

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
МАТЕМАТИЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ  
КАФЕДРА ЗАГАЛЬНОЇ ТА ПРИКЛАДНОЇ ФІЗИКИ

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Декан математичного факультету

\_\_\_\_\_ С. І. Гоменюк

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2020 р.

**ЛАБОРАТОРІЇ СПЕЦІАЛІЗАЦІЇ (ДОСЛІДЖЕННЯ ФІЗИЧНИХ  
ВЛАСТИВОСТЕЙ НАНОМАТЕРІАЛІВ І КОМПОЗИТІВ)**

**РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ**

підготовки \_\_\_\_\_ бакалавра \_\_\_\_\_

очної (денної) форми здобуття освіти

105 Прикладна фізика та наноматеріали

освітньо-професійна програма Прикладна фізика

**Укладач: Яновський О.С. к.ф.-м.н., доцент, доцент кафедри загальної та прикладної  
фізики**

Обговорено та ухвалено  
на засіданні кафедри загальної та  
прикладної фізики  
Протокол № 3 від “27” жовтня 2020 р.  
Завідувач кафедри загальної та прикладної  
фізики

\_\_\_\_\_ А.М. Андрєєв \_

(підпис)

(ініціали, прізвище)

Ухвалено науково-методичною радою  
математичного факультету

Протокол № \_\_\_\_\_ від “ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 202\_\_ р.  
Голова науково-методичної ради  
математичного факультету

\_\_\_\_\_ О. С. Пшенична

(підпис)

(ініціали, прізвище)

Погоджено  
з навчально-методичним відділом

Погоджено з навчальною лабораторією  
інформаційного забезпечення освітнього  
процесу

2020 рік

### 1. Опис навчальної дисципліни

1	2	3	
Галузь знань, спеціальність, освітня програма рівень вищої освіти	Нормативні показники для планування і розподілу дисципліни на змістові модулі	Характеристика навчальної дисципліни	
		очна (денна) форма здобуття освіти	заочна (дистанційна) форма здобуття освіти
Галузь знань 10 Природничі науки	Кількість кредитів –4	Вибіркова	
		Дисципліна вільного вибору студента в межах спеціальності	
Спеціальність 105 Прикладна фізика та наноматеріали	Загальна кількість годин –120	Семестр:	
		8-й	
Освітньо-професійна програма Прикладна фізика	Змістових модулів –6	Лабораторні роботи	
Рівень вищої освіти: бакалаврський	Кількість поточних контрольних заходів – 12	48 год.	
		Самостійна робота	
		72 год.	
		Вид підсумкового семестрового контролю: залік	

### 2. Мета та завдання навчальної дисципліни

**Метою** викладання навчальної дисципліни “Лабораторії спеціалізації (дослідження фізичних властивостей наноматеріалів і композитів)” є вивчення фізичних основ та апаратурної реалізації сучасних методів дослідження властивостей наноматеріалів, а також формування у студентів необхідного у їхній подальшій професійній діяльності рівня знань та вмій з методів та методик дослідження твердих тіл, поверхонь твердих тіл та наноб’єктів, особливостей протікання в них різноманітних фізико-хімічних процесів.

Основними **завданнями** вивчення дисципліни “Лабораторії спеціалізації (дослідження фізичних властивостей наноматеріалів і композитів)” є формування у студентів умінь проведення науково-дослідної роботи, проведення досліджень за допомогою сучасних методів, аналізу одержаних результатів і прогнозування їх практичного застосування, відпрацювання практичних навичок експлуатації сучасного вакуумного обладнання.

У результаті вивчення навчальної дисципліни студент повинен набути таких результатів навчання (знання, уміння тощо) та компетентностей:

Заплановані робочою програмою результати навчання та компетентності	Методи і контрольні заходи
1	2
У результаті вивчення навчальної дисципліни студент повинен набути таких <b>знань</b> : - РНЗн 1. Показувати знання в галузі сучасної прикладної фізики та математики; - РНЗн 2. Показувати знання в галузі професійної діяльності, технологій та методів дослідження властивостей речовин і матеріалів, включаючи наноматеріали.	Методи навчання: виконання та оформлення лабораторних робіт згідно методичних вказівок, аналіз та використання навчальної та наукової літератури. Контрольні заходи: опитування; захист лабораторних робіт.

<p>У результаті вивчення навчальної дисципліни студент повинен набути таких <b>умінь</b>:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- РНУ 1. Знаходити науково-технічну інформацію з різних джерел з використанням сучасних інформаційних технологій;</li> <li>- РНУ 2. Інтерпретувати науково-технічну інформацію;</li> <li>- РНУ 3. Застосовувати фізичні, математичні та комп'ютерні моделі для дослідження фізичних явищ, приладів і наукоємних технологій;</li> <li>- РНУ 4. Розробляти фізичні основи створення нових приладів, апаратури, обладнання, матеріалів (включаючи наноматеріали), речовин, технологій</li> <li>- РНУ 5. Вибирати методи та інструментальні засоби проведення досліджень;</li> <li>- РНУ 7. Вміння представляти і захищати отримані наукові результати в усній та письмовій формі.</li> </ul>	<p>Методи навчання: виконання та оформлення лабораторних робіт згідно методичних вказівок, аналіз та використання навчальної та наукової літератури.</p> <p>Контрольні заходи: опитування; захист лабораторних робіт.</p>
<p>Згідно з вимогами освітньо-професійної програми студенти повинні набути таких компетентностей:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- ЗК 2. Знання та розуміння предметної області та розуміння професійної діяльності;</li> <li>- ЗК 4. Здатність спілкуватися іноземною мовою;</li> <li>- ЗК 5. Навички використання інформаційних і комунікаційних технологій;</li> <li>- ЗК 6. Здатність проведення досліджень на відповідному рівні;</li> <li>- ЗК 7. Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел;</li> <li>- ЗК 8. Навички міжособистісної взаємодії;</li> <li>- ЗК 10. Навички здійснення безпечної діяльності;</li> <li>- СК 1. Здатність брати участь у плануванні та виконанні наукових та науково-технічних проектів;</li> <li>- СК 2. Здатність брати участь у плануванні і виконанні експериментів та лабораторних досліджень властивостей фізичних систем, фізичних явищ і процесів, обробленні й презентації їхніх результатів;</li> <li>- СК 3. Здатність брати участь у виготовленні експериментальних зразків, інших об'єктів дослідження;</li> <li>- СК 4. Здатність брати участь у впровадженні результатів досліджень та розробок;</li> <li>- СК 5. Здатність до постійного розвитку компетентностей у сфері прикладної фізики, інженерії та комп'ютерних технологій;</li> <li>- СК 6. Здатність використовувати сучасні теоретичні уявлення в галузі фізики для аналізу фізичних систем;</li> <li>- СК 7. Здатність використовувати методи і засоби теоретичного дослідження та математичного моделювання в професійній діяльності;</li> <li>- СК 11. Здатність брати участь у обробленні та оформленні результатів експерименту;</li> </ul>	<p>Методи навчання: виконання та оформлення лабораторних робіт згідно методичних вказівок, аналіз та використання навчальної та наукової літератури.</p> <p>Контрольні заходи: опитування; захист лабораторних робіт; виконання підсумкових тестових завдань (moodle).</p>

- |   |  |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- СК 12. Здатність розуміти і використовувати сучасні теоретичні уявлення в галузі фізики для аналізу станів та властивостей фізичних систем;</li> <li>- СК 13. Здатність використовувати знання про фізичну природу об'єктів у роботах по створенню нових приладів, апаратури, обладнання, матеріалів і речовин, зокрема, наноматеріалів;</li> <li>- СК 14. Здатність брати участь у роботах зі складання наукових звітів та у впровадженні результатів проведених досліджень та розробок.</li> </ul> |  |
|---|--|

**Міждисциплінарні зв'язки.** Відповідно до структурно-логічної схеми освітньо-професійної програми курс “Лабораторії спеціалізації (дослідження фізичних властивостей наноматеріалів і композитів)” закріплює знання, вміння та компетенції, отримані при вивченні вибіркового курсів “Теорія доменної структури” та “Фізика ультрадисперсних середовищ” та є базою для виконання кваліфікаційної роботи магістра.

### 3. Програма навчальної дисципліни

**Змістовий модуль 1.** Лабораторна робота 1 (розрахункова). Основи зонної теорії та динаміка кристалічної ґратки.

Тверде тіло як система частинок. Рівняння Шредінґера для кристала. Хвильова функція Блоха. Енергетичний спектр електронів в кристалі. Енергетичні зони. Ефективна маса носіїв заряду. Зонна структура деяких напівпровідників (германія, кремнію, сполучень типу  $A^{III}B^V$  та  $A^{IV}B^{VI}$ ). Локалізовані стани у твердому тілі.

Загальна характеристика пружних хвиль в кристалах. Гармонічне наближення. Закон дисперсії для коливальних. Акустичні та оптичні вітки коливальних. Хвилі в трьохмірному кристалі. Фонони. Теплоємність кристалічної ґратки. Температура Дебая.

**Змістовий модуль 2.** Лабораторна робота 2. Одержання надвисокого вакууму в камерах оже-спектрометра 09 ИОС-10-005 та надвисоковакуумної установки УСУ4.

Особливості «безмасляної» відкачки. Кріоадсорбційні вакуумні насоси: принцип роботи, конструкція, особливості експлуатації. Правила роботи з рідким азотом.

Сублимаційні вакуумні насоси: принцип роботи, особливості експлуатації «титанового сублиматора».

Магнітні електророзрядні вакуумні насоси: принцип роботи, конструкція, особливості експлуатації і методи розрахунку основних параметрів магнітних електророзрядних насосів. Умови експлуатації та порядок запуску в роботу насосів типу НОРД, або НМД (за вказівкою викладача). Ефективність відкачки різних газів сублимаційним і магніто-розрядним насосами. Спільна робота кріоадсорбційного, сублимаційного і магніторозрядного насосів.

Вимірювання надвисокого вакууму.

**Змістовий модуль 3.** Лабораторна робота 3. Методи дослідження кристалічної будови твердих тіл, їх поверхні та нанооб'єктів.

Дифракція електронів та рентгенівських променів. Умови дифракції рентгенівських променів за Бреггом та Лауе. Закон Вульфа-Брегга. Зворотна решітка і дифракція електронів. Процеси, що відбуваються при взаємодії електронів з поверхнею твердого тіла. Довжина вільного пробігу електрону в твердому тілі. Первинні і вторинні електрони. Енергетичний розподіл вторинних електронів  $N(E)$ . Дифракційні методи дослідження структури твердих тіл та поверхні: дифракція швидких і повільних електронів. Метод дифракції повільних електронів (ДПЕ). Визначення структури поверхні за допомогою ДПЕ, картини ДПЕ. Дифракція відбитих швидких електронів (ДВШЕ), картини ДВШЕ. Порівняльна характеристика методів ДПЕ і ДВШЕ. Експериментальне обладнання для реалізації методів ДПЕ і ДВШЕ. Будова і принцип роботи аналізатора енергії електронів із затримуючим полем (АЗП) в режимі дифракції.

Методи скануючої тунельної та силової мікроскопії. Тунельний та силовий мікроскопи.

**Змістовий модуль 4.** Лабораторна робота 4. Електронна спектроскопія поверхні твердих тіл та нанооб'єктів. Методи електронної оже-спектроскопії та характеристичних втрат енергії.

Фізичні основи методу електронної оже-спектроскопії (ЕОС). Сутність оже-переходів. Енергія оже-електронів. Енергія первинних електронів. Енергетичний спектр вторинних електронів. Електронні спектрометри. Відхиляючі електростатичні аналізатори. Аналізатор типу "циліндричне дзеркало" (АЦД) та чотирьохсітковий аналізатор (АЗП). Принцип роботи і будова АЗП в режимі реєстрації спектрів оже-електронів. Аналіз оже-спектрів. Природа хімічного зсуву в оже-спектрах. Спектроскопія характеристичних втрат енергії електронів. Роботи аналізатора АЦД в режимі СХВБЕЕ.

**Змістовий модуль 5.** Лабораторна робота 5. Дослідження структури та хімічного складу твердих тіл та наноматеріалів за допомогою методів іонної спектроскопії.

Загальна характеристика методів іонної спектроскопії. Процеси, що відбуваються при взаємодії іонів з поверхнею твердого тіла. Метод спектроскопії розсіювання повільних іонів (СРПІ). Вторинна іонна емісія (ВІЕ). Кількісні характеристики ВІЕ. Розпилення поверхні іонами і пошаровий аналіз. Метод вторинної іонної мас-спектрометрії (ВІМС). Вихід вторинних іонів в ВІМС. Фізичні основи мас-спектрометрії. Спектри позитивних і негативних іонів у ВІМС. Конструкція та принцип дії монопольного та квадрупольного фільтрів мас. Експериментальне обладнання для ВІМС.

**Змістовий модуль 6.** Лабораторна робота 6. Дослідження композитних та нановуглецевих матеріалів за допомогою комбінаційного розсіювання світла.

Типи розсіювання світла: пружне (релеєвське), непружне (рамановське) комбінаційне розсіювання. Стоксова та антистоксова рамановські лінії. Блок-схема спектрометра КР. Застосування спектроскопії КР в хімії, біології, медицині, для аналізу композитних та нановуглецевих матеріалів.

#### 4. Структура навчальної дисципліни

Зміст. модуль	Усього годин	Аудиторні (контактні) години			Самостійна робота, год		Система накопичення балів		
		Усього годин	Лабораторні заняття, год.		о/д ф.	з/дист. ф.	Теор. завд., к-ть балів	Практ. завд., к-ть балів	Усього балів
			о/д ф.	з/дист. ф.					
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>
1	15	6	6		9		2	8	10
2	15	8	8		7		2	8	10
3	15	9	9		6		2	8	10
4	15	9	9		6		2	8	10
5	15	8	8		7		2	8	10
6	15	8	8		7		2	8	10
Усього за змістові модулі	90				<b>30</b>		<b>12</b>	<b>48</b>	<b>60</b>
Підсумковий семестровий контроль екзамен	30						<b>10</b>	<b>30</b>	<b>40</b>
Загалом	<b>120</b>	<b>48</b>	<b>48</b>		<b>72</b>		<b>22</b>	<b>78</b>	<b>100</b>

## 5. Теми лабораторних занять

№ змістового модуля	Назва теми	Кількість годин	
		о/д ф.	з/дист. ф.
1	2	3	4
1	Основи зонної теорії та динаміка кристалічної ґратки.	6	
2	Одержання надвисокого вакууму в камерах оже-спектрометра 09 ИОС-10-005 та надвисоковакуумної установки УСУ4.	8	
3	Методи дослідження кристалічної будови твердих тіл, їх поверхні та наноб'єктів.	9	
4	Електронна спектроскопія поверхні твердих тіл та наноб'єктів. Методи електронної оже-спектроскопії та характеристичних втрат енергії.	9	
5	Дослідження структури та хімічного складу твердих тіл та наноматеріалів за допомогою методів іонної спектроскопії.	8	
6	Дослідження композитних та нановуглецевих матеріалів за допомогою комбінаційного розсіювання світла.	8	
Разом		48	

## 6. Види і зміст поточних контрольних заходів \*

№ змістового модуля	Вид поточного контрольного заходу	Зміст поточного контрольного заходу	**Критерії оцінювання	Усього балів
1	2	3	4	5
1	Теоретичне завдання - опитування	Питання для підготовки: <i>Енергетичний спектр електронів в кристалі. Енергетичні зони. Локалізовані стани у наноб'єктах. Гармонічне наближення. Акустичні та оптичні вітки коливань. Фонони. Теплоємність кристалічної ґратки.</i>	<a href="https://moodle.znu.edu.ua/pluginfile.php?file=/585207/mod_resource/content/4/silab_L_sp.pdf">https://moodle.znu.edu.ua/pluginfile.php?file=/585207/mod_resource/content/4/silab_L_sp.pdf</a>	2
	Практичне завдання – виконання та захист лабораторної роботи	Вимоги до виконання та оформлення: <a href="https://moodle.znu.edu.ua/course/view.php?id=11045">https://moodle.znu.edu.ua/course/view.php?id=11045</a>	<a href="https://moodle.znu.edu.ua/pluginfile.php?file=/525945/mod_resource/content/5/L.sp.krit.pdf">https://moodle.znu.edu.ua/pluginfile.php?file=/525945/mod_resource/content/5/L.sp.krit.pdf</a>	8
<b>Усього за ЗМ 1</b>	2			10
2	Теоретичне завдання - опитування	Питання для підготовки: <i>Кріоадсорбційний, сублімаційний та магніторозрядний вакуумні насоси.</i>	<a href="https://moodle.znu.edu.ua/pluginfile.php?file=/585207/mod_resource/content/4/silab_L_sp.pdf">https://moodle.znu.edu.ua/pluginfile.php?file=/585207/mod_resource/content/4/silab_L_sp.pdf</a>	2
	Практичне завдання – виконання та захист лабораторної роботи	Вимоги до виконання та оформлення: <a href="https://moodle.znu.edu.ua/course/view.php?id=11045">https://moodle.znu.edu.ua/course/view.php?id=11045</a>	<a href="https://moodle.znu.edu.ua/pluginfile.php?file=/525945/mod_resource/content/5/L.sp.krit.pdf">https://moodle.znu.edu.ua/pluginfile.php?file=/525945/mod_resource/content/5/L.sp.krit.pdf</a>	8
<b>Усього за ЗМ 2</b>	2			10
3	Теоретичне завдання - опитування	Питання для підготовки: <i>Дифракція електронів та</i>	<a href="https://moodle.znu.edu.ua/pluginfile.php?file=/585207/mod_resource/content/4/silab_L_sp.pdf">https://moodle.znu.edu.ua/pluginfile.php?file=/585207/mod_resource/content/4/silab_L_sp.pdf</a>	2

		<i>рентгенівських променів. Енергетичний розподіл вторинних електронів <math>N(E)</math>. методи ДПЕ і ДВШЕ. Тунельний та силовий мікроскопи.</i>	<a href="https://moodle.znu.edu.ua/plugfile.php?file=/525945/mod_resource/content/4/silab_L_sp.pdf">d_resource/content/4/silab_L_sp.pdf</a>	
	Практичне завдання – виконання та захист лабораторної роботи	Вимоги до виконання та оформлення: <a href="https://moodle.znu.edu.ua/course/view.php?id=11045">https://moodle.znu.edu.ua/course/view.php?id=11045</a>	<a href="https://moodle.znu.edu.ua/plugfile.php?file=/525945/mod_resource/content/5/L.sp.krit.pdf">https://moodle.znu.edu.ua/plugfile.php?file=/525945/mod_resource/content/5/L.sp.krit.pdf</a>	8
<b>Усього за ЗМ 3</b>	2			10
4	Теоретичне завдання - опитування	Питання для підготовки: <i>Фізичні основи методу електронної оже-спектроскопії (ЕОС). Аналізатори типу АЦД та АЗП. Аналіз оже-спектрів.</i>	<a href="https://moodle.znu.edu.ua/plugfile.php?file=/585207/mod_resource/content/4/silab_L_sp.pdf">https://moodle.znu.edu.ua/plugfile.php?file=/585207/mod_resource/content/4/silab_L_sp.pdf</a>	2
	Практичне завдання – виконання та захист лабораторної роботи	Вимоги до виконання та оформлення: <a href="https://moodle.znu.edu.ua/course/view.php?id=11045">https://moodle.znu.edu.ua/course/view.php?id=11045</a>	<a href="https://moodle.znu.edu.ua/plugfile.php?file=/525945/mod_resource/content/5/L.sp.krit.pdf">https://moodle.znu.edu.ua/plugfile.php?file=/525945/mod_resource/content/5/L.sp.krit.pdf</a>	8
<b>Усього за ЗМ 4</b>	2			10
5	Теоретичне завдання - опитування	Питання для підготовки: <i>Метод вторинної іонної мас-спектрометрії (ВІМС). Спектри позитивних і негативних іонів. Конструкція та принцип дії монопольного та квадрупольного фільтрів мас.</i>	<a href="https://moodle.znu.edu.ua/plugfile.php?file=/585207/mod_resource/content/4/silab_L_sp.pdf">https://moodle.znu.edu.ua/plugfile.php?file=/585207/mod_resource/content/4/silab_L_sp.pdf</a>	2
	Практичне завдання - виконання та захист лабораторної роботи	Вимоги до виконання та оформлення: <a href="https://moodle.znu.edu.ua/course/view.php?id=11045">https://moodle.znu.edu.ua/course/view.php?id=11045</a>	<a href="https://moodle.znu.edu.ua/plugfile.php?file=/525945/mod_resource/content/5/L.sp.krit.pdf">https://moodle.znu.edu.ua/plugfile.php?file=/525945/mod_resource/content/5/L.sp.krit.pdf</a>	8
<b>Усього за ЗМ 5</b>	2			10
6	Теоретичне завдання - Опитування і обговорення рекомендованих літературних джерел, підсумкове тестування в системі Moodle.	Питання для підготовки: <i>Непружне (рамановське) розсіювання. Блок-схема спектрометра КР. Застосування спектроскопії КР для аналізу композитних та нановуглецевих матеріалів.</i>	<a href="https://moodle.znu.edu.ua/plugfile.php?file=/585207/mod_resource/content/4/silab_L_sp.pdf">https://moodle.znu.edu.ua/plugfile.php?file=/585207/mod_resource/content/4/silab_L_sp.pdf</a>	2
	Практичне завдання - виконання та захист лабораторної роботи	Вимоги до виконання та оформлення: <a href="https://moodle.znu.edu.ua/course/view.php?id=11045">https://moodle.znu.edu.ua/course/view.php?id=11045</a>	<a href="https://moodle.znu.edu.ua/plugfile.php?file=/525945/mod_resource/content/5/L.sp.krit.pdf">https://moodle.znu.edu.ua/plugfile.php?file=/525945/mod_resource/content/5/L.sp.krit.pdf</a>	8
<b>Усього за ЗМ 6</b>	2			10
<b>Усього за всі ЗМ</b>	<b>12</b>			<b>60</b>

## 7. Підсумковий семестровий контроль

Форма	Види підсумкових контрольних заходів	Зміст підсумкового контрольного заходу	Критерії оцінювання	Усього балів
Залік	Теоретичне завдання	Питання для підготовки: <a href="https://moodle.znu.edu.ua/pluginfile.php?file=/525952/mod_resource/content/3/Zalik_Lab_s_p.pdf">https://moodle.znu.edu.ua/pluginfile.php?file=/525952/mod_resource/content/3/Zalik_Lab_s_p.pdf</a> (питання до заліку)	<a href="https://moodle.znu.edu.ua/pluginfile.php?file=/585207/mod_resource/content/4/silab_L_sp.pdf">https://moodle.znu.edu.ua/pluginfile.php?file=/585207/mod_resource/content/4/silab_L_sp.pdf</a>	10
	Практичне завдання	Виконання практичного завдання	<a href="https://moodle.znu.edu.ua/pluginfile.php?file=/525945/mod_resource/content/5/L.sp.krit.pdf">https://moodle.znu.edu.ua/pluginfile.php?file=/525945/mod_resource/content/5/L.sp.krit.pdf</a>	30
Усього за підсумковий семестровий контроль				40

## 8. Рекомендована література

Змістовні модулі 1–6:

### Основна:

1. Троян В.И. Физические основы методов исследования наноструктур и поверхности твердого тела. Москва: МИФИ, 2008. 260 с.
2. Вудраф Д., Делчар Т. Современные методы исследования поверхности. Москва: “Мир”, 1989. 568 с.
3. Бриггс Д., Сих М. Анализ поверхности методами Оже- и рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии. Москва: “Мир”, 1987. 534 с.
4. Нефедов В.М., Черепин В.Т. Физические методы исследования поверхности твердого тела. Москва: “Наука”, 1983. 266 с.
5. Зандерна А.М. Методы анализа поверхности. Москва: “Мир”, 1979. 456с.
6. Гоулдстейн Дж., Яковиц Х. Практическая растровая электронная микроскопия. Москва: Мир, 1978. 366 с.
7. Флари Р. Квантовая химия. Москва: Мир 1985. 232 с.

### Додаткова:

1. Борман В.Д. Физические основы методов исследования наноструктур и поверхности твердого тела. Москва: МИФИ, 2007. 264 с.
2. Пул. Ч., Оуэнс Ф. Нанотехнологии. Издание 4-е исправленное. Москва: Техносфера, 2009. 336 с.
3. Карлсон Т.А. Фотоэлектронная и оже-спектроскопия. Москва: Машиностроение, 1981. 348 с.
4. Черепин В.Т., Васильев М.А. Методы и приборы для анализа поверхности материалов. Киев: Наукова думка, 1982. 282 с.
5. Робертс М., Макки Ч. Химия поверхности раздела металл-газ. Москва: Мир, 1981. 424 с.

### Інформаційні джерела:

1. Національна бібліотека України ім. В.І. Вернадського: веб-сайт. URL: <http://irbis-nbuv.gov.ua>
2. Борман В.Д. Физические основы методов исследования наноструктур и поверхности твердого тела. Москва: МИФИ, 2007. 264 с. URL: [http://mirknig.com/knigi/estesstv\\_nauki/](http://mirknig.com/knigi/estesstv_nauki/)
3. Сайт видавництва Elsevier: веб-сайт. URL: <http://www.ees.elsevier.com>