

**НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ**  
**ІНСТИТУТ ЯДЕРНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ**

«ЗАТВЕРДЖУЮ»  
Заступник директора з наукової роботи  
  
В. В. Давидовський  
« 5 » 2023 р.



**НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНИЙ КОМПЛЕКС ДИСЦИПЛІНИ**  
***ВЗАЄМОДІЯ ОПРОМІНЕННЯ З ТВЕРДИМ ТІЛОМ***

**Освітньо-кваліфікаційний рівень:** доктор філософії

**Галузь знань:** 10 - Природничі науки

**Спеціальність :** 104 - Фізика та астрономія

**Освітня програма:** Фізика ядра, фізика елементарних частинок і високих енергій; ядерно-фізичні установки; радіаційна фізика конденсованого стану; фізика плазми і ядерного синтезу.

**Статус курсу:** фаховий (вибірковий)

**Київ 2023**

**Взаємодія опромінення з твердим тілом: Навчально-методичний комплекс дисципліни. – Київ: ІЯД НАНУ, 2023. - 30 с.**

**Укладач:** Голіней І.Ю., кандидат фізико-математичних наук, старший науковий співробітник

Ухвалено на засіданні Вченої ради Інституту ядерних досліджень НАН України

протокол № 6 від “ 5 ” липня 2023 р.

## І. ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

Програма з курсу «**Взаємодія опромінення з твердим тілом**» відповідає навчальному плану підготовки аспірантів за спеціальністю **104 - Фізика та астрономія** (галузь знань: **10 - Природничі науки**), що здобувають освітньо-кваліфікаційний рівень доктора філософії на відповідній освітній програмі ІЯД ПАН України.

Курс «**Взаємодія опромінення з твердим тілом**» є необхідною складовою є складовою вибіркових навчальних дисциплін циклу професійної та практичної підготовки докторів філософії за спеціальністю **104 - Фізика та астрономія**, напрям підготовки: Фізика ядра, фізика елементарних частинок і високих енергій; ядерно-фізичні установки; радіаційна фізика конденсованого стану; фізика плазми і ядерного синтезу. Він дає можливість ознайомити аспірантів з понятійним апаратом радіаційної фізики та радіаційного матеріалознавства, механізмів розсіяння заряджених частинок, гамма-квантів, нейтронів з матеріалами, видами та характеристиками радіаційних дефектів, модифікацією речовин при опроміненні.

Курс «**Взаємодія опромінення з твердим тілом**» викладається на другому або третьому році навчання в осінньому або весняному семестрі та розрахований на 8 навчальних тижнів (по 2-4 ауд. год. щотижня; перший тиждень занять - лекційний). Вивчення курсу передбачає аудиторну (лекції - 16 год.; практичні заняття - 8 год.; консультації - 2 год.; і самостійну роботу (34 год.). Загальна кількість годин, відведених на опанування дисципліни - 60 (2 кредити ЄКТС).

**Мета дисципліни** - ознайомлення аспірантів з основними положеннями радіаційної фізики, механізмами взаємодії опромінення з речовиною, радіаційними дефектами, модифікацією властивостей речовини опроміненням.

**Завдання** - сформувані у аспірантів базові знання про механізми розсіяння частинок атомами речовини, радіаційні пошкодження та фізичними ефекти, що виникають при опроміненні.

### **Структура курсу**

У результаті вивчення навчальної дисципліни аспірант повинен:

**знати:** види опромінення, дозиметричні одиниці; механізми взаємодії заряджених частинок, гамма-квантів та нейтронів з речовиною; методи детектування високоенергетичних частинок; види радіаційних дефектів та основи модифікації властивостей матеріалів опроміненням; характеристики радіаційних пошкоджень та різноманітні радіаційні ефекти;

**вміти:** оцінити величину іонізації; розраховувати профілі радіаційних пошкоджень; записати кінетичні рівняння для концентрацій первинних радіаційних дефектів; оцінювати величину радіаційних ефектів; планувати й проводити експерименти з використанням різних видів опромінення;

**Місце дисципліни** (в структурно-логічній схемі підготовки фахівців відповідного напрямку). Навчальна дисципліна «**Взаємодія опромінення з твердим тілом**» є складовою циклу професійної підготовки фахівців освітньо-кваліфікаційного рівня «доктор філософії». Система знань, отримана при вивченні даного курсу, є необхідною для вільного ознайомлення з науковою літературою та при виконанні відповідних кваліфікаційних робіт.

**Зв'язок з іншими дисциплінами.** При вивченні дисципліни «**Взаємодія опромінення з твердим тілом**» використовуються знання та вміння, набуті аспірантами під час вивчення курсів загальної фізики, атомної фізики, статистичної фізики, класичної та квантової механіки.

## II. ТЕМАТИЧНИЙ ПЛАН ДИСЦИПЛІНИ

№	Назва теми	Кількість годин				
		Всього	Лекцій	Практичних занять	Самостійна та індивідуальна робота	Консультації
	<b>Розділ (змістовний модуль) 1. Механізми взаємодії різних типів опромінення з речовиною</b>	-	-	-	-	-
	<b>Тема 1.</b> Основні фізичні принципи й теорії взаємодії частинок з речовиною	26	6	4	16	-
	<b>Тема 2.</b> Твердотільні детектори високоенергетичних частинок	4	2	-	2	-
	<b>Всього по розділу 1</b>	30	8	4	18	
	<b>Розділ (змістовний модуль) 2. Радіаційні ефекти</b>					
	<b>Тема 3.</b> Радіаційні дефекти.	14	4	2	8	-
	<b>Тема 4.</b> Модифікація властивостей речовини при	14	4	2	8	
	<b>Всього по розділу 2</b>	28	8	4	16	-
	<b>Іспит</b>	-	-		-	2
	<b>Всього</b>	60	16	8	34	2

## **ЗМІСТ КУРСУ**

### **Розділ (змістовний модуль) 1. Механізми взаємодії різних типів опромінення з речовиною**

#### **ТЕМА 1. Вступ. Поняття про опромінення та його характеристики.**

Опис дисципліни. Мета і завдання курсу. Джерела опромінення. Дозиметричні одиниці. Зміщення на атом. Перерізи реакцій і перерізи розсіяння; амплітуда розсіяння; іонізація і вторинні заряджені частинки. Механізми взаємодії гамма-променів з речовиною. Взаємодія заряджених частинок з речовиною. Прицільні параметри; пружне і непружне розсіяння. Розрахунок втрат зарядженої частинки на одиницю шляху. Формула Бете-Блоха; програмні засоби розрахунку пробігу заряджених частинок. Випромінювання електромагнітних хвиль зарядженою частинкою. Каналювання. Характеристики нейтронів та їхнє розсіяння в речовині.

#### **ТЕМА 2. Твердотільні детектори високоенергетичних частинок.**

Детектування і дозиметрія ядерного опромінення. Принцип дії твердотільних детекторів. Сцинтилятори. Детектори нейтронів та гамма-квантів.

### **РОЗДІЛ (змістовний модуль) 2. Радіаційні ефекти.**

#### **ТЕМА 3. Радіаційні дефекти.**

Первинні радіаційні дефекти: міжвузлові атоми, вакансії. Термодинаміка радіаційних дефектів. Кінетичні дифузійно-реакційні рівняння для первинних радіаційних дефектів. Складні радіаційні ефекти: комплекси з домішками, дивакансії, краудіони. Макроскопічні радіаційні дефекти: вакансійні й газонаповнені пори, радіаційне розпухання, блістеринг, флекінг.

#### **ТЕМА 4. Модифікація твердого тіла при опроміненні.**

Радіаційна повзучість; взаємодія первинних радіаційних дефектів із дислокаціями. Радіаційне окрихчування. Зразки свідки. Методика температурної залежності крихкості. Радіаційні ефекти в напівпровідниках, іонна імплантація, гетерування, легування. Ефекти самоорганізації при опроміненні. Теорії утворення надграток дефектів.



## Література

### Основна

1. О.І.Ахієзер, Ю.А.Бережной. Теорія ядра: Навчальний посібник. — Київ: Вища школа, 1995. — 255 с.
2. Черняев А.П. Взаимодействие ионизирующего излучения с веществом. - М: ФИЗМАТЛИТ, 2004.
3. Томпсон М. Дефекты и радиационные повреждения в металлах. М.: Мир, 1971, 470 с.
4. Seeger A. Radiation damage in Solids. Vienna; IAEA, 1962, 531 p
5. Зеленский В.Ф., Неклюдов И.М., Черняева Т. П. Радиационные дефекты и набухание металлов. К.: Наукова думка, 1988.
6. Конобеевский С. Т., Действие облучения на материалы, М., 1967;
7. Вавилов В. С., Ухин Н. А., Радиационные эффекты в полупроводниках и полупроводниковых приборах, М., 1969;
8. Г. Фраунфельдер, З. Хенли // Субатомная физика, Мир, М., 1979.
9. В.С. Вавилов, Н.П. Кекелидзе, Л.С. Смирнов, Действие излучений на полупроводники, Наука, М., 1988.
10. А.Н. Диденко, А.Е.Лигачев, И.Б. Куракин. Воздействие пучков заряженных частиц на поверхность металлов и сплавов, М.: Энергоатомиздат, 1987.
11. В.Н. Воеводин, И.М. Неклюдова, Эволюция структурно-фазового состояния и радиационная стойкость конструкционных материалов. Киев:Наукова думка, 2006.
12. Н. Бор, Прохождение атомных частиц через вещество, Издательство иностранной литературы, М., 1948.
13. Gemmell, D. S. (1974). "Channeling and related effects in the motion of charged particles through crystals". Rev. Mod. Phys. 46: 12
14. Дж. Джелли, Черенковское излучение. Издательство иностранной литературы, М., 1960.
15. В.Л. Гинзбург, В.Н. Цытович, Переходное излучение и переходное рассеяние. М.: Наука, 1984.
16. Л.А. Булавін, В.К. Тартаковський // Ядерна фізика, Київ:Знання, 2005.
17. В.М. Павлович // Фізика ядерних реакторів, Чорнобиль, 2009.

### Додаткова.

1. Киттель Ч. Статистическая термодинамика.- М.: Мир, 1977.-328с.
2. Evans J.H. Observation of regular void array in high purity molybdenum irradiated with 2 MeV nitrogen atoms. Nature, 222:403-407, 1971.
3. Tewery V.R. and Bullough R. Theory of the void lattice in molybdenum.



J.Phys.F, 2(1):69-72, 1972.

4. Tewary V.R. Theory of defect superlattice in crystals with application to void/vacancy and nitrogen interstitial lattices in tantalum and vanadium. J.Phys.F, 3(11):1273-1278, 1973.
5. Максимов Л.А. and Рязанов А.И. Кинетическое уравнение для решетки пор. Решетка пор как диссипативная структура, устойчивая в условиях облучения. ЖЗТФ, 79(6):2311, 1980.
6. Ахиезер И.А. and Давыдов Л.Н. К теории решетки пор. сер:физ.рад.повр. ирад.мат., I(4):1-9, 1980.ВАНТ,
7. Evans J.H. A computer simulation of the two-dimensional SIA diffusion model for the void lattice formation. J.Nucl.Matt., 132(1): 147—155, 1985.
8. Evans J.H. Void and helium bubble lattice formation in molybdenum: a mechanism based on two-dimensional self-interstitial diffusion.  
9. J.Nucl.Matt., 119(2,3): 180-188, 1983.
10. Селищев П.А. Сугаков В.И. Взаимодействие между дефектами и образование диссипативных структур в облучаемых примесных кристаллах. Препринт-КИЯИ-86-21, page 20, 1986.
11. Сугаков В.И. О сверхрешетках плотности дефектов в облученных кристаллах. Препринт КИЯИ-84-70Р, page 30, 1984.

# НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ

## ІНСТИТУТ ЯДЕРНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

### РОБОЧА ПРОГРАМА ДИСЦИПЛІНИ

#### *ВЗАЄМОДІЯ ОПРОМІНЕННЯ З РЕЧОВИНОЮ*

Галузь знань, спеціальність, освітня програма, освітньо-кваліфікаційний рівень	Організаційно-методична характеристика навчальної дисципліни	
	Академічна характеристика	Структура
10 - Природничі науки 104-Фізика та астрономія Освітня програма - Фізика (Теоретична фізика) Доктор філософії	Рік навчання: 2 або 3 Семестр: 1 або 2 * Кількість годин на тиждень: 2 Статус курсу: <i>обов'язковий</i> Кількість ЕСТ8 кредитів: 2  * дисципліна може викладатися на 2 або 3 році навчання в осінньому або весняному семестрі	Кількість годин: Загальна: 60 Лекції: 16 Практичні заняття: 8 Консультація 2 Самостійна робота: 34  Вид підсумкового контролю: іспит

Робоча програма складена для докторів філософії - Освітня програма Фізика ядра, фізика елементарних частинок і високих енергій; ядерно- фізичні установки; радіаційна фізика конденсованого стану; фізика плазми і ядерного синтезу.

Укладач: Голіней І.Ю., кандидат фіз.-мат. наук, старший науковий співробітник

### ІІІ. ПЛАН ЛЕКЦІЙНИХ ЗАНЯТЬ

#### МЕТА ТА МЕТОДИЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ПРОВЕДЕННЯ ЛЕКЦІЙ

Проведення лекційних занять націлено на донесення загальних знань та побудову теоретичних методів по дисципліні, на сприяння розвитку у аспірантів

розумової діяльності і розширення світогляду.

***Розділ (змістовний модуль) 1, Механізми взаємодії різних видів  
опромінення з речовиною***

**Тема 1. Заняття 1. Основні фізичні принципи й теорії взаємодії частинок з речовиною**

1. Види високоенергетичних частинок;
2. Джерела високоенергетичних частинок;
3. Характеристики ядерного опромінення;
4. Дозиметричні одиниці;
5. Перерізи реакцій і перерізи розсіяння;
6. Амплітуда розсіяння;
7. Іонізація і вторинні заряджені частинки.
8. **Механізми взаємодії гамма-променів з речовиною**
9. Фотоефект,
10. Комптонівське розсіювання
11. Народження пар.
12. Фотоядерні реакції

***Література***

**Заняття 2. Взаємодія заряджених частинок з речовиною.**

1. Прицільні параметри;
2. Пружне і непружне розсіяння;
3. Зіткнення ядер і електромагнітна взаємодія;
4. Роль ядерних реакцій;
5. Резерфордове розсіяння назад.
6. **Розрахунок енергетичних втрат зарядженої частинки на одиницю шляху**
7. Формула Бете-Блоха;
8. Довжина пробігу
9. Програмні засоби розрахунку енергетичних втрат
10. **8ШМ**
11. **Сеапі-4.**

***Література***



### **Заняття 3. Випромінювання електромагнітних хвиль зарядженою частинкою.**

1. Гальмівне випромінювання,
2. Випромінювання Черенкова
3. Перехідне випромінювання.
4. **Каналювання**
5. Кути каналювання
6. Потенціал руху частинок в каналі
7. Умови деканалювання
8. Випромінювання при каналюванні.

#### *Література*

### **Заняття 4. Розсіяння нейтронів**

1. Діапазони енергій нейтронів
2. Теплові нейтрони
3. Сповільнення та поглинання нейтронів
4. Нейтрон як хвиля
5. Вивчення твердого тіла та рідин методами нейтронної спектроскопії;

#### *Література*

### **Заняття 5. Тема 2. Детектування і дозиметрія ядерного опромінення.**

1. Принцип дії твердотільних детекторів.
2. Сцинтилятори.
3. Детектори нейтронів та гамма-квантів.

#### *Література*

## **Розділ (змістовний модуль) 2. Радіаційні ефекти**

### **Тема 3. Радіаційні дефекти**

#### **Заняття 6. Первинні радіаційні дефекти**

1. Міжвузлові атоми
2. Вакансії.
3. Френкелівські пари
4. Дилатація.
5. Термодинаміка радіаційних дефектів
6. **Кінетичні дифузійно-реакційні рівняння для первинних радіаційних дефектів.**
7. Генерація дефектів опроміненням
8. Стоки

9. Дифузія
10. Рекомбінація

### *Література*

#### **Заняття 7. Складні радіаційні ефекти**

1. Комплекси з домішками,
2. Дивакансії,
3. Краудіони
4. Дифузія краудіонним механізмом
5. **Макроскопічні радіаційні дефекти**
6. Вакансійні пори
7. Газонаповнені пори,
8. Радіаційне розпухання,
9. Блістеринг,
10. Флекінг

### *Література*

#### **Тема 4. Модифікація твердого тіла при опроміненні.**

##### **Заняття 8 Радіаційна повзучість**

1. Означення повзучості.
2. Вимірювання повзучості
3. Взаємодія первинних радіаційних дефектів із дислокаціями.
4. Провал у температурній залежності радіаційної повзучості
5. **Радіаційне окрихчування.**
6. Зразки свідки.
7. Методика температурної залежності крихкості.
8. **Радіаційні ефекти в напівпровідниках**
9. Іонна імплантація
10. Легування
11. Гетерування.
12. **Ефекти самоорганізації при опроміненні.**
13. Надгратка пор.
14. Теорії утворення надграток дефектів.

## **IV. ПЛАН ТА МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ**

### **МЕТА ТА ОСОБЛИВОСТІ ПРОВЕДЕННЯ ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ**

Практичні заняття є сполучною ланкою між лекційними заняттями та

самостійною роботою і мають на меті поглиблене засвоєння теоретичних понять, термінів і моделей з дисципліни та набуття практичних навиків розв'язання задач.

В процесі практичних занять з'ясовується ступінь засвоєння понятійно-термінологічного апарату та основних положень предмету, вміння розкривати конкретну тему, аналізувати і узагальнювати ключові питання курсу, робити числові оцінки, розв'язувати задачі.

Одним з важливих завдань проведення занять є отримання аспірантами навичок публічних виступів і дискусій.

### **ЗМІСТ ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ**

*Передбачаються такі види аудиторної роботи:*

- розгляд і обговорення теоретичного матеріалу за переліком контрольних питань по відповідних темах лекційних занять та питань для самостійного опрацювання;
- проведення семінарів з публічними виступами та доповідями по рефератах, підготовлених студентами самостійно за рекомендованою тематикою;
- розв'язання задач аналітичного характеру;
- розв'язання задач обчислювального характеру;
- виконання контрольних робіт за індивідуальним завданням;
- перевірка практичних завдань, виконаних студентами під час самостійної роботи;
- проведення консультацій з дисципліни;

#### **Практичне заняття 1. Тема 4. Розрахунок пробігу заряджених частинок за допомогою програми 8ЯІМ**

1. Програма 8КІМ
2. Вибір задачі
3. Вибір типу зарядженої частинки, її енергії та опромінюваного матеріалу
4. Симуляція
5. Визначення довжини пробігу

#### ***Література:***

Основна: []

Додаткова: []

#### **Практичне заняття 2. Тема 1. Розсіяння нейтронів**

1. Діапазони енергій нейтронів
2. Теплові нейтрони
3. Каскади зіткнень
4. Розрахунок кількості вибитих атомів у каскаді

### *Література:*

#### **Практичне заняття 3. Тема 3. Складання кінетичних реакційно-дифузійних рівнянь для первинних радіаційних дефектів**

1. Дифузія
2. Захоплення на стоки
3. Ефективні радіуси
4. Рекомбінація первинних дефектів

### *Література:*

#### **Практичне заняття 4. Тема 4. Концентраційна нестабільність при пружній взаємодії дефектів.**

Взаємодія між дефектами внаслідок делатації

Дифузійно-реакційні рівняння.

Нестабільність однорідного розподілу.

Лінеаризація рівнянь щодо збурень

Інкременти наростання й затухання збурень

### *Література:*

## **V. МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО ВИКОНАННЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ**

### **МЕТА І ЗАВДАННЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ**

Головна мета проведення самостійної роботи полягає у необхідності більш широкого огляду тематики курсу з використанням матеріалів підручників, періодичних видань, наукових праць, монографій з окремих питань дисципліни.

Важливою складовою самостійної роботи студентів є виконання індивідуальних робіт.

Виконання індивідуальних робіт має на меті:

- закріплення знань теоретичного курсу;
- набуття навичок опрацювання наукової літератури (монографій, наукових статей);
- напрацювання вмінь та навичок розв'язування фізичних задач;
- навчання ефективному використанню фізико-математичних довідників, енциклопедій (включно з оп-іпе інформацією) і т. ін.



## ЗМІСТ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ

№ теми	Завдання	Література	Форма контролю
1	Механізми взаємодії гамма-квантів з речовиною Фотоефект Комптонове розсіяння Генерація пар		Опитування, перевірка конспекту, виступи в аудиторії, розв'язання задач в аудиторії, перевірка самостійного розв'язання задач .
2	Гальмування заряджених частинок у речовині		Опитування, перевірка конспекту, виступи в аудиторії, розв'язання задач в аудиторії, перевірка самостійного розв'язання задач .
3	Розсіяння нейтронів Діапазони енергій нейтронів Джерела нейтронів Теплові нейтрони Сповільнювачі Поглиначі нейтронів Нейтронофізика		Опитування, перевірка конспекту, виступи в аудиторії, розв'язання задач в аудиторії, перевірка самостійного розв'язання задач .

4	Каналювання1		Опитування, перевірка конспекту, виступи в аудиторії, розв'язання задач в аудиторії, перевірка самостійного розв'язання задач.
5	Особливості гальмування електронів у речовині		Опитування, перевірка конспекту, виступи в аудиторії, розв'язання задач в аудиторії, перевірка самостійного розв'язання задач .

6	<p>Випромінювання електромагнітних хвиль зарядженими частинками. Гальмівне випромінювання. Черенковське випромінювання. Перехідне випромінювання.</p>		<p>Опитування, перевірка конспекту, виступи в аудиторії, розв'язання задач в аудиторії, перевірка самостійного розв'язання задач .</p>
7	<p>Детектування заряджених частинок Напівпровідникові детектори. Сцинтилятори.</p>		<p>Опитування, перевірка конспекту, виступи в аудиторії, розв'язання задач в аудиторії, перевірка самостійного розв'язання задач .</p>
8	<p>Первинні радіаційні дефекти. Міжвузлові атоми Вакансії Гантелі</p>		<p>Опитування, перевірка конспекту, виступи в аудиторії, розв'язання задач в аудиторії, перевірка самостійного розв'язання задач ..</p>

9	Радіаційне окрихчування. Зразки- свідки		Опитування, перевірка конспекту, виступи в аудиторії, розв'язання задач в аудиторії, перевірка самостійного розв'язання задач..
10	Радіаційна повзучість Механізми повзучості. Переповзання дислокацій.		Опитування, перевірка конспекту, виступи в аудиторії, розв'язання задач в аудиторії, перевірка самостійного розв'язання задач .
11	Мезоскопічні радіаційні дефекти. Вакансійні та газонаповнені пори. Вакансійні петлі. Блістеринг. Флекінг.		Опитування, перевірка конспекту, виступи в аудиторії, розв'язання задач в аудиторії, перевірка самостійного розв'язання задач .

12	Супергратка пор. Теорії просторового впорядкування дефектів.		Опитування, перевірка конспекту, виступи в аудиторії, розв'язання задач в аудиторії, перевірка самостійного розв'язання задач.
----	--	--	--

### ОБСЯГ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ

№	Назва теми	Кількість годин
1.	Підготовка до поточних практичних занять	16
2.	Виконання поточних практичних завдань	14
3.	Опанування матеріалів лекцій та додаткових питань із застосування основної та додаткової літератури	
4.	Індивідуальні консультації з викладачем	4
	<b>ВСЬОГО</b>	<b>34</b>

### Завдання (задачі, вправи) для самостійної роботи

1. Взаємодія гамма-променів з речовиною. Порівняти ймовірності поглинання кванта з енергією 1 Мев у золоті й воді.
2. Залежність піка резерфордівського розсіювання назад від матеріалу.

### Теми для рефератів та доповідей

1. Каскади зіткнень
2. Надгратка первинних радіаційних дефектів

## **VI. ФОРМИ ТА МЕТОДИ КОНТРОЛЮ**

### **МЕТА І ФОРМИ ПОТОЧНОГО КОНТРОЛЮ**

Мета поточного контролю - оцінити ступінь засвоєння теоретичного і практичного матеріалу та рівень знань студентів з відповідних розділів дисципліни.

*Рівень поточних знань оцінюється в балах по кожному із передбачених видів практичних завдань окремо:*

- володіння теоретичним матеріалом;
- розуміння сутності фізичних явищ;
- вміння робити оцінки за порядком величин;
- розв'язання задач аналітичного характеру;
- розв'язання задач обчислювального характеру.

Згідно до методики рейтингової оцінки поточний рейтинг аспіранта розраховується як сума балів за всіма видами практичних завдань, колоквиуму та контрольної роботи (плюс показники відвідування лекційних та практичних занять) і наращується протягом семестру.

Аспіранти, поточні знання яких оцінені на “незадовільно” (0-29 балів), вважаються не атестованими і до іспиту з дисципліни не допускаються. Аспіранти, які за роботу в семестрі та на іспиті набрали 30-59 балів мають право на перескладання.

### **МЕТА І ФОРМИ ПІДСУМКОВОГО КОНТРОЛЮ ЗНАНЬ**

Підсумковий контроль знань здійснюється наприкінці семестру шляхом складання іспиту.

До іспиту допускаються аспіранти, які мають необхідний рівень поточних знань.

Іспит проводиться в змішаній формі, по завданнях які складені на основі програми курсу та мають однаковий рівень складності. На підготовку відводиться 2 академічні години. Під час проведення іспиту дозволяється користуватися конспектом.

### **ПИТАННЯ ДЛЯ ПІДГОТОВКИ ДО ІСПИТУ**

1. Види та діапазони енергій ядерного опромінення.
2. Фізичні дозиметричні одиниці та їхні біологічні еквіваленти. Зміщення на атом.
3. Три механізми взаємодії гамма-квантів з речовиною.
4. Пружне і непружне розсіяння заряджених частинок.
5. Енергетичні втрати на одиницю пробігу. Довжина пробігу, Бреггів пік.
6. Типи та характеристики випромінювання електромагнітних хвиль при гальмуванні заряджених частинок у середовищі.
7. Особливості взаємодії нейтронів з твердим тілом.

8. Сповільнення та поглинання нейтронів.
9. Методи нейтронної спектроскопії.
10. Каналювання заряджених частинок у кристали.
11. Твердотільні детектори заряджених частинок, гамма-квантів та нейтронів. Калориметри.
12. Сцинтиляційні детектори.
13. Первинні радіаційні дефекти. Відпалювання дефектів.
14. Кінетика первинних радіаційних дефектів.
15. Дивакансії та комплекси первинних радіаційних дефектів із домішками.
16. Радіаційне розпухання. Види макроскопічних радіаційних дефектів.
17. Особливості радіаційної повзучості.
18. Радіаційне окрихчування та його використання для моніторингу ядерних реакторів.
19. Іонне легування напівпровідників. Гетерування.
20. Явища самоорганізації в опромінених матеріалах.

## **I. КРИТЕРІЇ ОЦІНЮВАННЯ ЗНАТЬ І ВМІНЬ СТУДЕНТІВ, УМОВИ ВИЗНАЧЕННЯ НАВЧАЛЬНОГО РЕЙТИНГУ**

Рівень поточних знань студентів оцінюється відповідно до методики рейтингової оцінки. Сутність методики полягає у визначенні поточного рейтингу студента, що розраховується як сума балів за всіма видами практичних завдань та результатами самостійної роботи і наращується протягом семестру.

<i>Вид роботи</i>	<i>Обсяг за семестр</i>	<i>Максимальна кількість балів за виконану роботу</i>
<i>Теоретичне питання (просте)</i>	<i>4</i>	<i>Кожна правильна і змістовна відповідь -1 бал. Всього за семестр - 4 бали.</i>
<i>Теоретичне питання (ускладнене)</i>	<i>4</i>	<i>Кожна правильна і змістовна відповідь - 2 бали. Всього за семестр - 8 балів</i>
<i>Розв'язування задач</i>	<i>2</i>	<i>Кожне правильне розв'язання - 5 балів. Всього за семестр -10 балів</i>
<i>Проведення колоквиуму та контрольної роботи</i>	<i>1</i>	<i>Кожне правильне розв'язання завдання - 5 балів. Всього за колоквиум та контрольну роботу —10 балів</i>
<i>Відвідування лекцій</i>	<i>16</i>	<i>Кожна відвідана лекція - 1 бал. Всього за семестр -16 балів</i>
<i>Відвідування семінарів</i>	<i>14</i>	<i>Кожний відвіданий семінар — 1 бал. Всього за семестр -14 балів</i>
<i>Сукупний рейтинг</i>	<i>-</i>	<i>60 балів</i>

## КРИТЕРІЇ СКЛАДАННЯ ІСПИТУ (ЗАЛІКУ)

Кожне завдання для проведення іспиту (заліку) має бути однакової складності. Зміст питань та завдань має бути розрахований на письмову підготовку аспіранта протягом двох академічних годин.

*Максимальна кількість балів на проведення підсумкового контролю - 40.*  
Критерії оцінки підсумкових знань при складанні іспиту наведені в таблиці.

Критерії складання іспиту (заліку)

<i>Характеристика відповіді по варіанту</i>	<i>Максимальна кількість балів</i>
<i>Зміст 2-х теоретичних питань розкрито повністю і в розгорнутому вигляді</i>	<i>30</i>
<i>Вірні відповіді на тести /додаткові питання чи розв'язок задачі</i>	<i>10</i>
<b>ВСЬОГО</b>	<b>40 балів</b>

За результатами складання іспиту (заліку) якість підсумкових знань аспіранта оцінюється за рейтинговою системою та трансформується в національну шкалу та шкалу ECTS

Таблиця

Порядок перерахунку рейтингових показників нормованої 100-бальної університетської шкали оцінювання в національну 4-бальну шкалу та шкалу ECTS.

<b>За шкалою університету</b>	<b>За національною шкалою</b>		<b>За шкалою ECTS</b>
	<b>Іспит</b>	<b>Залік</b>	
91-100	5 (відмінно)	Зараховано	A (відмінно)
81-90	4 (добре)		B (дуже добре)
71-80			C (добре)
66-70	3 (задовільно)		D (задовільно)
60-65			E (достатньо)
30-59	2 (незадовільно)	Не зараховано	FX (незадовільно - з можливістю повторного складання)
1-29			F (незадовільно - з обов'язковим повторним курсом)