути меншою **24 балів** для отримання загальної позитивної оцінки за курс.

7.2. Організація оцінювання: (обов'язково зазначається порядок організації передбачених робочою навчальною програмою форм оцінювання із зазначенням, у тому числі, результатів навчання, опанування яких перевіряється конкретним оцінюванням).

7.3. Шкала відповідності

Відмінно / Excellent	90-100
Добре / Good	75-89
Задовільно / Satisfactory	60-74
Незадовільно з можливістю повторного складання / Fail	35-59
Незадовільно з обов'язковим повторним вивченням дисципліни / Fail	0-34
Зараховано / Passed	60-100
Не зараховано / Fail	0-59

² Семестрову кількість балів формують бали, отримані студентом у процесі теоретичного засвоєння матеріалу з усіх розділів дисципліни, семінарських занять, виконання практичних, лабораторних, індивідуальних, підсумкових контрольних робіт, творчих робіт впродовж семестру, передбачених робочою навчальною програмою (**100 балів** - для залікових дисциплін, у випадку, якщо дисципліна завершується екзаменом, то розподіл здійснюється за таким алгоритмом: **60 балів (60%) – семестровий контроль і 40 балів (40%) – екзамен**).

³ У випадку, коли дисципліна завершується екзаменом не менше – **20 балів**, а рекомендований мінімум **не менше 36 балів**, оскільки якщо студент на екзамені набрав менше **24 балів** (а це 60% від 40 балів, відведених на екзамен), то вони **не додаються** до семестрової оцінки незалежно від кількості балів, отриманих під час семестру, а в екзаменаційній відомості у графі «результуюча оцінка» переноситься лише кількість балів, отриманих під час семестру.

8. СТРУКТУРА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

ТЕМАТИЧНИЙ ПЛАН ЛЕКЦІЙ І ЛАБОРАТОРНИХ ЗАНЯТЬ

№ п/п	Назва теми	Кількість годин		
		лекції	лабораторні	Самостійна робота
Частина 1. Фізичні властивості напівпровідникових гетеропереходів				
1	Тема 1. Вступ. Розмірне квантування та квантово-розмірні структури с.р.с. Вивчення матеріалу лекції. Розмірне квантування та умови спостереження квантово-розмірного ефекту. Класифікація гетероструктур.	2		8
2	Тема 2. Властивості гетеро переходів. с.р.с. Вивчення матеріалу лекції. Підготовка до виконання лабораторної роботи. Ізольований гетероперехід. Граничні умови на гетеропереході. Побудова зонної діаграми поблизу гетеропереходу. Розрахунок вигину зон поблизу гетеропереходу.	2		8
3	Тема 3. Густина станів Лабораторна робота 1 Вступ до лабораторних робіт. Енергетичні стани електронів і дірок поблизу гетеропереходу. с.р.с. Вивчення матеріалу лекції. Густина станів в об'ємних напівпровідниках (випадок 3D системи). Густина станів в низкорозмірному випадку (2D, 1D, 0D наносистеми).	2	4	8
4	Тема 4. Ефективна густина станів. с.р.с. Вивчення матеріалу лекції. Підготовка до виконання лабораторної роботи. Поняття ефективної густини станів. Обчислення ефективної густини станів у випадку 3D системи та в низкорозмірному випадку (2D, 1D, 0D наносистеми).	2		8
5	Тема 5. Концентрація носіїв заряду у напівпровідникових наносистемах. Лабораторна робота 2. Дослідження вигину зон поблизу гетеропереходу методом фотоє.р.с. с.р.с. Вивчення матеріалу лекції. Обробка експериментальних результатів, отриманих при виконанні лабораторної роботи. Обчислення концентрації вільних носіїв заряду у випадку 3D системи та в низкорозмірному випадку (2D, 1D, 0D наносистеми).	2	6	8
6	Тема 6. Розсіювання носіїв заряду на границях поділу у наносистемах із гетеропереходами. с.р.с. Вивчення матеріалу лекції. Підготовка до виконання лабораторної роботи. Обчислення ймовірності розсіювання носіїв заряду на прямокутній сходинці та на потенціальному бар'єрі.	2		8
7	Тема 7. Інтерференційні ефекти при надбар'єрному проходженні носіїв заряду. Лабораторна робота 3. Дослідження теплопровідності нанокомпозитних матеріалів. с.р.с. Вивчення матеріалу лекції. Обробка експериментальних результатів, отриманих при виконанні лабораторної роботи. Обчислення ймовірності розсіювання при надбар'єрному проходженні електронів.	2	4	8
8	Тема 8. Тунельний транспорт носіїв заряду.	2		8

	<p>с.р.с. Вивчення матеріалу лекції. Підготовка до підсумкової модульної контрольної роботи. Формула Ландауера. T- та S-матриці. Формалізм Ландауера-Буттікера. Мезоскопічні структури та квантовий хаос.</p>			
	<p>Контрольна робота 1 Захист лабораторних робіт</p>		2 2	
<p>Частина 2. Властивості наноматеріалів, отриманих загартуванням з розплаву та керованим наноструктуруванням з аморфного стану</p>				
9	<p>Тема 9. Структурні моделі аморфного стану. Класифікація нанокристалів, що утворюються при загартуванні з розплаву. с.р.с. Вивчення матеріалу лекції. Підготовка до виконання лабораторної роботи. Класифікація нанокристалів, що утворюються при загартуванні з розплаву. Особливості структури та властивостей нанокристалів, що утворились при загартуванні з розплаву. Лабораторна робота №1. Розрахунок радіусу критичного зародку та роботи утворення критичного зародка однокомпонентної системи при гомогенному зародкоутворенні.</p>	2	2	8
10	<p>Тема 10. Термодинамічна теорія високотемпературної стабільності аморфних сплавів. Модель вморожених центрів кристалізації. с.р.с. Вивчення матеріалу лекції. Властивості нанокристалів, отриманих контрольованим відпалом аморфного стану. Критерій переходу від аморфного стану до нанокристалічного. Лабораторна робота №2. Розрахунок параметрів кінетики процесу кристалізації однокомпонентної системи.</p>	2	2	8
11	<p>Тема 11. Зародкоутворення та спінодальний розпад. Фазове розшарування в рідких бінарних системах с.р.с. Вивчення матеріалу лекції. Підготовка до виконання лабораторної роботи. Термодинамічні рівняння, що описують процес фазового розшарування в рідких бінарних системах. Критерій розшарування рідкого бінарного сплаву. Фізичні властивості нанокристалів, отриманих в результаті мегапластичної деформації аморфного стану. Принцип рециклічності при мегапластичній деформації. Захист лабораторних робіт 1 та 2.</p>	2	2	8
12	<p>Тема 12. Феноменологічна теорія спінодального розпаду. Висхідна дифузія. Рівняння ізотермічної дифузії для бінарної конденсованої системи с.р.с. Вивчення матеріалу лекції. Зміна механічних властивостей при переході з аморфного стану в нанокристалічний. Механізми пластичної деформації та природа аномальної залежності Холла-Петча в нанокристалах. Підготовка до виконання лабораторної роботи 3. Лабораторна робота №3. Розрахунок радіусу критичного зародку та роботи утворення критичного зародка перехідних металів при гетерогенному механізмі зародкоутворення.</p>	2	2	8
13	<p>Тема 13. Явище фазового розшарування в аморфних бінарних системах. Теоретичний аналіз фазових</p>	2	2	8

	перетворень в аморфних бінарних системах з розшаруванням. с.р.с. Вивчення матеріалу лекції. Термодинамічна передумова розшарування в аморфних сплавах. Аналіз результатів експериментальних досліджень явища фазового розшарування в аморфних сплавах. Структурна класифікація нанокристалів з позицій їх деформаційної поведінки. Особливості механічних властивостей аморфно-нанокристалічних сплавів. Лабораторна робота № 4. Розрахунок параметрів процесу кристалізації сплавів системи Fe-B.			
14	Тема 14. Аморфно-нанокристалічні сплави, їх властивості. Критерій переходу від аморфного стану до нанокристалічного. с.р.с. Вивчення матеріалу лекції. Підготовка до виконання лабораторної роботи. Магнітні явища в нанокристалах із сильною міжзеренною взаємодією. Магнітні властивості сплавів «Файнмет», «Наноперм», «Термоперм». Підготовка до виконання лабораторної роботи. Лабораторна робота №5. Визначення параметрів структури аморфно-нанокристалічного сплаву, отриманого контрольованим відпалом, за даними дифракційного експерименту.	2	2	8
15	Тема 15. Методи керованого наноструктурування з аморфного стану. Фізичні властивості наноматеріалів, отриманих гартуванням з розплаву та керованим наноструктуруванням з аморфного стану. с.р.с. Вивчення матеріалу лекції. Підготовка до підсумкової модульної контрольної роботи. Підготовка до захисту лабораторних робіт. Захист лабораторних робіт 3, 4, 5.	2	3	8
	Підсумкова модульна контрольна робота Захист лабораторних робіт			
	ВСЬОГО	30	30	120

Примітка: слід зазначити теми, винесені на самостійне вивчення

Загальний обсяг 180 год.⁴, в тому числі:

Лекцій – **30 год.**

Семінари – **0 год.**

Практичні заняття – **0 год.**

Лабораторні заняття – **30 год.**

Тренінги – **0 год.**

Консультації - **___ год.**

Самостійна робота - **120 год.**

Питання для самостійної роботи

1 модуль

1. Аналіз процесів розсіювання із врахуванням екранування носіїв заряду.
2. Розсіювання носіїв заряду на границях поділу.
3. Розсіювання на об'ємних модах та розмірно-обмежених поздовжніх оптичних фонах в квантових дротах.
4. Фреліховський потенціал в квантових ямах.

⁴ Загальна кількість годин, відведених на дану дисципліну згідно навчального плану.

5. Особливості протікання струму в напівпровідникових наносистемах.
6. Релаксація концентрації нерівноважних носіїв заряду в напівпровіднику в просторово неоднорідному випадку.

2 модуль

1. Класифікація нанокристалів, що утворюються при загартуванні з розплаву. Особливості структури та властивостей нанокристалів, що утворились при загартуванні з розплаву.
2. Властивості нанокристалів, отриманих контрольованим відпалом аморфного стану. Критерій переходу від аморфного стану до нанокристалічного.
3. Фізичні властивості нанокристалів, отриманих в результаті мегапластичної деформації аморфного стану. Принцип рециклічності при мегапластичній деформації.
4. Зміна механічних властивостей при переході з аморфного стану в нанокристалічний. Механізми пластичної деформації та природа аномальної залежності Холла-Петча в нанокристалах.
5. Структурна класифікація нанокристалів з позицій їх деформаційної поведінки. Особливості механічних властивостей аморфно-нанокристалічних сплавів.
6. Магнітні явища в нанокристалах із сильною міжзеренною взаємодією. Магнітні властивості сплавів «Файнмет», «Наноперм», «Термоперм».
7. Ефект пам'яті форми для нанокристалів, отриманих контрольованим відпалом аморфного стану. Застосування наноматеріалів, отриманих гартування із розплаву.

9. РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА⁵:

Основна: (Базова)

1. А.П. Шпак, В.І. Лисов, Ю.А. Куницький, Т.Л. Цареградська. Кристалізація і аморфізація металевих систем. Київ: Академперіодика, 2002 – 208 с.
2. Шпак А.П., Куницький Ю.А., Коротченков О.О., Смик С.Ю. Квантові низькорозмірні системи. Київ: Академперіодика, 2003. – 312 с.
3. А.М. Глезер, И.Е. Пермьякова. Нанокристаллы, закаленные из расплава. Москва, Физ.-мат.лит, 2012. – 360 с.
4. Аморфные металлические сплавы / Под ред.Ф.Е. Любарского. М., 1987. 582 с.
5. Гридчин В.А., Драгунов В.П., Неизвестный И.Г. Основы наноэлектроники: Учебное пособие. М.: Физматкнига, 2006. – 496 с.
6. В.А. Лихачев, В.Е. Шудегов. Принципы организации аморфных структур. Издательство С.-Петербургского унив-та, 1999. – 228 с.
7. Металлические стекла. Вып. 1: Ионная структура, электронный перенос и кристаллизация / Под ред. Г. Гюнтеродта, Г. Бека. М., 1983. 376 с.
8. Судзуки К., Фудзимори Х., Хасимото К. Аморфные металлы. М., 1987. 328 с.
9. Л.А. Булавін, В.І. Лисов, С.Л. Рево, В.І. Оглобля, Т.Л. Цареградська. Фізика іонно-електронних рідин.

⁵ В тому числі Інтернет ресурси

- Монографія. Київ, Вид.-поліграфічний центр „Київський університет”, 2008, 384 с.
10. М. Фольмер. Кинетика образования новой фазы. М.; Наука, 1986
 11. Ридли Б. Квантовые процессы в полупроводниках / Перевод с англ. И. П. Звягина, А. Г. Миронова. М.: Мир, 1986. – 304 с.
 12. <http://www.twirpx.com/file/506476/>
 13. Paul Harrison. Quantum Wells, Wires and Dots: Theoretical and Computational Physics of Semiconductor Nanostructures. WILEY, 2016, 482 p.
 14. [http://ebook.umaha.ac.id/E-BOOK%20ALL%20ABOUT%20COMPUTATION/COMPUTATIONAL%20PHYSICS/\[Paul_Harrison\]_Quantum_wells,_wires,_and_dots_th%28BookFi.org%29.pdf](http://ebook.umaha.ac.id/E-BOOK%20ALL%20ABOUT%20COMPUTATION/COMPUTATIONAL%20PHYSICS/[Paul_Harrison]_Quantum_wells,_wires,_and_dots_th%28BookFi.org%29.pdf)

Додаткова:

1. А.П. Шпак, В.И. Лисов, Ю.А. Куницкий. Кластерные и наноструктурные материалы, т.2, Київ: Академперіодика, 2002 – 539с.
2. Фельц А. Аморфные и стеклообразные неорганические твердые тела. М., 1986. 558 с.
3. Дембовский С. А. Чечеткина Е. А. Стеклообразование. М., 1990. 279 с.
4. Абросимова Г.Е. Эволюция структуры аморфных сплавов. Успехи физических наук. Том 181, № 12, 2011, с.1265.
5. А.М. Глезер, Аморфные и нанокристаллические структуры: сходства, различия, взаимные переходы. Рос. хим. ж., 2002, т. XLVI, №5, с.57-63.
6. Имри Й. Введение в мезоскопическую физику. М.: Физматлит, 2004. – 304 с.
7. <http://gen.phys.univ.kiev.ua/wp-content/uploads/2013/02/thermodynamic.pdf>
8. https://docs.google.com/file/d/1DkSrmiB98ng7ALS9SsKugThO3bgtzyxmzSNk4AXFl_V2Vwp_y_XW3TC6gT5-/edit
9. <http://www.twirpx.com/file/142514/>
10. <http://www.twirpx.com/file/33385/>
11. <http://www.twirpx.com/file/360775/>