

## СИЛАБУС

**навчальної дисципліни**

### **“ ЯДЕРНО-ФІЗИЧНІ МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ / NUCLEAR AND PHYSICAL RESEARCH METHODS”**

<b>Галузь знань</b>	10 Природничі науки
<b>Шифр та назва спеціальності</b>	104 Фізика та астрономія
<b>Рівень вищої освіти</b>	Третій (освітньо-науковий)
<b>Статус дисципліни</b>	обов'язкова

#### **Викладач (розробник)**



**Лебедь Олександр Анатолійович**  
доктор фізико-математичних наук, старший дослідник,  
[lebedO@ukr.net](mailto:lebedO@ukr.net),  
Інститут прикладної фізики НАН України,  
вул. Петропавлівська, 58, м. Суми

#### **Загальна інформація про дисципліну**

<b>Анотація</b>	У курсі викладені основи ядерно-фізичних методів дослідження, що ґрунтуються на реєстрації різних типів вторинного випромінювання при взаємодії іонів з мішенню та мають різноманітне застосування, зокрема, в області реакторного матеріалознавства, медицини та дослідження об'єктів культурної спадщини.
<b>Мета</b>	<i>Метою та завданням навчального курсу є ознайомлення здобувачів з основними фізичними процесами, що відбуваються при взаємодії прискорених іонів з речовиною. До них відносяться: пружне розсіяння іонів на ядрах мішені; іонізація та збудження атомів мішені; ядерні реакції, обумовлені ядерною взаємодією. Аналіз спектрів вторинного випромінювання при взаємодії іонів з мішенню в методах зворотного резерфордівського розсіяння, реєстрації ядер віддачі, збудження іонами характеристичного рентгенівського випромінювання, аналізу ядерних реакцій.</i>
<b>Результати навчання</b>	Внаслідок вивчення навчальної дисципліни аспірант повинен бути здатним продемонструвати такі <b>Компетентності:</b>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• СК02. Здатність відстежувати тенденції розвитку фізики, її прикладного застосування, критично переосмислювати наявні знання та методи фундаментальних та прикладних наукових досліджень.</li> <li>• СК06. Здатність застосовувати сучасні методи, методики, технології, інструменти та обладнання для проведення прикладних та фундаментальних наукових досліджень у галузі фізики.</li> <li>• СК07 Здатність проводити аналіз речовини за допомогою сучасних методів ядерно-фізичного аналізу.</li> <li>• СК10 Здатність застосовувати електростатичні прискорювачі та пучкові технології у вирішенні загально-фізичних та прикладних задач.</li> </ul> <p><b>Результати навчання:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• РН01. Мати сучасні концептуальні та методологічні знання з фізики та дотичних до них міждисциплінарних напрямів, а також необхідні навички, достатні для проведення фунда-ментальних і прикладних наукових досліджень з метою отримання нових знань, здійснення розробок та інновацій.</li> <li>• РН06. Планувати і виконувати прикладні та фундаментальні дослідження з фізики та дотичних міждисциплінарних напрямів з використанням сучасних методів, методик, технологій, інструментів та обладнання, з дотриманням норм академічної етики, критично аналізувати результати наукових досліджень у контексті усього комплексу сучасних знань щодо досліджуваної проблеми; готувати проєктні пропозиції щодо фінансування наукових досліджень, розробницьких і інноваційних проєктів.</li> <li>• РН13 Мати навички застосування ядерно-фізичних методів дослідження структури і складу матеріалів.</li> <li>• РН14 Застосовувати сучасні методи фізики для дослідження процесів взаємодії іонів, електронів і фотонів з речовиною, в тому числі з біооб'єктами та полями.</li> <li>• РН15 Мати навички застосування електростатичних прискорювачів та пучкових технологій для вирішення загально-фізичних та прикладних задач.</li> </ul>
<b>Обсяг дисципліни</b>	<p>Кількість кредитів – 3  Загальна кількість годин — 90 год.:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Лекції — 30 год;</li> <li>○ Практичні — 10 год;</li> <li>○ Лабораторні — 4 год;</li> <li>○ Самостійна робота — 44 год.</li> <li>○ Іспит — 2 год.</li> </ul>
<b>Методи навчання</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• МН1. Лекційне навчання.</li> <li>• МН2. Практико-орієнтоване навчання.</li> <li>• МН3. Кейс-орієнтоване навчання.</li> <li>• МН4. Самостійне навчання.</li> </ul>

<b>Методи сумативного оцінювання</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• МСО1. Виконання завдань на практичних заняттях.</li> <li>• МСО2. Виконання завдань на лабораторних заняттях.</li> <li>• МСО3. Іспит (комплексне завдання).</li> </ul>	
<b>Форма підсумкового контролю</b>	Іспит	
<b>Опис навчальної дисципліни</b>		
<b>Лекційні заняття</b>		
<b>№ з/п</b>	<b>Назви тем</b>	<b>К-сть годин</b>
	<b>I. Атомні зіткнення та переріз зворотного резерфордівського розсіяння (RBS)</b>	
1	Вступ. Поняття про ядерно-фізичні методи дослідження. Кінематика пружних зіткнень. Закони збереження енергії та імпульсу. Кінематичний фактор.	2
2	Поняття диференціального перерізу розсіяння. Формула Резерфорда для диференціального перерізу розсіяння в полі центральної сили.	2
3	Лабораторна система відліку та система центра мас. Зв'язок між кутами розсіяння в цих системах відліку. Границі застосування та поправки перерізу Резерфорда.	2
	<b>II Втрати енергії легких іонів та одержання розподілів за глибиною за допомогою методу зворотного резерфордівського розсіяння</b>	
4	Основні механізми гальмування іонів у твердих тілах. Гальмівна здатність речовини. Формула Бора для втрат енергії іонів на одиниці шляху.	2
5	Формула Бете-Блоха. Втрати енергії в багатокомпонентних мішенях. Правило та пік Брегга.	2
6	Втрати енергії легких іонів на траєкторіях входу та виходу з мішені. Зв'язок втрат енергії та товщини шару мішені. Застосування моделей для прикладних розрахунків результатів експерименту.	4
7	Ширина спектру енергії в зворотному розсіянні. Флуктуації втрат енергії іонів. Похибки методу зворотного розсіяння Резерфорда.	2
	<b>III Визначення концентрації водню на основі реєстрації ядер віддачі (ERDA)</b>	
8	Енергія ядра віддачі при пружному зіткненні та диференціальний переріз передачі енергії. Експериментальна установка стандартного ERDA експерименту. Визначення концентрації водню та дейтерію в поверхневому шарі мішені.	2
	<b>IV Елементний аналіз з використанням характеристичного рентгенівського випромінювання, індукованого прискореними іонами (PIXE)</b>	
9	Фізичні принципи методу характеристичного рентгенівського випромінювання (PIXE). Переріз іонізації оболонки атома.	2
10	Характеристичне рентгенівське випромінювання. Закон Мозлі. Поглинання рентгенівських променів.	2
11	Вихід рентгенівських квантів для тонких та товстих мішеней. Аналіз рентгенівських спектрів. Yield of X-ray photons from thin and thick targets. Analysis of X-ray spectra.	2
12	Особливості методу $\mu$ PIXE на каналі скануючого мікрозонду. Дослідження радіаційно-індукованої сегрегації на границях зерен металевих сплавів.	2
	<b>V Застосування ядерних реакцій в елементному аналізі (NRA)</b>	

13	Основні визначення та системи координат. Кінематика ядерних реакцій з двома частинками в кінцевому стані.	2
14	Перерізи реакцій. Формула Брейта-Вігнера	2
<b>Разом (год.)</b>		<b>30</b>
<b>Теми практичних занять</b>		
1	Атомні зіткнення та спектрометрія зворотнього розсіяння	2
2	Втрати енергії легких іонів та одержання розподілів за глибиною	2
3	Елементний аналіз з використанням ХРВ, індукованого прискореними іонами	2
4	Визначення концентрації водню на основі реєстрації ядер віддачі (ERDA)	2
5	Застосування ядерних реакцій в елементному аналізі	2
<b>Разом (год.)</b>		<b>10</b>
<b>Теми лабораторних робіт</b>		
1	Знайомство з каналом ядер віддачі АПК ІПФ НАН України. Обробка експериментальних спектрів.	2
2	Знайомство з каналом резерфордівського зворотнього розсіяння. Обробка результатів експерименту.	2
<b>Разом (год.)</b>		<b>4</b>
<b>Самостійна робота</b>		
<b>Опрацювання тем, які не входять до плану аудиторних занять</b>		
1	Тема 1. Атомні зіткнення та спектрометрія зворотнього розсіяння Кінематика непружних зіткнень. Зв'язок між прицільним параметром та кутом розсіювання для кулонівського потенціалу. Відхилення від формули Резерфорда для малих та великих енергій налітаючої частинки.	10
2	Тема 2. Втрати енергії легких іонів та одержання розподілів за глибиною з допомогою зворотнього розсіяння Історія розвитку теорії втрат енергії частинок в речовині. Особливості втрат енергії для легких та важких частинок. Протонна терапія лікування онкологічних захворювань. Дослідження тонких плівок методом зворотнього розсіяння.	10
3	Тема 3. Визначення концентрації водню на основі реєстрації ядер віддачі Дослідження вмісту легких елементів в радіаційному матеріалознавстві. Водневе охрищення реакторних матеріалів.	8
4	Тема 4. Елементний аналіз з використанням характеристичного рентгенівського випромінювання, індукованого прискореними іонами Залежність перерізу іонізації від маси елемента. Особливості тонких спектрів характеристичного випромінювання. Основні типи детекторів для випромінювання в рентгенівському діапазоні. Джерела рентгенівського випромінювання на базі прискорювача протонів.	10
5	Тема 5. Застосування ядерних реакцій в елементному аналізі Порогова енергія для р-п переходу, штучна радіоактивність. Питання захисту від опромінювання нейтронами.	6
<b>Разом (год.)</b>		<b>44</b>

## Сумативне оцінювання

### 1.1. Для оцінювання очікуваних результатів навчання передбачено

№	Методи сумативного оцінювання	Бали / Вага у загальній оцінці	Дата складання
1	Практичні заняття	50 балів / 50%	Згідно графіка навчального процесу
2	Лабораторні заняття	20 балів / 20%	
4	Іспит (комплексне завдання)	30 балів / 30%	

### 1.2. Критерії оцінювання

№ з/п	Вид діяльності	Оцінювання
1	Практичні заняття (5 занять)	Нарахування балів відбувається по шкалі: (Відповідно до кількості практичних занять) - відмінні відповіді 9-10 балів; - добрі відповіді 5-8 балів; - достатні відповіді 3-4 балів; - задовільні відповіді 1-2 балів Разом: 50 балів
2	Лабораторні заняття (2 заняття)	Нарахування балів відбувається по шкалі: (Відповідно до кількості лабораторних занять) - Виконано усі вимоги завдання 9-10 балів; - Більшість вимог виконано, але окремі складові відсутні або недостатньо розкриті 5-8 балів; -Вимоги щодо завдання не виконано 1-5 балів. Разом:20 балів
3	Іспит	27-30 балів - здобувач гарно орієнтується в теоретичному матеріалі, задачі розв'язані вірно; 15-27 балів - здобувач достатньо орієнтується в теоретичному матеріалі, задачі розв'язані з невеликими помилками; 5-15 балів - здобувач недостатньо орієнтується в теоретичному матеріалі, задачі розв'язані не повністю; 0-5 балів - здобувач недостатньо орієнтується в теоретичному матеріалі, задачі не розв'язані.

### Політика оскарження результатів оцінювання

Здобувач має право оскаржити результати оцінювання, звернувшись до викладача протягом 3-х робочих днів після оголошення балів.

У разі незгоди з рішенням викладача, апеляція розглядається комісією згідно з [“Положення про апеляцію результатів підсумкового контролю знань здобувачів вищої освіти в ІПФ НАН України”](#).

### Методичне забезпечення

1. Тексти та конспекти лекцій
2. Методичні розробки для аспірантів з практичних занять
3. Доступ та опрацювання он-лайн ресурсів

### Рекомендована література

#### Базова

1. Wei-Kan Chu, James W. Mayer, and Marc-A. Nicolet, Backscattering Spectrometry, Aca-

demic Press, 1978.

2. Leonard C. Feldman, James W. Mayer. Fundamentals of Surface and Thin Film Analysis. P T R Prentice Hall, 1986 - 352 p.
3. Nastasi, Michael & Mayer, James & Wang, Yongqiang. (2015). Ion Beam Analysis: Fundamentals and Applications.
4. Харитонова О. А. Конспект лекцій з дисципліни «Класична механіка та механіка суцільних середовищ». – Кам'янське : ДДТУ, 2018 р. – 97 с.
5. Joseph I. Goldstein et al.. Scanning Electron Microscopy and X-Ray Microanalysis. Springer New York, NY, 2018 – 550 p.

### **Допоміжна**

1. Parashar Mritunjaya et al. Rutherford backscattering spectrometry: A multimodal ion beam analysis technique for evaluating elemental depth profiles and radiation hardness for space photovoltaics applications. APL Energy. (2025), 3.
2. Крамченков А.Б. Дисертація на здобуття ступеня к.ф.-м.н. «Спектрометрія пружного розсіювання з високою роздільною здатністю на пучках прискорених іонів», 2013 р.
3. Goldstein H., Poole C.P., Saffo J.L. Classical Mechanics (3rd ed.). Addison-Wesley, 2001.

### **Інтернет ресурси**

1. X-RAY DATA BOOKLET, Center for X-ray Optics and Advanced Light Source, Lawrence Berkeley National Laboratory <https://xdb.lbl.gov/>
2. Національна бібліотека України імені В.І. Вернадського: <http://www.nbuv.gov.ua/>

### **Академічна доброчесність**

Здобувач вищої освіти повинен дотримуватись Етичного кодексу ученого України. Дотримання академічної доброчесності здобувачами освіти передбачає: самостійне виконання навчальних завдань, завдань поточного та підсумкового контролю результатів навчання (для осіб з особливими освітніми потребами ця вимога застосовується з урахуванням їхніх індивідуальних потреб і можливостей); посилання на джерела інформації у разі використання ідей, розробок, тверджень, відомостей; дотримання норм законодавства про авторське право і сум права; надання достовірної інформації про результати власної навчальної (наукової, творчої) діяльності, використанні методики досліджень і джерела інформації. У випадку порушення академічної доброчесності – реагування відповідно до «Положення про академічну доброчесність в ІПФ НАН України».

### **Політика використання ШІ**

Використання ШІ регулюється “Положенням про академічну доброчесність наукових працівників та здобувачів вищої освіти в ІПФ НАН України”. Зокрема, дозволяється використання ШІ для пошуку ідей або редагування тексту, проте фінальний результат має бути оригінальним. Пряме копіювання згенерованого тексту без посилань вважатиметься порушенням академічної доброчесності

### **Зворотній зв'язок**

Наприкінці курсу проводиться анонімне анкетування здобувачів щодо якості викладання та відповідності змісту дисципліни їхнім очікуванням.