

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна
Кафедра фізики кристалів

“ЗАТВЕРДЖУЮ”

Декан
фізичного факультету
Руслан ВОВК



“ ” 2025 р.

РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

«ВЗАЄМОДІЯ ВИПРОМІНЮВАННЯ З РЕЧОВИНОЮ»

спецкурс

рівень вищої освіти _____ перший (бакалаврський)
галузь знань _____ 10 – Природничі науки, математика та статистика
(шифр і назва)
спеціальність _____ 104 – фізика та астрономія
(шифр і назва)
освітня програма _____ фізика
(шифр і назва)
спеціалізація _____
(шифр і назва)
вид дисципліни _____ вибіркова
(обов'язкова / за вибором)
факультет _____ фізичний

2025/2026 навчальний рік

Програму рекомендовано до затвердження Вченою радою фізичного факультету

29 серпня 2025 року, протокол № 10

РОЗРОБНИК ПРОГРАМИ: Семінько В.В., доктор фіз.-мат. наук, професор
кафедри фізики кристалів

Програму схвалено на засіданні кафедри фізики кристалів

Протокол №9 від 22 серпня 2025 року

В.о. завідувача кафедри:

В.С.Т.
(підпис)

Владислав СЕМІНЬКО
(прізвище та ініціали)

Програму погоджено методичною комісією фізичного факультету

Протокол №5 від 28 серпня 2025 року

Голова методичної комісії

М.М.
(підпис)

Микола МАКАРОВСЬКИЙ
(прізвище та ініціали)

Програма навчальної дисципліни «Взаємодія випромінювання з речовиною» складена відповідно до освітньо-професійної програми підготовки бакалавра напрямку Е5 – фізика та астрономія

Предметом вивчення навчальної дисципліни є фізичні процеси, що виникають при взаємодії випромінювання із поверхнею твердих тіл.

1. Опис навчальної дисципліни

1.1. Мета: Ознайомити студентів з сучасним станом теорії та напрямками практичного використання досягнень одного із розділів радіаційної фізики: “Взаємодія важких багатозарядних іонів (ВБІ) з твердими тілами”. Саме цей розділ радіаційної фізики найбільш активно розвивається в останні роки і велика кількість одержаних результатів знаходить широке практичне використання.

1.2. Основні завдання вивчення дисципліни.

В спецкурсі викладаються основні закономірності взаємодії ВБІ з твердими тілами (кристалічними і аморфними); природа та властивості дефектів, що виникають при опромінюванні; особливості енергетичних втрат іонів у різних середовищах, природа і закономірності супроводжуючих ефектів - каналірування, фокусування, розпилення, блістеринга, флекінга. Обговорюються напрямки практичного використання пучків ВБІ. Здійснюються оцінки кількості дефектів, що створюються при опроміненні іонами різних мас та енергій. Курс призначений для студентів фізичних спеціальностей, які прослухали курс вищої математики і загальної фізики.

1.3. Кількість кредитів – 3

1.4. Загальна кількість годин – 90

1.5. Характеристика навчальної дисципліни	
нормативна	
Денна форма навчання	Заочна (дистанційна) форма навчання
Рік підготовки	
3-й	-й
Семестр	
5-й	-й
Лекції	
32 год.	год.
Практичні, семінарські заняття	
год.	год.
Лабораторні заняття	
год.	год.
Самостійна робота	
58 год.	год.
Індивідуальні завдання	

1.6. Згідно з вимогами освітньо-професійної програми студенти повинні досягти таких результатів навчання:

Компетентності, що мають бути сформовані:

- Інтегральна: Здатність розв'язувати складні спеціалізовані задачі та практичні проблеми з фізики та/або астрономії у професійній діяльності або у процесі подальшого навчання, що передбачає застосування певних теорій і методів фізики та/або астрономії і характеризується складністю та невизначеністю умов. (ІК)
- Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях. (ЗК 2)
- Навички використання інформаційних і комунікаційних технологій. (ЗК 3)
- Здатність приймати обґрунтовані рішення. (ЗК 5)
- Здатність оцінювати та забезпечувати якість виконуваних робіт. (ЗК 8)
- Визначеність і наполегливість щодо поставлених завдань і взятих обов'язків. (ЗК 9)
- Здатність спілкуватися державною мовою як усно, так і письмово. (ЗК 12)
- Здатність спілкуватися іноземною мовою. (ЗК 13)
- Знання і розуміння теоретичного та експериментального базису сучасної фізики та астрономії. (ФК 1)
- Здатність використовувати базові знання з фізики та астрономії для розуміння будови та поведінки природних і штучних об'єктів, законів існування та еволюції Всесвіту. (ФК 7)
- Здатність виконувати теоретичні та експериментальні дослідження автономно та у складі наукової групи. (ФК 8)

- Здатність працювати з джерелами навчальної та наукової інформації. (ФК 9)
- Здатність самостійно навчатися і опановувати нові знання з фізики, астрономії та суміжних галузей. (ФК 10)
- Усвідомлення професійних етичних аспектів фізичних та астрономічних досліджень. (ФК 12)
- Орієнтація на найвищі наукові стандарти – обізнаність щодо фундаментальних відкриттів та теорій, які суттєво вплинули на розвиток фізики, астрономії та інших природничих наук. (ФК 13)
- Здатність здобувати додаткові компетентності через вибіркові складові освітньої програми, самоосвіту, неформальну та інформальну освіту (ФК 14)

1.7. Перелік результатів навчання, що формує дана дисципліна

Програмні результати навчання

- Знати, розуміти та вміти застосовувати на базовому рівні основні положення загальної та теоретичної фізики, зокрема, класичної, релятивістської та квантової механіки, молекулярної фізики та термодинаміки, електромагнетизму, хвильової та квантової оптики, фізики атома та атомного ядра для встановлення, аналізу, тлумачення, пояснення й класифікації суті та механізмів різноманітних фізичних явищ і процесів для розв'язування складних спеціалізованих задач та практичних проблем з фізики та/або астрономії. (ПРН 1)
- Знати і розуміти фізичні основи астрономічних явищ: аналізувати, тлумачити, пояснювати і класифікувати будову та еволюцію астрономічних об'єктів Всесвіту (планет, зір, планетних систем, галактик тощо), а також основні фізичні процеси, які відбуваються в них. (ПРН 2)
- Знати і розуміти експериментальні основи фізики: аналізувати, описувати, тлумачити та пояснювати основні експериментальні підтвердження існуючих фізичних теорій. (ПРН 3)
- Знати основні актуальні проблеми сучасної фізики та астрономії. (ПРН 5)
- Оцінювати вплив новітніх відкриттів на розвиток сучасної фізики та астрономії. (ПРН 6)
- Розуміти, аналізувати і пояснювати нові наукові результати, одержані у ході проведення фізичних та астрономічних досліджень відповідно до спеціалізації. (ПРН 7)
- Мати базові навички самостійного навчання: вміти відшуковувати потрібну інформацію в друкованих та електронних джерелах, аналізувати, систематизувати, розуміти, тлумачити та використовувати її для вирішення наукових і прикладних завдань. (ПРН 8)
- Вміти упорядковувати, тлумачити та узагальнювати одержані наукові та практичні результати, робити висновки. (ПРН 11)
- Розуміти зв'язок фізики та/або астрономії з іншими природничими та інженерними науками, бути обізнаним з окремими (відповідно до спеціалізації) основними поняттями прикладної фізики, матеріалознавства, інженерії, хімії, біології тощо, а також з окремими об'єктами (технологічними процесами) та

природними явищами, що є предметом дослідження інших наук і, водночас, можуть бути предметами фізичних або астрономічних досліджень. (ПРН 13)

- Знати і розуміти роль і місце фізики, астрономії та інших природничих наук у загальній системі знань про природу та суспільство, у розвитку техніки й технологій та у формуванні сучасного наукового світогляду. (ПРН 17)
- Розуміти значення фізичних досліджень для забезпечення сталого розвитку суспільства. (ПРН 22)
- Розуміти історію та закономірності розвитку фізики та астрономії. (ПРН 23)
- Мати навички самостійного прийняття рішень стосовно своїх освітньої траєкторії та професійного розвитку. (ПРН 25)

1.8. Пререквізити

Базові знання та вміння з курсу загальної фізики (оптика, ядерна фізика).

2. Програма навчальної дисципліни

Тема 1. Особливості фізики важких іонів (6 годин)

Лекція 1

1. Основні етапи розвитку радіаційної фізики. Роль фізики важких багатозарядних іонів (ВБІ) у сучасній науці.
2. Фундаментальні та прикладні задачі фізики ВБІ. Основні напрями практичного використання.
3. Нові види радіоактивності. Кластерний розпад важких ядер.

Лекція 2

1. Типи енергетичних втрат ВБІ в середовищі. Пружні та непружні енергетичні втрати ВБІ та їх залежність від швидкості руху іонів. Енергія іонізації та її фізичний зміст.
2. Заряд ВБІ. Правило Бора. Залежність заряду іона, що рухається в середовищі, від його швидкості. Поняття рівноважного заряду. Заряд уламка поділу ядра урану.
3. Застосовність класичної механіки для опису гальмування ВБІ в середовищі.

Лекція 3

1. Типи дефектів, що виникають при опроміненні: точкові, лінійні, двовимірні та тривимірні.
2. Механізми утворення вакансій. Механізм Френкеля, стійкість пари Френкеля. Енергія утворення вакансій, її фізичний сенс. Методи дослідження вакансій.
3. Міжвузлові атоми. Способи їх розташування в кристалічній ґратці.
4. Дислокації.

Тема 2. Особливості парних взаємодій (4 години)

Лекція 4

1. Міжатомні взаємодії. Особливості вибору системи відліку. Процес зіткнення частинок у системі центра мас.
2. Енергія віддачі. Особливості зіткнення частинок рівних мас.
3. Потенціали взаємодії: кулонівський, екранований кулонівський потенціал та потенціал Борна–Майєра. Модель пружних твердих куль. Залежність ефективного радіуса кулі від енергії частинки.
4. Кореляція енергетичних втрат частинки та її заряду з потенціалами взаємодії.

Лекція 5

1. Траєкторії рухомих частинок. Довжина пробігу.
2. Рух частинки в центральному полі.
3. Прицільний параметр. Щільність потоку та доза опромінювання. Диференціальний і повний переріз розсіювання. Конкретні приклади.

Тема 3. Радіаційні ефекти при пружних зіткненнях частинок (6 годин)

Лекція 6

1. Умови розвитку лінійного каскаду атомних зіткнень. Модель Кінчина–Піза для оцінки каскадної функції. Порогова енергія зсуву атома. Фізичний сенс каскадної функції. Оцінка кількості дефектів, що виникають при зіткненнях первинно зсунутого атома з іншими атомами.
2. Каскади зіткнень, у яких атоми заміщують один одного. Збіднені зони.

Лекція 7

1. Атермічні перебудови в каскаді зіткнень. Зона нестійкості, **миготливі** вакансії.
2. Теплові піки та піки зміщення. Розміри температурних піків. Експериментальні докази виникнення температурних піків і методи їх виявлення.

Лекція 8

1. Розпилення твердих тіл при опроміненні. Три режими розпилення. Залежність коефіцієнта розпилення від енергії іонів та кута опромінювання.
2. Розвиток поверхневого рельєфу при розпиленні.
3. Явища блістерингу та флекінгу.

Тема 4. Радіаційні ефекти в області непружних енергетичних втрат ТМІ в гальмуючому середовищі (10 годин)

Лекція 9

1. Поняття гальмівної здатності речовини.
2. Повні, пружні та іонізаційні втрати енергії частинкою в середовищі, їх залежність від енергії та заряду.
3. Основні особливості пружного та непружного гальмування.
4. Зв'язок зарядового стану частинки з її енергетичними втратами.

Лекція 10

1. Механізми формування треків у діелектриках: механізм іонного вибуху та електронно-термічного піку. Розміри треків для різних іонів.
2. Поширення ударних хвиль. Поверхневі треки та особливості їх формування.
3. Методи спостереження треків: електронна мікроскопія, хімічне травлення.

Лекція 11

1. Поріг реєстрації треків у діелектричних детекторах.
2. Термічна стійкість треків.
3. Напрями практичного використання треків. Одержання трекових фільтрів. Пошук надважких елементів.

Лекція 12

1. Взаємодія ТМІ з металами. Оцінка часів релаксації в електронній та фононній підсистемах металу. Оцінка стрибків температури в цих підсистемах.
2. Треки в металевих острівцевих плівках. Історія їх відкриття. Модель ізольованих частинок. Ефект підстрибування металевих острівців при імпульсному нагріванні.
3. Скидання острівців із поверхні під дією ударної хвилі.

Тема 5. Орієнтаційні ефекти при опроміненні (4 години)

Лекція 13

1. Фокусування атомних зіткнень. Енергія фокусування. Недоліки моделі твердих куль.
2. Динамічні краудіони. Умови їх утворення.
3. Вплив ефекту фокусування на розвиток каскаду атомних зіткнень.
4. Збіднені зони. Ефект Венера.

Лекція 14

1. Ефект каналювання. Критичний кут каналювання. Потенціал каналу.
2. Ефект тіней.
3. Практичне використання ефектів каналювання та фокусування.

Тема 6. Взаємодія нейтронів, електронів та γ -квантів із речовиною (4 години)

Лекція 15

1. Види взаємодії нейтронів різних енергій з ядрами. Типи ядерних реакцій. Дефекти, що виникають у гальмуючому середовищі при опроміненні нейтронами.
2. Спектроскопія уламків поділу важких ядер.
3. Особливості ослаблення потоків γ -квантів у гальмуючому середовищі: фотоефект, комптонівський ефект, ефект утворення пар.

Лекція 16

1. Особливості утворення вакансій в іонних кристалах. Домішкові та власні вакансії. Залежність їх концентрації від температури.
2. Оптичні властивості іонних кристалів. Центри забарвлення та смуги поглинання. F-центри та методи їх дослідження.
3. Радон та його роль в екології навколишнього середовища.

3. Структура навчальної дисципліни

Назви тем	Кількість годин											
	Денна форма						Заочна форма					
	Усього	у тому числі					Усього	у тому числі				
		л	п	лаб	інд	ср		л	п	лаб	інд	ср
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Тема 1. Особливості фізики важких іонів	16	5				11						
Тема 2. Особливості парних взаємодій	12	5				7						
Тема 3. Радіаційні ефекти при пружних зіткненнях частинок	14	5				9						
Тема 4. Радіаційні ефекти в області непружних енергетичних втрат ТМІ в гальмуючому середовищі	12	5				7						
Тема 5. Орієнтаційні	18	6				12						

ефекти при опроміненні												
Тема 6. Взаємодія нейтронів, електронів та γ -квантів із речовиною	18	6				12						
Усього годин	90	32				58						

4. Завдання для самостійної роботи

№	З використанням літературних джерел із списку рекомендованої літератури проробка питань, поставлених викладачем на лекції з теми:	Кількість годин
	Тема 1. Аналіз механізмів утворення радіаційних дефектів: вакансій, міжвузлових атомів, дислокацій	11
	Тема 2. Вивчення міжатомних потенціалів (Кулонівський, екранований, Борна–Майєра).	7
	Тема 3. Вивчення моделі Кінчина–Піза для оцінки каскадної функції.	9
	Тема 4. Аналіз методів реєстрації та спостереження треків.	7
	Тема 5. Розрахунок критичного кута каналювання для заданих параметрів кристала.	12
	Тема 6. Вивчення фотоефекту, комптонівського розсіювання та ефекту утворення пар.	12
	Усього	58

5. Методи навчання

Наочний, словесний, проблемний, практичний

6. Методи контролю

поточний (перевірка завдань самостійної роботи, конспекти) та підсумковий (залік)

Схема нарахування балів

Поточний контроль та самостійна робота							Підсумковий контроль (залік)	Сума
T1	T2	T3	T4	T5	T5	T6		
60							40	100

Шкала оцінювання

Сума балів за всі види навчальної діяльності протягом семестру	Оцінка	
	для чотирирівневої шкали оцінювання	для дворівневої шкали оцінювання
90 – 100	відмінно	зараховано
70-89	добре	
50-69	задовільно	
1-49	незадовільно	не зараховано

7. Рекомендована література

Базова

1. Кондир А.І. Наноматеріалознавство і нанотехнології: навч. посібник для ВНЗ / А.І Кондир. – Львів : Вид-во Нац. ун-ту “Львівська політехніка”, 2017. – 452 с.
2. Проценко І. Ю., Наноматеріали і нанотехнології в електроніці. – Суми : Сумський державний університет, 2017 –155 с.
3. Дефектна структура, люмінесцентні властивості та антиоксидантна активність нанокристалів оксиду церію ($\text{CeO}_2\text{-x}$) / В. В. Семінько, П. О. Максимчук, - Харків. «ІСМА», 2022, 224 с.
4. D. Vollath Nanomaterials: An Introduction to Synthesis, Properties and Applications, Wiley, 2013. – 386 p.
5. A. Nabok. Organic and inorganic nanostructures. – Norwood: Artech House, 2005. – 268 p.
6. L. Novotny, B. Hecht. Principles of nano-optics. – Cambridge: Cambridge University Press, 2019. – 539 p.

Допоміжна

1. О.Ц. Сідлецький, Б.В. Гриньов Сцинтиляційні кристали на основі твердих розчинів заміщення – Харків: “ІСМА”, 2019. – 248 стр.
2. Гектін О.В., Волошиновський А.С., Заїченко О.С., Вістовський В.В., Малий Т.С., Жишкович А.В. Релаксація високоенергетичних збуджень у нанорозмірних матеріалах – Харків: “ІСМА”, 2018.– 216 стор.