

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

Декан математичного факультету



С.І. Гоменюк  
(ініціали та прізвище)

« 26 » \_\_\_\_\_ 2018

**ЕЛЕКТРОННА ТА ІОННА СПЕКТРОСКОПІЯ ТВЕРДИХ ТІЛ ТА  
НАНООБ'ЄКТІВ**

**РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ**

підготовки \_\_\_\_\_ магістра \_\_\_\_\_  
(назва освітнього ступеня)

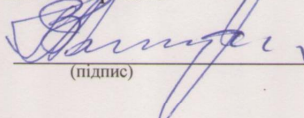
спеціальності 105 "Прикладна фізика та наноматеріали"  
(шифр, назва спеціальності)

освітньо-професійна програма "Прикладна фізика"  
(назва)

Укладач **Яновський О.С. к.ф.-м.н., доцент, доцент кафедри прикладної фізики і наноматеріалів**

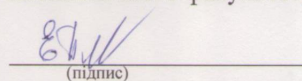
Обговорено та ухвалено  
на засіданні кафедри прикладної фізики і  
наноматеріалів

Протокол №1 від "22" серпня 2018 р.  
Завідувач кафедри прикладної фізики і  
наноматеріалів

  
(підпис) **В.Г. Міщенко**  
(ініціали, прізвище)

Ухвалено науково-методичною радою  
математичного факультету

Протокол №3 від "25" жовтня 2018 р.  
Голова науково-методичної ради  
математичного факультету

  
(підпис) **О. С. Пшенична**  
(ініціали, прізвище)

2018 рік

## 1. Опис навчальної дисципліни

Найменування показників	Галузь знань, напрямок підготовки, рівень вищої освіти	Характеристика навчальної дисципліни	
		денна форма навчання	заочна форма навчання
Кількість кредитів – 4.	Галузь знань 10. Природничі науки (шифр і назва)	Вибіркова	
		Цикл професійної підготовки	
Розділів – 2	Спеціальність 105 “Прикладна фізика та наноматеріали” (шифр і назва)	<b>Рік підготовки:</b>	
Загальна кількість годин – 120.		2-й	
		<b>Лекції</b>	
Тижневих годин для денної форми навчання: аудиторних – 3, самостійної роботи студента – <b>8,6</b> .	Освітньо-професійна програма “Прикладна фізика”	22 год.	
		<b>Практичні</b>	
	12 год.		
	<b>Самостійна робота</b>		
	86 год.		
	<b>Рівень вищої освіти: магістерський</b>	<b>Вид підсумкового контролю:</b> залік	

## 2. Мета та завдання навчальної дисципліни

**Метою** викладання навчальної дисципліни “Електронна та іонна спектроскопія твердих тіл та нанооб’єктів” є вивчення фізичних основ та апаратної реалізації сучасних методів електронної та іонної спектроскопії, а також формування у студентів необхідного у їхній подальшій професійній діяльності рівня знань та вмінь з методів та методик дослідження твердих тіл, поверхонь твердих тіл та нанооб’єктів, особливостей протікання фізико-хімічних процесів на них.

Основними **завданнями** вивчення дисципліни “Електронна та іонна спектроскопія твердих тіл та нанооб’єктів” 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 умінь експлуатації сучасного вакуумного обладнання.

У результаті вивчення навчальної дисципліни студент повинен

### знати:

- фізичні основи методів електронної та іонної спектроскопії, десорбційної спектроскопії, дифракційних методів, польових методів та ін.;
- особливості конструкції та апаратну реалізацію енергоаналізаторів різних типів;
- експериментальні методи підготовки зразків до досліджень;
- умови і засоби отримання атомарно-чистих поверхонь;
- фізичні основи та особливості експлуатації високовакуумної техніки.

**вміти:**

готувати зразки до дослідження, визначати елементний склад поверхні твердого тіла методом Оже-електронної спектроскопії, вміти аналізувати оже-спектри, аналізувати склад газової фази та поверхні твердого тіла мас-спектрометричними приладами, вміти аналізувати мас-спектри, визначати кристалографію твердих тіл та їх поверхні за даними дифракційних методів дослідження.

Згідно з вимогами освітньо-професійної програми студенти повинні досягти таких результатів навчання (компетентностей):

- **інтегральна компетентність:** здатність розв'язувати складні спеціалізовані задачі та практичні проблеми у галузі прикладної фізики та вищої освіти або у процесі навчання, що передбачає застосування певних теорій та методів наукових та практичних досліджень, проведення досліджень й здійснення інновацій;

**загальні компетентності:** здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях; знання та розуміння предметної області та розуміння професійної діяльності; здатність спілкуватися державною та іноземною мовою як усно, так і письмово; навички використання інформаційних і комунікаційних технологій; здатність проведення досліджень на відповідному рівні; здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел.

**спеціальні (фахові, предметні) компетентності:** володіння математичним апаратом для вирішення прикладних задач наукоємного виробництва; здатність брати участь у проведенні експериментальних досліджень властивостей фізичної системи, фізичних явищ і процесів; здатність брати участь у виготовленні зразків матеріалів та об'єктів дослідження; здатність до постійного поглиблення знань в галузі прикладної фізики, інженерії та комп'ютерних технологій; здатність розуміти і використовувати сучасні теоретичні уявлення в галузі фізики для аналізу станів та властивостей фізичних систем; здатність використовувати знання про фізичну природу об'єктів у роботах по створенню нових приладів, апаратури, обладнання, матеріалів і речовин, зокрема, наноматеріалів.

**Міждисциплінарні зв'язки.**), Курс “Електронна та іонна спектроскопія твердих тіл та наноб'єктів” є спецкурсом, який закріплює знання та вміння, отримані при вивченні таких дисциплін як „Основи геометричної кристалографії”, „Основи фізичної хімії”, „Електрика і магнетизм”, “Вакуумні технології в виробництві наноматеріалів” та ін. Практичні заняття вимагають від студентів володіння обчислювальною технікою, азами програмування (дисципліни „Інформатика та програмування”, „Сучасні інформаційні технології”).

### 3. Програма навчальної дисципліни

#### **Розділ 1. Методи електронної спектроскопії**

*Тема 1. Вступ. Особливості роботи з електронними пучками.*

Короткі відомості про предмет, склад та задачі курсу. Його зв'язок з іншими дисциплінами навчального плану.

Способи формування сфокусованих електронних пучків. Призначення і будова електронної гармати. Термоелектронна емісія. Рівняння Річардсона для термоелектронної емісії. Струм розжарення. Струм емісії. Струм зразка. Автоелектронна емісія. Рівняння Фаулера-Нордгейма для автоелектронної емісії. Джерела електронів. Вимоги до катодів. Катодні лінзи. Кросовер. Похибки електронно-оптичних систем: вплив просторового заряду, аберації, астигматизму, дифракції. Експериментальні методи підготовки зразків до досліджень. Формування зразків з нанорозмірними об'єктами. Класифікація поверхонь твердих тіл. Ідеальна, атомарно-чиста та реальна поверхня. Умови і засоби отримання атомарно-чистих поверхонь. Залежність часу утворення моношару на поверхні від тиску у вакуумній камері. Кристалографія твердих тіл та поверхні. Кристалографічні напрямки, кристалографічні площини.

*Тема 2. Методи дослідження кристалічної будови твердих тіл, їх поверхні та наноб'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.

*Тема 3. Методи фотоелектронної спектроскопії.*

Процеси, що відбуваються при взаємодії фотонів з поверхнею твердого тіла. Рентгенівська фотоелектронна спектроскопія (РФЕС). Джерела фотонів. Форма і зсуви фотоелектронних піків. РФЕС –спектроскопія остовних рівнів. Структурні ефекти в РФЕС. Поняття перетину іонізації енергетичного рівня. Точність методу РФЕС. Ультрафіолетова фотоелектронна спектроскопія (УФЕС). Джерела ультрафіолетового випромінювання. Використання УФЕС для вивчення зонної структури об'єму та поверхні твердих тіл. Поверхневі електронні стани. Різнісні спектри УФЕС.

*Тема 4. Методи електронної оже-спектроскопії та характеристикних 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" та чотирьохсітковий аналізатор. Принцип роботи і будова АЗП в режимі реєстрації спектрів оже-електронів. Аналіз оже-спектрів. Природа хімічного зсуву в оже-спектрах. Спектроскопія характеристикних втрат енергії електронів. Роботи аналізатора АЗП в режимі СХВЕЕ.

## **Розділ 2. Методи іонної спектроскопії**

*Тема 5. Дослідження хімічного складу поверхні 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). Кінематична модель розсіювання первинного іону на поверхні. Чутливість методу. Конус затінення, структурні ефекти СРПІ. Експериментальне обладнання для СРПІ, проблеми та перспективи методу. Метод розсіювання швидких іонів. 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.

*Тема 6. Метод іонно-нейтралізаційної спектроскопії.*

Механізми обміну зарядом між іоном і поверхнею твердих тіл. Резонансна нейтралізація і оже-нейтралізація. Сутність методу іонно-нейтралізаційної спектроскопії (ІНС). Енергія електронів, що емітуються поверхнею в ІНС. Особливості спектрів ІНС. Експериментальне обладнання для ІНС.

#### 4. Структура навчальної дисципліни

Назви тематичних розділів і тем	Кількість годин										
	денна форма						заочна форма				
	усього	у тому числі				усього	у тому числі				
		л	п	лаб.	сам.роб.		л	п	лаб.	сам.роб.	
					інд.завд. (при наявності)					інд. за вл. (при наявності)	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
<b>Розділ 1. Методи електронної спектроскопії</b>											
Тема 1. Вступ. Особливості роботи з електронними пучками	18	2	2		14						
Тема 2. Методи дослідження кристалічної будови твердих тіл, їх поверхні та наноб'єктів	21	4	2		15						
Тема 3. Методи фотоелектронної спектроскопії	20	4	2		14						
Тема 4. Методи електронної оже-спектроскопії та характеристичних втрат енергії	21	4	2		15						
Разом за розділом 1	80	14	8		58						
<b>Розділ 2. Методи іонної спектроскопії</b>											
Тема 5. Дослідження хімічного складу поверхні за допомогою методів іонної спектроскопії	20	4	2		14						
Тема 6. Метод іонно-нейтралізаційної спектроскопії	20	4	2		14						
Разом за розділом 2	40	8	4		28						
<b>Усього годин</b>	120	22	12		86						

## 5. Теми лекційних занять

№ теми з/прогр.	Назва теми	Кількість годин
1	Вступ. Особливості роботи з електронними пучками.	2
2	Методи дослідження кристалічної будови твердих тіл, їх поверхні та наноб'єктів.	4
3	Методи фотоелектронної спектроскопії.	4
4	Методи електронної оже-спектроскопії та характеристичних втрат енергії.	4
5	Дослідження хімічного складу поверхні за допомогою методів іонної спектроскопії.	4
6	Метод іонно-нейтралізаційної спектроскопії.	4
Разом		22

## 6. Теми практичних занять

№ теми з/прогр.	Назва теми	Кількість годин
1	Вступ. Особливості роботи з електронними пучками.	2
2	Методи дослідження кристалічної будови твердих тіл, їх поверхні та наноб'єктів.	2
3	Методи фотоелектронної спектроскопії.	2
4	Методи електронної оже-спектроскопії та характеристичних втрат енергії.	2
5	Дослідження хімічного складу поверхні за допомогою методів іонної спектроскопії.	2
6	Метод іонно-нейтралізаційної спектроскопії.	2
Разом		12

## 7. Самостійна робота

№ теми з/прогр.	Назва теми	Кількість годин
1	<b>Вступ. Особливості роботи з електронними пучками.</b> Джерела електронів. Вимоги до катодів. Катодні лінзи. Кросовер. Похибки електронно-оптичних систем: вплив просторового заряду, аберації, астигматизму, дифракції.	14
2	<b>Методи дослідження кристалічної будови твердих тіл, їх поверхні та наноб'єктів.</b> 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 $N(E)$ .	15
3	<b>Методи фотоелектронної спектроскопії.</b>	14
4	<b>Методи електронної оже-спектроскопії та характеристичних втрат енергії.</b> Аналізатор типу "циліндричне дзеркало" та чотирьохсітковий аналізатор. Принцип роботи і будова АЗП в режимі реєстрації	15

	спектрів оже-електронів. Електронне диференціювання розподілу вторинних електронів.	
5	<b>Дослідження хімічного складу поверхні за допомогою методів іонної спектроскопії.</b> Вторинна іонна емісія (ВІЕ). Кількісні характеристики ВІЕ. Розпилення поверхні іонами і пошаровий аналіз. Метод вторинної іонної мас-спектрометрії (ВІМС). Вихід вторинних іонів в ВІМС. Конструкція та принцип дії монопольного та квадрупольного фільтрів мас. Експериментальне обладнання для ВІМС. Іонні гармати.	14
6	<b>Метод іонно-нейтралізаційної спектроскопії.</b> Особливості спектрів ІНС. Експериментальне обладнання для ІНС.	14
Разом		86



## 8. Види контролю і система накопичення балів

	Вид контрольного заходу	Кількість контрольних заходів	Кількість балів за 1 захід	Усього балів
1	Підготовка завдання з самостійної роботи (з представленням результатів на практичному занятті)	3	10	30
2	Виконання контрольних завдань до розділів 1 і 2.	4	5	20
3	Виконання тестових завдань в системі Moodle	1	10	10
4	Залік. Проводиться по завершенню вивчення розділів 1 і 2.	1	40	40
	<b>Усього</b>	<b>9</b>		<b>100</b>

### Розподіл балів за видами роботи та формами контролю

Форма контролю	Кількість балів	Примітки
<b>ОЦІНЮВАННЯ ПІДГОТОВКИ ЗАВДАННЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ (З ПРЕДСТАВЛЕННЯМ РЕЗУЛЬТАТІВ НА ПРАКТИЧНОМУ ЗАНЯТТІ)</b>		
Тему заняття відтворено у відповідності до вимог. Студент знає теоретичні основи фізики вакууму, володіє методами одержання та вимірювання вакууму, знає конструкції та фізичні принципи роботи механічних, пароструминних, кріоадсорбційних, сублімаційних та магнітних електророзрядних вакуумних насосів. Впевнено застосовує фундаментальні знання до конкретної теми завдання.	10	За 1 контрольний захід.
Студент володіє матеріалом, проте тема викладена не в повному обсязі.	6	
Студент невпевнено володіє матеріалом, тема не розкрита, є труднощі з термінологією.	2	
Самостійна підготовка не виконана.	0	
<b>ОЦІНЮВАННЯ ВИКОНАННЯ ПРАКТИЧНИХ РОБІТ</b>		
Студент впевнено читає та перекладає статті з журналів фахового спрямування, грамотно та докладно відповідає на контрольні запитання, виявляє розуміння питань, що обговорюються, вільно володіє матеріалом.	2,5	За 1 контрольний захід.
При відповіді на контрольні питання студент загалом володіє матеріалом, але викладає його непослідовно, користується конспектом.	2	
Студент відповідає на контрольні запитання не послідовно, повільно, незрозуміло.	1	
Студент не виконує відповідні завдання і не відповідає на контрольні запитання.	0	
<b>РЕЗУЛЬТАТ ВИКОНАННЯ КОНТРОЛЬНОГО ЗАВДАННЯ ОЦІНЮЄТЬСЯ ЗА ТАКОЮ ШКАЛОЮ</b>		

Форма контролю	Кількість балів	Примітки
Студент правильно виконує не менше 90% завдання; робота оформлена акуратно та у відповідності до вимог. Завдання повністю виконано без помилок, що свідчить про всебічне системне і глибоке знання програмного матеріалу; засвоєння студентом основної і додаткової літератури; про чітке володіння понятійним апаратом, методами, методиками та інструментами.	10	За 1 контрольний захід.
Студент правильно виконує не менше 60% завдання. Завдання виконано без суттєвих помилок, що свідчить про набуття знань основного програмного матеріалу.	8	
Студент правильно виконує не менше 30% завдання, припускаючи окремих незначних помилок.	5	
Студент правильно виконує не менше 20%, проте зроблені грубі помилки.	3	
Студент правильно виконує менше 10% завдань. Більше 90% завдання виконано неправильно.	0	

### Критерії оцінювання на екзамені та практичних заняттях

Відповідь на екзамені (заліку) оцінюється на:

*відмінно:*

- Правильне та повне формулювання фізичних законів, явищ, закономірностей.
- Пояснення законів, явищ, закономірностей на основі фізичних понять, що самі вже не можуть пояснюватись більш елементарними поняттями.
- Глибокий та вичерпний аналіз взаємозв'язків між явищами та закономірностями.
- Залучення до відповіді понять з суміжних розділів дисципліни.

*добре:*

- Правильне та повне формулювання фізичних законів, явищ, закономірностей.
- Пояснення законів, явищ, закономірностей на основі фізичних понять, що самі вже не можуть пояснюватись більш елементарними поняттями.
- Помилки в аналізі взаємозв'язків між явищами та закономірностями.

*задовільно:*

- Формулювання фізичних законів, явищ, закономірностей з помилками.
- Пояснення законів, явищ, закономірностей на основі фізичних понять, що самі вже не можуть пояснюватись більш елементарними поняттями

*незадовільно:*

- Неправильне формулювання фізичних законів, явищ, закономірностей.
- Відсутність або невірні відповіді на поставлені додаткові питання.

Практичні заняття (розв'язання задач) оцінюються на:

*відмінно:*

- Обґрунтування застосованих формул та пояснення проміжних перетворень; аналіз отриманого результату та висновки.
- Правильне написання формул; правильний хід рішення з проміжними викладками; підстановка вихідних даних з урахуванням розмірностей.

- Правильне проведення розрахунків до кінцевого результату, приведення розмірності використаних величин.

*добре:*

- Труднощі в обґрунтуванні застосованих формул та поясненні проміжних перетворень.
- Правильне написання формул; правильний хід рішення з проміжними викладками; підстановка вихідних даних з урахуванням розмірностей.
- Правильне проведення розрахунків до кінцевого результату, приведення розмірності використаних величин.

*задовільно:*

- Написання формул з похибками; неправильний хід рішення; відсутність числового рішення та розмірностей.

*незадовільно:*

Відсутність рішення задачі; неправильне застосування або написання формул.

### **Оцінювання виконання тестових завдань в системі Moodle.**

Здійснюється автоматично в залежності від кількості правильних відповідей та налаштування параметрів системи.

### **Шкала оцінювання: національна та ECTS**

За шкалою ECTS	За шкалою університету	За національною шкалою	
		Екзамен	Залік
A	90 – 100 (відмінно)	5 (відмінно)	Зараховано
B	85 – 89 (дуже добре)	4 (добре)	
C	75 – 84 (добре)		
D	70 – 74 (задовільно)	3 (задовільно)	
E	60 – 69 (достатньо)		
FX	35 – 59 (незадовільно – з можливістю повторного складання)	2 (незадовільно)	Не зараховано
F	1 – 34 (незадовільно – з обов'язковим повторним курсом)		

## 9. Рекомендована література

### Основна

1. Вудраф Д., Делчар Т. Современные методы исследования поверхности. Москва: “Мир”, 1989. 568 с.
2. Зандерна А.М. Методы анализа поверхности. Москва: “Мир”, 1979. 456с.
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. Троян В.И. Физические основы методов исследования наноструктур и поверхности твердого тела. Москва: МИФИ, 2008. 260 с.
6. Гоулдстейн Дж., Яковиц Х. Практическая растровая электронная микроскопия. Москва: Мир, 1978. 366 с.
7. Минкин В.И., Симкин Б.Я., Миняев Р.М. Теория строения молекул. Москва: Наука, 1979. 225 с.
8. Флари Р. Квантовая химия. Москва: Мир 1985. 232 с.

### Додаткова

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

### Інформаційні ресурси

1. Національна бібліотека України ім. В.І. Вернадського: веб-сайт. URL: <http://irbis-nbuv.gov.ua>
2. Бриггс Д. Анализ поверхности методами Оже- и рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии. Москва Сих.: “Мир”, 1987. 534 с. URL: <http://ecat.lib.mspu.ru/opac/>
3. 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/)
4. Коллекция электронных книг. Материаловедение. Вудраф Д., Делчар Т. Современные методы исследования поверхности. Москва: “Мир”, 1989. 568 с. URL: <http://eebookli.ru/Materialovedenie/9399-post9399.html>

5. Зандерна А.М. Методы анализа поверхности. Москва: "Мир", 1979. 456 с. URL: <http://www.twirpx.com/file/262145/>
6. Троян В.И. Физические основы методов исследования наноструктур и поверхности твердого тела. Москва: МИФИ, 2008. 260 с. URL: <http://www.twirpx.com/files/special/nano/research/>
7. Сайт издательства Elsevier: веб-сайт. URL: <http://www.ees.elsevier.com>

Погоджено

навчальний відділ

« 19 » листопада 2018р.

