

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

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



**НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНИЙ КОМПЛЕКС ДИСЦИПЛІНИ**

***ФІЗИКА НЕІДЕАЛЬНОЇ ПЛАЗМИ***

**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**

**Експериментальні методи ядерної енергетики: Навчально-методичний комплекс дисципліни. – Київ: ІЯД НАНУ, 2023 . - 32 с.**

**Укладач:** Грицай О.О., кандидат фізико-математичних наук, старший науковий співробітник

Ухвалено на засіданні Вченої ради Інституту ядерних досліджень НАН України

протокол № 6 від “ 5 ” липня 2023 р.

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

**НАВЧАЛЬНА ПРОГРАМА ДИСЦИПЛІНИ**  
***ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ МЕТОДИ ЯДЕРНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ***

**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)*

## I. ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

Програма з курсу «Експериментальні методи ядерної енергетики» 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 НАН України.

Курс «Експериментальні методи ядерної енергетики» є необхідною 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.

Курс «Експериментальні методи ядерної енергетики» викладається на 2 або 3 році навчання в осінньому або весняному семестрі та розрахований на 6 навчальних тижнів (по 4 ауд. год. щотижня; перший тиждень занять – лекційний). Вивчення курсу передбачає аудиторну (лекції – 16 год.; практичні заняття – 8 год.; консультація – 2 год.) і самостійну роботу (34 год.). Загальна кількість годин, відведених на опанування дисципліни – 60 (2 кредити ЄКТС).

**Мета дисципліни** – Метою викладання навчальної дисципліни «Експериментальні методи ядерної енергетики» є надання аспірантам необхідних теоретичних відомостей про типи та основні структурні елементи ядерних енергетичних установок; про методи забезпечення безпечного функціонування ядерних енергетичних установок; необхідних теоретичних відомостей про методи спостереження нейтронів та спектрометрію нейтронів на ядерних енергетичних установках; необхідних відомостей про принципи роботи детекторів, що використовуються при проведенні експериментальних досліджень на ядерних енергетичних установках.

**Завдання** – Основними завданнями вивчення дисципліни «Експериментальні методи ядерної енергетики» є опанування інформації про типи та основні структурні елементи ядерних енергетичних установок, що функціонують в Україні та за кордоном; про методи та підходи, які використовуються для забезпечення контролю та безпечного функціонування ядерних енергетичних установок; необхідних теоретичних відомостей про методи спостереження нейтронів та спектрометрію нейтронів на ядерних енергетичних установках; необхідних відомостей про принципи роботи детекторів, що використовуються на ядерних енергетичних установках.

### **Структура курсу**

“Експериментальні методи ядерної енергетики” включає такі розділи:

- Типи ядерних енергетичних установок та їх основні структурні елементи.

- Фізика ядерного реактора на теплових нейтронах.
- Внутрішньо реакторна дозиметрія.
- Принципи роботи детекторів для внутрішньо реакторної дозиметрії.
- Програма зразків-свідків та моніторинг нейтронного потоку.
- Методика нейтронного контролю на зовнішній поверхні корпусів водододяних енергетичних реакторів АЕС.
- Характеристики детекторів флюєнсу нейтронів.
- Методика визначення відгуку детектора та оцінки характеристик нейтронного поля.

В результаті вивчення навчальної дисципліни аспірант повинен **знати:**

- Принципи дії ядерного реактора на теплових нейтронах.
- Основні принципи безпечного функціонування ядерного реактора.
- Основні методи експериментального визначення потоків нейтронів в реакторі.
- Принципи дії детекторів для реакторної дозиметрії.
- Основні вимоги до засобів та до методики визначення відгуку детектора та оцінки характеристик нейтронного поля на діючих енергетичних установках України.

**вміти :**

- Логічно і послідовно формулювати основні поняття фізики ядерного реактора та реакторної дозиметрії.
- Обгрунтовано вибрати методику та тип детекторів для визначення характеристик нейтронного поля при різних заданих умовах.
- Самостійно опанувувати та використовувати літературу.

**Місце дисципліни** (в структурно-логічній схемі підготовки фахівців відповідного напрямку). Вибіркова навчальна дисципліна «**Експериментальні методи ядерної енергетики**» є складовою циклу професійної підготовки фахівців освітньо-кваліфікаційного рівня «доктор філософії». Система знань, отримана при вивченні даного курсу, є базовою для вивчення таких спеціальних дисциплін як "Основи фізики реакторів", "Сучасні ядерно-фізичні експерименти" тощо, є необхідною для вільного ознайомлення з науковою літературою та при виконанні відповідних кваліфікаційних робіт.

**Зв'язок з іншими дисциплінами.** При вивченні дисципліни «**Експериментальні методи ядерної енергетики**» використовуються знання та вміння, набуті аспірантами під час вивчення курсів загальної фізики, електродинаміки, атомної фізики, статистичної фізики, квантової механіки, основ фізики реакторів, сучасних ядерно-фізичні експериментів, методів розрахунків ядерних реакторів" тощо.

## II. ТЕМАТИЧНИЙ ПЛАН ДИСЦИПЛІНИ

№	Назва теми	Кількість годин				
		Всього	Лекцій	Практичних занять	Самостійна та індиві- дуальна робота	Консуль- тації
	<b>Змістовний модуль</b> Експериментальні методи ядерної енергетики	-	-	-	-	-
	<b>Тема 1.</b> Типи ядерних енергетичних установок та їх основні структурні елементи.	6	2	-	4	-
	<b>Тема 2.</b> Фізика ядерного реактора на теплових нейтронах	10	2	2	6	-
	<b>ТЕМА 3.</b> Внутрішньо реакторна дозиметрія	8	2	2	4	-
	<b>Тема 4.</b> Використання активаційних детекторів для внутрішньо реакторної дозиметрії	8	2	2	4	-
	<b>Тема 5.</b> Програма зразків-свідків та моніторинг нейтронного потоку	8	2	2	4	-
	<b>Тема 6.</b> Методика нейтронного контролю на зовнішній поверхні корпусів водо-водяних енергетичних реакторів АЕС	6	2	-	4	
	<b>Тема 7.</b> Характеристики детекторів флюенсу нейтронів	6	2	-	4	
	<b>Тема 8.</b> Методика визначення відгуку детектора та оцінки характеристик нейтронного поля	6	2	-	4	
	<b>Всього по розділу</b>	58	16	8	34	-
	<b>Іспит</b>	-	-	-	-	2
	<b>Всього</b>	60	16	8	34	2

# ЗМІСТ КУРСУ

## ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ

### Експериментальні методи ядерної енергетики

#### **ТЕМА 1. Типи ядерних енергетичних установок та їх основні структурні елементи**

Опис дисципліни. Мета і завдання курсу. Типи ядерних енергетичних установок та їх основні структурні елементи. Ядерна енергетика у світі. Ядерна енергетика в Україні. Основні структурні елементи водо-водяних енергетичних реакторів АЕС.

#### **ТЕМА 2. Фізика ядерного реактора на теплових нейтронах**

Фізика ядерного реактора на теплових нейтронах. Ланцюгова реакція поділу. Роль запізнених нейтронів. Критичність реактора. Умови безпечного функціонування ядерного реактора.

#### **ТЕМА 3. Внутрішньо реакторна дозиметрія**

Внутрішньо реакторна дозиметрія. Розвиток системи внутрішньо реакторного контролю. Вимоги до контролю та керуванню нейтронним потоком та реактивністю. Детектори прямого заряду. Принцип роботи ДПЗ. Переваги та недоліки ДПЗ. Іонізаційні камери.

#### **ТЕМА 4. Використання активаційних детекторів для внутрішньо реакторної дозиметрії**

Використання активаційних детекторів для внутрішньо реакторної дозиметрії. Принцип роботи активаційних детекторів. Матеріали для активаційних детекторів. Переваги та недоліки використання активаційних детекторів.

#### **ТЕМА 5. Програма зразків-свідків та моніторинг нейтронного потоку**

Програма зразків-свідків та моніторинг нейтронного потоку. Аналіз сучасних методів дозиметрії зразків-свідків, що опромінюються у реакторах ВВЕР. Обґрунтування необхідності визначення величин функціоналів нейтронного потоку на ЗС.

#### **ТЕМА 6. Методика нейтронного контролю на зовнішній поверхні корпусів водо-водяних енергетичних реакторів АЕС**

Методика нейтронного контролю на зовнішній поверхні корпусів водо-водяних енергетичних реакторів АЕС. Основні принципи організації опромінення детекторів флюєнсу нейтронів на зовнішній поверхні корпусів

ВВЕР. Метод нейтронного контролю та основні об'єкти метрологічного забезпечення нейтронно-активаційних вимірів на корпусах ВВЕР.

**ТЕМА 7. Характеристики детекторів флюєнсу нейтронів. Методика визначення відгуку детектора та оцінки характеристик нейтронного поля**

. Вимоги до нейтронно-активаційних засобів вимірів. Вимоги до засобів та до методики вимірювань активності детекторів. Методика визначення відгуку детектора та оцінки характеристик нейтронного поля. Використання результатів вимірів для перевірки обґрунтування флюєнсу швидких нейтронів в критичних точках корпусу ВВЕР.

**ТЕМА 8. Система фізичних бар'єрів. Контроль радіаційного стану активної зони та теплоносія першого контуру реактора.**

Вміст системи фізичних бар'єрів. Оцінка поверхневого забруднення активної зони. Контроль герметичності оболонок тепло-виділяючих збірок. Визначення вмісту технологічних домішок в теплоносії першого контуру. Оцінка вмісту продуктів корозії в теплоносії першого контуру.

## Література

### Основна

1. <http://www.iaea.org/pris/>
2. [www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/iaea-rds-2-30\\_web.pdf](http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/iaea-rds-2-30_web.pdf)
3. [http://ru.wikipedia.org/.../Ядерный\\_реактор](http://ru.wikipedia.org/.../Ядерный_реактор)
4. <http://atomas.ru/vvr/vver4.htm>
5. Широков Ю.М., Юдин Н.П. Ядерная физика М., «Наука», 1980, 729 с.
6. Левин В.Е. Ядерная физика и ядерные реакторы. Учебник для техникумов. М., Атомиздат, 1979, 288 с.
7. Украинцев В.Ф. Эффекты реактивности в энергетических реакторах Обнинск, ИАТЭ, 2000, 60 с.
8. Цвайфель П.Ф. Физика реакторов М., Атомиздат, 1977, 279 с.
9. К.Бекурц, К.Вирц Нейтронная физика. – М.: Атомиздат, 1968. – 456 с.
10. С.С. Ломакин Ядерно-физические методы диагностики и контроля активных зон реакторов АЭС. – М.: Атомиздат, 1986. – 118 с.
11. В.И. Калашникова, М.С. Козодаев Детекторы элементарных частиц, М.: Наука, 1966. — 408 с.
12. В.А. Григорьев и др. Электронные методы ядерно-физического эксперимента, М.: Энергоатомиздат, 1988. — 336 с.
13. А.И. Абрамов, Ю.А. Казанский, Е.С. Матусевич Основы экспериментальных методов ядерной физики.- М.: Энергоатомиздат, 1985. – 488 с.



14. Е.А.Крамер-Агеев, В.Н.Лавренчик, В.Т.Самосадный, В.П.Протасов Экспериментальные методы нейтронах исследований – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 272 с.
15. Е.А.Крамер-Агеев, В.С.Трошин, Е.Г.Тихонов Активационные методы спектрометрии нейтронов– М.: Атомиздат, 1976. – 232 с.
16. [http://www.tehlit.ru/1lib\\_norma\\_doc/47/47019/index.htm](http://www.tehlit.ru/1lib_norma_doc/47/47019/index.htm)
17. *Правила* устройства и безопасной эксплуатации оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок (ПН АЭ Г-7-008-89). - М.: Энергоатомиздат, 1990. - 168 с.

### Додаткова

1. *Regulatory Guide 1.190* Calculational and Dosimetry Methods for Determining Pressure Vessel Neutron Fluence" // US Nuclear Research Commission, 2001.
2. D.W.Vehar, D.G.Gilliam, J.M.Adams, editors Reactor dosimetry 12-th International Simposium, Power Reactor Survalence, ASTM, Mayfield, 2008
3. W.Voorbraak, L.Debarberis, P.D'hondt, J.Wagemans, editors Reactor dosimetry 13-th International Simposium, Power Plant Survalence, Experimental Techniques, World Scientific, 2008
4. Буканов В. Н., Васильева Е. Г., Демехин В. Л., Пугач А. М. Оборудование для дозиметрических измерений у внешней поверхности корпуса ВВЭР-1000 // Зб. наук. праць Ін-ту ядерних досл. - 2005. - № 3 (16). - С. 70 - 78.
5. Пугач А. М., Буканов В. Н., Васильева Е. Г и др. Разработка методических основ системы мониторинга радиационной нагрузки корпуса реактора ВВЭР-440 // Там же. - 2006. - № 2 (18). - С. 64 - 69.

# НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ

## ІНСТИТУТ ЯДЕРНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

### РОБОЧА ПРОГРАМА ДИСЦИПЛІНИ

#### *ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ МЕТОДИ ЯДЕРНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ*

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: 4 Статус курсу: <i>фаховий</i> ( <i>вибірковий</i> ) Кількість ECTS 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: Грицай О.О., кандидат фіз.-мат. наук, старший науковий співробітник

### III. 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.

#### **Заняття 1. Тема 1. Вступ. Типи ядерних енергетичних установок та їх основні структурні елементи.**

План.

1. Опис дисципліни. Мета і завдання курсу.
2. Типи ядерних енергетичних установок та їх основні структурні елементи. Ядерна енергетика у світі.
3. Ядерна енергетика в Україні.
4. Основні структурні елементи водо-водяних енергетичних реакторів АЕС.

#### *Література*

[1- 6]

#### **Заняття 2. Тема 2. Фізика ядерного реактора на теплових нейтронах**

План.

1. Ланцюгова реакція поділу.
2. Роль запізнених нейтронів.
3. Критичність реактора.
4. Умови безпечного функціонування ядерного реактора.

#### *Література*

[4-9]

#### **Заняття 3. Тема 3. Внутрішньо реакторна дозиметрія.**

План.

1. Розвиток системи внутрішньо реакторного контролю.
2. Вимоги до контролю та керуванню нейтронним потоком та реактивністю.
3. Детектори прямого заряду. Принцип роботи ДПЗ. Переваги та недоліки ДПЗ.
4. Іонізаційні камери.

#### *Література*

[6-9, 11]

#### **Заняття 4. Тема 4. Використання активаційних детекторів для внутрішньої реакторної дозиметрії**

План.

1. Принцип роботи активаційних детекторів.
2. Матеріали для активаційних детекторів.
3. Переваги та недоліки використання активаційних детекторів.

#### ***Література***

[10-15]

#### **Заняття 5. Тема 5. Програма зразків-свідків та моніторинг нейтронного потоку.**

План.

1. Аналіз сучасних методів дозиметрії зразків-свідків, що опромінюються у реакторах ВВЕР.
2. Обґрунтування необхідності визначення величин функціоналів нейтронного потоку на ЗС.

#### ***Література***

[16-17]

#### **Заняття 6. Тема 6. Методика нейтронного контролю на зовнішній поверхні корпусів водо-водяних енергетичних реакторів АЕС**

План.

1. Основні принципи організації опромінення детекторів флюенсу нейтронів на зовнішній поверхні корпусів ВВЕР.
2. Метод нейтронного контролю та основні об'єкти метрологічного забезпечення нейтронно-активаційних вимірів на корпусах ВВЕР.

#### ***Література***

[16-17]

#### **Заняття 7. Тема 7. Характеристики детекторів флюенсу нейтронів. Методика визначення відгуку детектора та оцінки характеристик нейтронного поля.**

План.

1. Вимоги до нейтронно-активаційних засобів вимірів.
2. Вимоги до засобів та до методики вимірювань активності детекторів.

3. Методика визначення відгуку детектора та оцінки характеристик нейтронного поля.
4. Використання результатів вимірів для перевірки обґрунтування флюенсу швидких нейтронів в критичних точках корпусу ВВЕР.

### *Література*

[16- 17]

### **Заняття 8. Тема 8. Система фізичних бар'єрів. Контроль радіаційного стану активної зони та теплоносія першого контуру реактора.**

План.

1. Вміст системи фізичних бар'єрів.
2. Оцінка поверхневого забруднення активної зони.
3. Контроль герметичності оболонок тепло-виділяючих збірок.
4. Визначення вмісту технологічних домішок в теплоносії першого контуру.
5. Оцінка вмісту продуктів корозії в теплоносії першого контуру.

### *Література*

[18].

## **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 та проведення розрахунків.

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 навиків 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;
- розв'язання задач аналітичного характеру;
- розв'язання задач обчислювального характеру;
- виконання контрольних робіт за індивідуальним завданням;
- перевірка практичних завдань, виконаних аспірантами під час самостійної роботи;
- проведення консультацій з дисципліни;

### **Практичне заняття 1. Тема 1. Типи ядерних енергетичних установок та їх основні структурні елементи**

**Завдання і контрольні запитання:**

1. Типи ядерних енергетичних установок, що використовуються на АЕС в Україні?
2. Типи ядерних енергетичних установок, що використовуються на АЕС у світі?
3. Чому саме цирконій використовується для оболонки твелів?
4. Чому вода може використовуватися як відбивач та уповільнювач? Чи може використовуватись вода як поглинач?
5. Чому для регулюючих стержнів використовують боровану сталь чи карбід бору ( $B_4C$ )?

Питання для самостійного поглибленого вивчення (теми доповідей):

1. Історія розвитку атомної енергетики. Ядерна енергетика у світі та в Україні.
2. Типи ядерних енергетичних установок, що використовуються на АЕС у світі. Основні відмінності.
3. Основні структурні елементи водо-водяних енергетичних реакторів АЕС.
4. Особливості ядерного реактора як джерела теплоти, фізичне обґрунтування функціонування ядерних реакторів

**Література:**

Основна: [1-6].

### **Практичне заняття 2. Тема 2. Фізика ядерного реактора на теплових нейтронах**

**Завдання і контрольні запитання:**

1. Спектр Уатта?
2. Назвіть основні процеси, що відбуваються з нейтронами в реакторі.

3. Переліchte умови безпечного функціонування ядерного реактора.
4. Ланцюгова реакція поділу?
5. Роль запізнених нейтронів?
6. Критичність реактора?

***Література:***

Основна: [4-9].

**Практичне заняття 3. ТЕМА 3. Внутрішньо реакторна дозиметрія**

**Завдання і контрольні запитання:**

1. Як відбувався розвиток системи внутрішньо реакторного контролю?
2. Які вимоги до контролю та керуванню нейтронним потоком та реактивністю?
3. Детектори прямого заряду. Який принцип роботи ДПЗ? Який струм в ДПЗ?
4. Які переваги та недоліки ДПЗ?
5. Для чого використовуються іонізаційні камери? Які переваги та недоліки?

Питання для самостійного поглибленого вивчення (теми доповідей):

1. Система внутрішньо реакторного контролю в Україні і світі.
2. Матеріали для ДПЗ.

***Література:***

Основна: [6 -9, 11]

**Практичне заняття 4. ТЕМА 4. Використання активаційних детекторів для внутрішньо реакторної дозиметрії.**

**Завдання і контрольні запитання:**

1. Який принцип роботи активаційних детекторів?
2. Які матеріали використовуються для активаційних детекторів?
3. Які переваги та недоліки використання активаційних детекторів?

***Література:***

Основна: [10 - 15]

Питання для самостійного поглибленого вивчення (теми доповідей):

1. Матеріали для активаційних детекторів, що використовуються в Україні та світі.

## **Практичне заняття 5. ТЕМА 5. Програма зразків-свідків та моніторинг нейтронного потоку**

### **Завдання і контрольні запитання:**

1. Навіщо та яким чином використовуються зразки-свідки?
2. Які функціонали нейтронного потоку визначаються на зразках-свідках?
3. Які проблеми виникали та виникають при використанні зразків-свідків?

### ***Література:***

Основна: [10 - 15]

Питання для самостійного поглибленого вивчення (теми доповідей):

1. Використанні зразків-свідків в Україні та світі.

## **Практичне заняття 6. ТЕМА 6. Методика нейтронного контролю на зовнішній поверхні корпусів водо-водяних енергетичних реакторів АЕС**

### **Завдання і контрольні запитання:**

1. Навіщо та яким чином виконується нейтронний контроль на зовнішній поверхні корпусів водо-водяних енергетичних реакторів АЕС України?
2. Які переваги методики нейтронного контролю на зовнішній поверхні корпусів?

### ***Література:***

Основна: [10 - 15]

Питання для самостійного поглибленого вивчення (теми доповідей):

1. Нейтронний контроль на зовнішній поверхні корпусів в Україні та світі.

## **Практичне заняття 7. ТЕМА 7. Характеристики детекторів флюенсу нейтронів. Методика визначення відгуку детектора та оцінки характеристик нейтронного поля**

### **Завдання і контрольні запитання:**

1. Які вимоги до нейтронно-активаційних засобів вимірів?
2. Які вимоги до методики вимірювань активності детекторів?
3. Що являє собою методика визначення відгуку детектора та оцінки характеристик нейтронного поля?



4. В яких критичних точках корпусів ВВЕР проводяться виміри флюенсу нейтронів?

***Література:***

Основна: [16 - 17]

**Практичне заняття 8. Тема 8. Система фізичних бар'єрів. Контроль радіаційного стану активної зони та теплоносія першого контуру реактора.**

**Завдання і контрольні запитання:**

1. Який вміст системи фізичних бар'єрів?
2. Які нукліди використовують для оцінки поверхневого забруднення активної зони?
3. Які нукліди використовують для контролю герметичності оболонок тепло-виділяючих збірок?
4. Які нукліди використовують для визначення вмісту технологічних домішок в теплоносії першого контуру?
5. Які нукліди використовують для оцінки вмісту продуктів корозії в теплоносії першого контуру?

***Література***

[18].

## **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 on-line інформацією) і т. ін.

### ЗМІСТ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ

№ теми	Завдання	Література	Форма контролю
1	Типи ядерних енергетичних установок та їх основні структурні елементи. Ядерна енергетика у світі. Ядерна енергетика в Україні. Основні структурні елементи вододіючих енергетичних реакторів АЕС.	1- 6	Опитування, виступи в аудиторії, розв'язання задач в аудиторії, перевірка самостійного розв'язання задач.
2	Фізика ядерного реактора на теплових нейтронах. Ланцюгова реакція поділу. Роль запізнених нейтронів. Критичність реактора. Умови безпечного функціонування ядерного реактора.	4-9	Опитування, виступи в аудиторії, розв'язання задач в аудиторії, перевірка самостійного розв'язання задач.
3	Внутрішньо реакторна дозиметрія. Розвиток системи внутрішньо реакторного контролю. Вимоги до контролю та керуванню нейтронним потоком та реактивністю. Детектори прямого заряду. Принцип роботи ДПЗ. Переваги та недоліки ДПЗ. Іонізаційні камери.	6-9, 11	Опитування, виступи в аудиторії, розв'язання задач в аудиторії, перевірка самостійного розв'язання задач.

4	Використання активаційних детекторів для внутрішньої реакторної дозиметрії. Принцип роботи активаційних детекторів. Матеріали для активаційних детекторів. Переваги та недоліки використання активаційних детекторів.	10-15	Опитування, виступи в аудиторії, розв'язання задач в аудиторії, перевірка самостійного розв'язання задач.
5	Програма зразків-свідків та моніторинг нейтронного потоку. Аналіз сучасних методів дозиметрії зразків-свідків, що опромінюються у реакторах ВВЕР. Обґрунтування необхідності визначення величин функціоналів нейтронного потоку на ЗС.	16-17	Опитування, виступи в аудиторії.
6	Методика нейтронного контролю на зовнішній поверхні корпусів вододіагностичних енергетичних реакторів АЕС. Основні принципи організації опромінення детекторів флюенсу нейтронів на зовнішній поверхні корпусів ВВЕР. Метод нейтронного контролю та основні об'єкти метрологічного забезпечення нейтронно-активаційних вимірів на корпусах ВВЕР.	16-17	Опитування, виступи в аудиторії.
7	Характеристики детекторів флюенсу нейтронів. Вимоги до засобів та до методики вимірювань активності детекторів. Методика визначення відгуку детектора та оцінки характеристик нейтронного поля. Використання результатів вимірів для перевірки обґрунтування флюенсу швидких нейтронів в критичних точках корпусу ВВЕР.	16-17	Опитування, виступи в аудиторії.

8	Система фізичних бар'єрів. Контроль радіаційного стану активної зони та теплоносія першого контуру реактора. Оцінка поверхневого забруднення активної зони. Контроль герметичності оболонок тепло-виділяючих збірок. Визначення вмісту технологічних домішок в теплоносії першого контуру. Оцінка вмісту продуктів корозії в теплоносії першого контуру.	18	Опитування, виступи в аудиторії.
---	--	----	----------------------------------

### ОБСЯГ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ

№	Назва теми	Кількість годин
1.	Підготовка до поточних практичних занять	9
2.	Виконання поточних практичних завдань	14
3.	Опанування матеріалів лекцій та додаткових питань із застосування основної та додаткової літератури	9
4.	Індивідуальні консультації з викладачем	2
	<b>ВСЬОГО</b>	<b>34</b>

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

1. Чому саме цирконій використовується для оболонки твелів?
2. Чому вода може використовуватися як відбивач та уповільнювач? Чи може використовуватись вода як поглинач?
3. Порахувати, яка енергія виділиться при розпаді ядра  $^{235}\text{U}$  на  $^{98}\text{Zr}$  та  $^{135}\text{Te}$

$$^{98}\text{Zr} \epsilon_{\text{ЗВ}} = 8.6 \text{ МеВ/нуклон}$$

$$^{135}\text{Te} \epsilon_{\text{ЗВ}} = 8.2 \text{ МеВ/нуклон}$$

$$^{235}\text{U} \epsilon_{\text{ЗВ}} = 7.6 \text{ МеВ/нуклон}$$

4. Чи можливі розпади  $^{235}\text{U}$  за наступними схемами? Яка енергія виділиться при розпаді (чи могла виділитися, якщо б розпад був можливим)?

92- U-235 > 56-Ba-144 36-Kr-89  
 92- U-235 > 54-Xe-140 38-Sr-94  
 92- U-235 > 54-Xe-139 38-Sr-95  
 92- U-235 > 55-Cs-140 37-Rb-94  
 92- U-235 > 82-Pb-215 10-Ne-20  
 92- U-235 > 53-I-144 38-Sr-91  
 92- U-235 > 80-Hg-207 12-Mg-28  
 92- U-235 52-Te-140 40-Zr-99  
 92- U-235 57-La-139 37-Rb-94  
 92- U-235 56-Ba-141 36-Kr-94  
 92- U-235 82-Pb-215 10-Ne-19

Питому енергію зв'язку можна знайти на сайті:

[http://cdfesinp.msu.ru/services/calc\\_thr/calc\\_thr\\_ru.html](http://cdfesinp.msu.ru/services/calc_thr/calc_thr_ru.html)

5. Записати аналітичний вираз для функції, визначеної в енергетичних межах  $1 \div 5$  eВ, якщо відомі значення функції  $f_i(E_i)$  в 5-ти точках (див. Рис. 1), а значення енергії задаються в eВ.

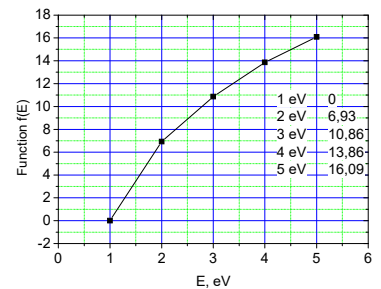


Рисунок 1.

6. Записати аналітичний вираз для функції, визначеної в енергетичних межах  $1 \div 5$  eВ, якщо відомі значення функції  $f_i(E_i)$  в 5-ти точках (див. Рис. 1), а значення енергії задаються в кеВ.

Підказка. Графік цієї ж залежності  $f_i(E_i)$  представлено також на Рис.2, але вісь X вибрано не лінійною

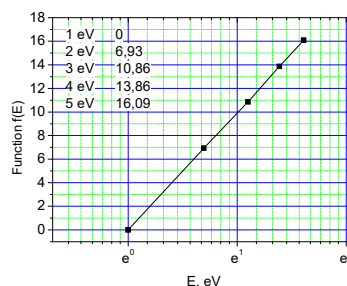


Рисунок 2.

7. Чому для регулюючих стержнів використовують боровану сталь чи карбід бору ( $B_4C$ )?
8. Скільки утвориться запізнілих нейтронів поділу кожної групи та загальна кількість запізнілих нейтронів поділу, якщо при поділі  $^{235}U$  утворилося 100 000 нейтронів (критичний реактор нескінченного розміру – ідеалізований варіант) ?
9. Скільки утвориться миттєвих нейтронів поділу?

Ядро	$T_{1/2}$	$N_{грj}$	$u_{грj}$	$T_{1/2грj}$	Абс. доля вих. гр. $\beta_j = u_j p_{\beta j} / (v_p + v_d)$ $\beta = \beta_1 + \dots + \beta_6$ $p_{\beta j}$ - ймов. $\beta_j$ - розпаду
87Br	54 с	1	0.00052	55.72 с	0.00021
142Cs	66 с				
137I	24.2 с	2	0.00346	22.72 с	0.00140
93Br	15.5 с				
136Te	20.0 с				
138I	5.9 с	3	0.00310	6.22 с	0.00126
89Br	3.9 с				
139I	2.7 с	4	0.00624	2.30 с	0.00253
94Kr	1.4 с				
144Cs	1.9 с				
140I	0.5 с	5	0.00182	0.50 с	0.00074
93Br	0.16 с	6	0.00066	0.18 с	0.00027
145Cs	0.19 с				
					Сума=0.00641

10. Енергії запізнілих нейтронів  
0.25 MeV (1гр.); 0.56 MeV (2); 0.43 MeV (3); ? (4); 0.42 MeV (5); 0.63 MeV (6),  
середня енергія = 0.49 MeV, тобто  $\approx 0.5$  MeV  
Яка середня енергія для 4-ої групи?

11. Які швидкість нейтронів  $v$  з енергіями (км/сек)?

- $E_n$
- 0.0253 eV (thermal point)
  - 6 eV
  - 600 eV
  - 0.5 MeV
  - 0.71 MeV В спектрі поділу  $U^{235}$  повільними  $n$  з такою енергією найбільше  $n$
  - 1 MeV
  - 2 MeV Середня енергія  $n$  в спектрі поділу  $U^{235}$  повільними  $n$
  - 10 MeV
- } інтервал енергій резонансного захоплення  $n$  ядрами урану-238

9. 20 MeV  
10. 0.3 eV (Cd межа)

12. Оцінити, який струм може виникнути в ДПЗ.

Покладемо  $k=1, \alpha=8\%$  (з досліджень).

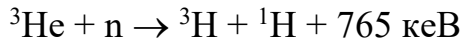
Щільність нейтронного потоку  $10^{14} \text{н}/(\text{см}^2 \text{с})$ ,

час опромінення  $t=4000 \text{ с}$ ,  $d=0.5 \text{ мм}$ ,  $L=200 \text{ мм}$ ,  $\rho=12.41 \text{ г}/\text{см}^3$ ,

постійні розпаду  $^{104g}_{45}\text{Rh}$  та  $^{104m}_{45}\text{Rh}$   $\lambda_g=0.016 \text{ с}^{-1}$ ,  $\lambda_m=0.003 \text{ с}^{-1}$ ,

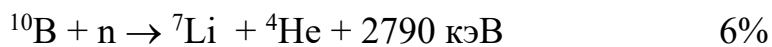
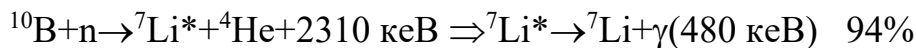
перерізи утворення  $^{104g}_{45}\text{Rh}$  та  $^{104m}_{45}\text{Rh}$  в реакції  $^{103}_{45}\text{Rh}(n, \gamma)$   $\sigma_g=133 \text{ барн}$ ,  
 $\sigma_m=11 \text{ барн}$ .

13. Намалювати апаратурний спектр  $A(E)$ , що утворюється при використанні ІК, наповненої  $^3\text{He}$



765кеВ ділиться між тритоном та протоном ( $E_p \sim 1/m_p$ ,  $E_t \sim 1/m_t \Rightarrow E_t < E_p$ ).

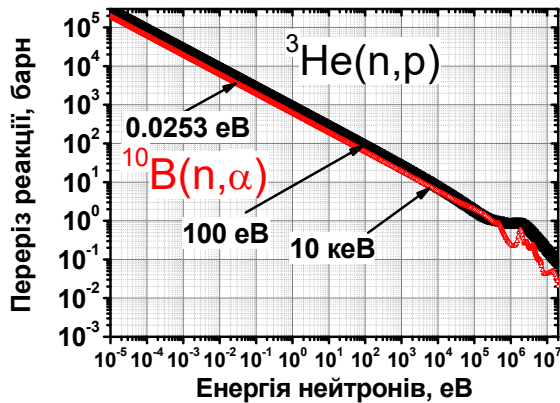
14. Намалювати апаратурний спектр  $A(E)$ , що утворюється при використанні ІК, наповненої  $^{10}\text{B}$



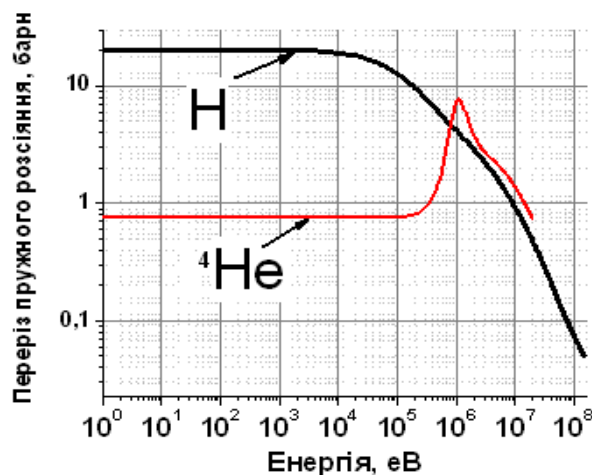
15. При  $E_n=0,0253 \text{ еВ}$  переріз реакції  $^3\text{He}(n, p)$   $\sigma=5316 \text{ барн}$ , ефективність реєстрації нейтронів з енергією  $0.0253 \text{ еВ}$  за допомогою цієї реакції  $\varepsilon=80\%$ . Визначити ефективність реєстрації нейтронів з енергіями :

1. 1 eV
2. 10 eV
3. 50 eV
4. 200 eV
5. 100 кеВ
6. 0.7 MeV
7. 2 MeV
8. 10 MeV
9. 20 MeV

Дані для  $\sigma(E)$  взяти з Workbook (Book1) наведеного рисунку або з файлу he3\_nr.



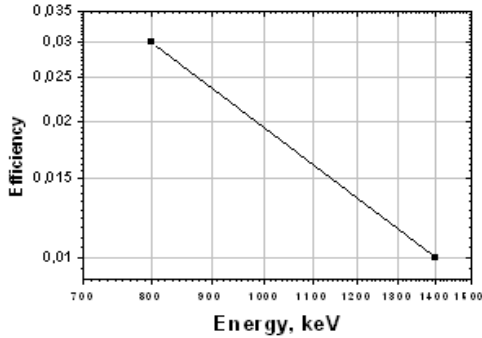
16. Враховуючи залежність реакції пружного розсіяння від енергії для  $^1\text{H}$  та  $^4\text{He}$ , який з детекторів буде мати кращу ефективність реєстрації нейтронів з енергіями  $<500$  кеВ?



17. Намалювати апаратний спектр  $A(E)$ , що утворюється при використанні водневого лічильника
18. Визначити щільність нейтронного потоку, якщо при опроміненні протягом  $t_{\text{ir}}=200$  діб використовувались зразки-індикатори діаметром  $d=1$  см, товщиною  $h=1$  мм. Ефективність детектора  $\varepsilon_1=0.03$  для  $E_{\gamma}=800$  кеВ. Ефективність детектора  $\varepsilon_2=0.01$  для  $E_{\gamma}=1400$  кеВ. Вважати, що ефективність при проміжних значеннях енергії лежить на прямій, представленої на рисунку. Поглинанням  $\gamma$  квантів у зразку знехтувати. Характеристики зразків-індикаторів та площі під піками повного поглинання, виміряні після часу витримки  $t_w=1$  тиждень за час виміру  $t_m=30$  хвилин, представлено у таблиці. Для спрощення  $A$  брати рівним атомному номеру ізотопа.



Реакція	Abundance, %	T <sub>1/2</sub>	<σ <sub>акт</sub> > по спектру <sup>235</sup> U	Енергія γ, кеВ	Квантовий вихід, %	А прир.	ρ, г/см <sup>3</sup>
<sup>54</sup> Fe(n,p) <sup>54</sup> Mn	5.85	312.3 діб	78.7 мбн	834.848	99.976	55.845	7.874
<sup>63</sup> Cu(n,α) <sup>60</sup> Co	69.17	5.27 років	0.562 мбн	1173.228 1332.492	99.85 99.9826	63.546	8.96
<sup>58</sup> Ni(n,p) <sup>58</sup> Co	68.08	70.86 діб	102 мбн	810.759	99.45	58.6934	8.902



№	Зразок - індикатор	Вміст ізоотопу, %	Енергія γ, кеВ	S±Δ S	ε	N <sub>o</sub>	A (t <sub>w</sub> =0)	F ±dF
1	<sup>54</sup> Fe	100	834.848	20 000±100				
2	<sup>54</sup> Fe	5.85	834.848	20 000±100				
3	<sup>54</sup> Fe	75	834.848	20 000±100				
4	<sup>63</sup> Cu	100	1173.228	40 000±100				
5	<sup>63</sup> Cu	69.17	1173.228	40 000±100				
6	<sup>63</sup> Cu	80	1173.228	40 000±100				
7	<sup>58</sup> Ni	100	810.759	50 000±100				
8	<sup>58</sup> Ni	68.08	810.759	50 000±100				
9	<sup>58</sup> Ni	80	810.759	50 000±100				
10	<sup>58</sup> Ni	90	810.759	50 000±100				

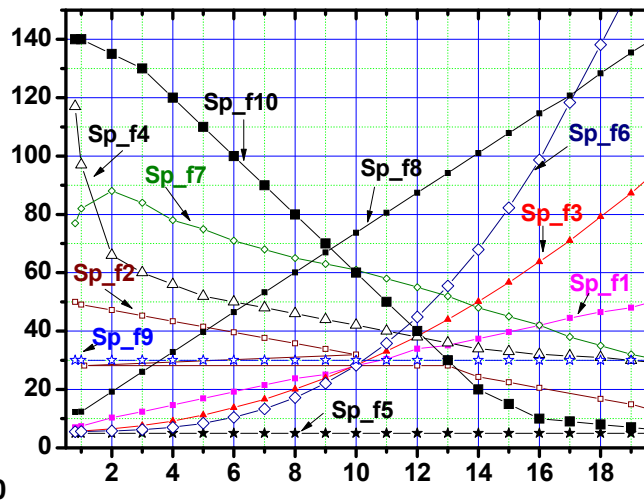
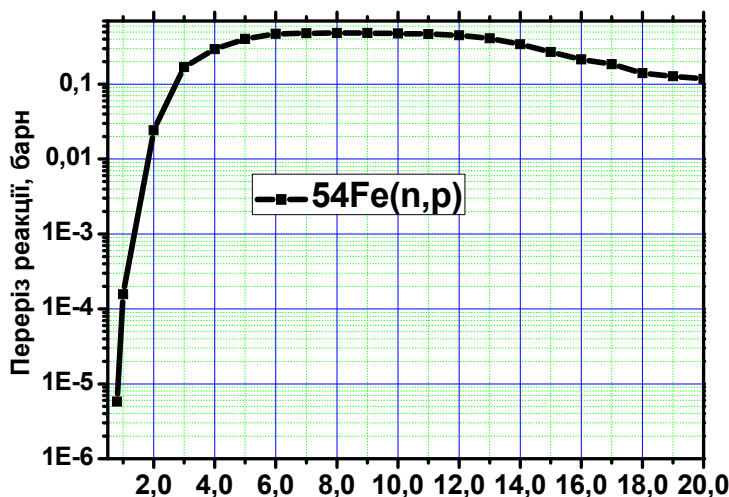
При обчисленнях обов'язково привести значення ефективності детектора.

19. Яка повинна бути площа під піком 1173.228 кеВ при визначенні ЩНП з використанням реакції <sup>63</sup>Cu(n,α)<sup>60</sup>Co, якщо площа під піком 1332.492 кеВ

S±Δ S=?

№	S±Δ S (1332.492 кеВ)	№	S±Δ S (1332.492 кеВ)	S±Δ S (1173.228 кеВ) ?
1	10 000±50	6	30 000±200	
2	10 000±100	7	40 000±100	
3	20 000±100	8	40 000±200	
4	20 000±150	9	50 000±100	
5	30 000±100	10	50 00±200	

20. Визначити ефективний переріз реакції <sup>54</sup>Fe(n,p)<sup>54</sup>Mn



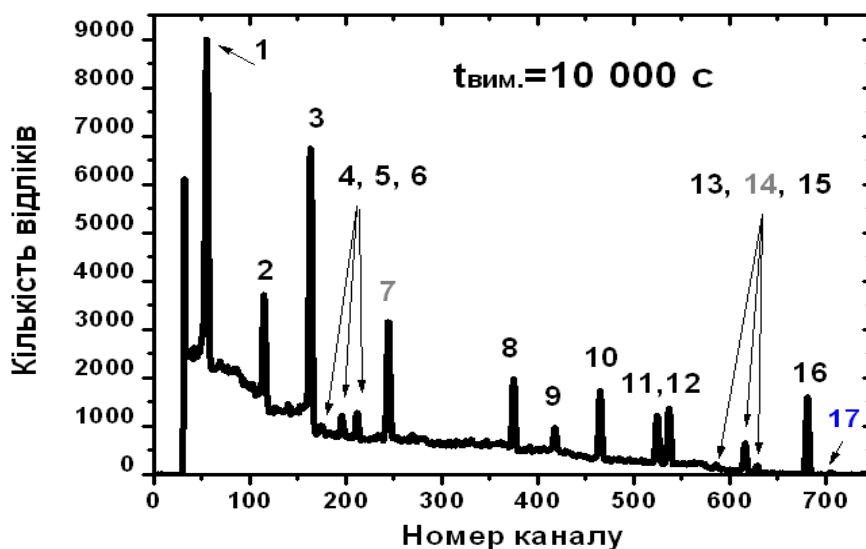
Дані для перерізу реакції  $^{54}\text{Fe}(n,p)^{54}\text{Mn}$   $\sigma(E)$  взяти з файлу CS-54Fe\_пр.

Дані для інтенсивності спектрів  $\varphi(E)$  взяти з файлів sp1, sp2, ..., sp10.

Значення перерізів  $\sigma(E)$  та інтенсивності спектрів  $\varphi(E)$  при проміжних значеннях енергії (між двома сусідніми значеннями енергії) відповідають лінійно-лінійному закону інтерполяції.

21. Порахувати груповий переріз, усереднений по спектру, для 3-х груп.  
 Межі 1-ої групи:  $E_{\text{мін}}=6$  МеВ,  $E_{\text{макс}}=6,001$  МеВ;  
 межі 2-ої групи:  $E_{\text{мін}}=6,001$  МеВ,  $E_{\text{макс}}=6,005$  МеВ;  
 межі 3-ої групи:  $E_{\text{мін}}=6,005$  МеВ,  $E_{\text{макс}}=15$  МеВ.

22. Знайти ефективність детектора для енергій гамма-квантів 1-3, 8, 10-12, 16. Похибку визначення  $I_\gamma$  задано в Таблиці 2 у вигляді  $I_\gamma \Delta I_\gamma$ , наприклад  $106.77_{21}$  означає  $106.77 \pm 0.21$ , аналогічно задано похибку для  $k$ .



При розрахунках похибки визначення ефективності  $\epsilon$  врахувати всі відомі похибки ( $\Delta S$ ,  $\Delta I_\gamma$ ,  $\Delta k$ ,  $\Delta T_{1/2}$ ). Оцінити внесок кожної з похибок у повну похибку. Активність ЗСГВ Eu152 на момент початку вимірів – 20 кБк.

Таблиця 1

№вар.	№ лінії	Енергія, кеВ	S	Фон	$\Delta S/S, \%$
1	1	121.7817	20140	27971	1.37
2	2	244.6975	7582	16554	2.66
3	3	344.2785	19404	14751	1.14
	4	367.7887	685	9249	20.22
	5	411.1163	1461	7851	8.97
	6	443.965	1847	8151	7.29
	7	511.01	8529	9558	1.95 Na-22
4	8	778.9040	4899	6105	2.67
	9	867.373	1783	5883	6.53
5	10	964.079	4932	3684	2.25
6	11	1085.869	3589	2961	2.72
7	12	1112.069	4192	2574	2.31
8	13	1212.948	366	1287	14.81
	14	1274.08	2045	798	2.95 Na-22
9	15	1299.140	525	491	7.39
10	16	1408.006	4966	813	1.63
	17	1458.34	134	87	13,.10 K-40

Дані для  $I_\gamma$  взято з ENSDF (<http://www.nndc.bnl.gov/ensdf/>)

Таблиця 2

№	Енергія, кеВ	$I_\gamma, \%$	Мода розпаду
1	121.7817 <sub>3</sub>	106.77 <sup>#</sup> <sub>21</sub>	<sup>152</sup> Sm ( <sup>152</sup> Eu $\epsilon$ Decay (13.537 <sub>6</sub> y))
2	244.6975 <sub>8</sub>	28.33 <sup>#</sup> <sub>7</sub>	<sup>152</sup> Sm ( <sup>152</sup> Eu $\epsilon$ Decay (13.537 y))
3	344.2785 <sub>12</sub>	100.00* <sub>16</sub>	<sup>152</sup> Gd ( <sup>152</sup> Eu $\beta^-$ Decay (13.537 y))
4	367.7887 <sub>16</sub>	3.245* <sub>18</sub>	<sup>152</sup> Gd ( <sup>152</sup> Eu $\beta^-$ Decay (13.537 y))
5	411.1163 <sub>11</sub>	8.424* <sub>16</sub>	<sup>152</sup> Gd ( <sup>152</sup> Eu $\beta^-$ Decay (13.537 y))
6	443.965 <sub>3</sub>	10.54 <sup>#</sup> <sub>7</sub>	<sup>152</sup> Sm ( <sup>152</sup> Eu $\epsilon$ Decay (13.537 y))
8	778.9040 <sub>18</sub>	48.80* <sub>7</sub>	<sup>152</sup> Gd ( <sup>152</sup> Eu $\beta^-$ Decay (13.537 y))
9	867.373 <sub>3</sub>	15.86 <sup>#</sup> <sub>7</sub>	<sup>152</sup> Sm ( <sup>152</sup> Eu $\epsilon$ Decay (13.537 y))
10	964.079 <sub>3</sub>	54.56 <sup>#</sup> <sub>8</sub>	<sup>152</sup> Sm ( <sup>152</sup> Eu $\epsilon$ Decay (13.537 y))
11	1085.869 <sub>24</sub>	38.13 <sup>#</sup> <sub>8</sub>	<sup>152</sup> Sm ( <sup>152</sup> Eu $\epsilon$ Decay (13.537 y))
	1089.737 <sub>5</sub>	6.513* <sub>24</sub>	<sup>152</sup> Gd ( <sup>152</sup> Eu $\beta^-$ Decay (13.537 y))
12	1112.069 <sub>3</sub>	50.97 <sup>#</sup> <sub>8</sub>	<sup>152</sup> Sm ( <sup>152</sup> Eu $\epsilon$ Decay (13.537 y))
13	1212.948 <sub>11</sub>	5.312 <sup>#</sup> <sub>24</sub>	<sup>152</sup> Sm ( <sup>152</sup> Eu $\epsilon$ Decay (13.537 y))
15	1299.140 <sub>9</sub>	6.12* <sub>3</sub>	<sup>152</sup> Gd ( <sup>152</sup> Eu $\beta^-$ Decay (13.537 y))
16	1408.006 <sub>3</sub>	78.48 <sup>#</sup> <sub>8</sub>	<sup>152</sup> Sm ( <sup>152</sup> Eu $\epsilon$ Decay (13.537 y))

Для отримання абсолютної інтенсивності на 100 розпадів потрібно помножити на <sup>#</sup>

k=0.2685<sub>13.</sub>, \* k=0.266<sub>3.</sub>

23. Знайти коефіцієнти для аналітичного виразу, скористатися лініями

- 1 244.6975 кеВ, 778.9040 кеВ, 1212.948 кеВ
- 2 344.2785 кеВ, 778.9040 кеВ, 1212.948 кеВ
- 3 244.6975 кеВ, 778.9040 кеВ, 1408.006 кеВ
- 4 244.6975 кеВ, 964.079 кеВ, 1212.948 кеВ
- 5 344.2785 кеВ, 778.9040 кеВ, 1299.140 кеВ
- 6 344.2785 кеВ, 778.9040 кеВ, 1408.006 кеВ

7	244.6975 кеВ, 964.079 кеВ, 1212.948 кеВ
8	244.6975 кеВ, 778.9040 кеВ, 1299.140 кеВ
9	244.6975 кеВ, 1212.948 кеВ, 1408.006 кеВ
10	344.2785 кеВ, 964.079 кеВ, 1212.948 кеВ

24. Знайти відхилення  $\epsilon_{\text{експ.}}$  (отримане з експ.) -  $\epsilon_{\text{розра.}}$  (отримане з кривої) та  $(\epsilon_{\text{експ.}} - \epsilon_{\text{розра.}}) / \epsilon_{\text{експ.}} * 100\%$  та пояснити причину отриманого відхилення

- 1 121.7817 кеВ
- 2 244.6975 кеВ
- 3 344.2785 кеВ
- 4 778.9040 кеВ
- 5 964.079 кеВ
- 6 1085.869 кеВ
- 7 1112.069 кеВ
- 8 1212.948 кеВ
- 9 1299.140 кеВ
- 10 1408.006 кеВ

## 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, колоквіуму та контрольної роботи (плюс показники відвідування лекційних та практичних занять) і нараховується 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. Історія розвитку атомної енергетики.
2. Ядерна енергетика у світі та в Україні.
3. Ядерні блоки в Україні: місця розташування АЕС в Україні, тип ядерних реакторів та потужність блоків.
4. Типи ядерних реакторів (дати коротку інформацію про кожний тип).
5. Особливості ядерного реактора як джерела теплоти, фізичне обґрунтування процесів, що відбуваються в реакторі.
6. Основні структурні елементи водо-водяних енергетичних реакторів АЕС.
7. Схема роботи атомної електростанції з реактором та основні конструкційні елементи ВВР-1000.
8. Будова та принцип роботи енергетичних ядерних реакторів.
9. Система управління та контролю реактора. Параметри, що контролюються.
10. Паливо в ядерних теплових реакторах. Умови, які повинні виконуватись, щоб працював реактор.
11. Процес поділу ядра  $^{235}\text{U}$ -урану тепловими нейтронами. Запізнілі нейтрони. Спектр нейтронів поділу (миттєвих та запізнілих).
12. Покоління нейтронів в реакторі. Процеси, що відбуваються з нейтронами в реакторі.
13. Процеси, що призводять до щезання нейтронів в середовищі АЗР. Що треба враховувати при розгляді швидкості генерації нейтронів в 1 об'єму?
14. Ланцюгова реакція поділу.
15. Спектр теплового реактора. Нейтронний цикл. Основні фізичні процеси в реакторі.
16. Уповільнення та дифузія нейтронів в реакторі. Спектр нейтронів в реакторі.
17. Критичний, надкритичний, підкритичний реактор. Ефективний коефіцієнт розмноження нейтронів в реакторі. Надлишковий коефіцієнт розмноження. Реактивність реактора.

18. Елементарне рівняння кинетики реактора. Середній час життя покоління нейтронів. Пояснити, в чому цінність запізнілих нейтронів.
19. Потужність реактора. Умови роботи реактора на постійному рівні потужності. Критичність реактора. Умови підтримання реактора в критичному стані.
20. Розвиток системи внутрішньо реакторного контролю.
21. Детектори прямого заряду. Типи та принцип дії. Конструкція детекторів прямого заряду.
22. Переваги та недоліки детекторів прямого заряду.
23. Іонізаційні камери. Де і для чого використовуються. Вимоги до ІК. Чутливість іонізаційних камер.
24. Реєстрації повільних нейтронів за допомогою іонізаційних камер. Апаратурні спектри. Чутливість. Ефективність.
25. Реєстрації швидких нейтронів за допомогою іонізаційних камер. Апаратурні спектри. Чутливість. Ефективність.
26. Метод активації. Основні принципи та формули.
27. Метод активації. Умова: час опромінення  $\gg$  періоду напіврозпаду. Умови використання.
28. Метод активації. Умова: час опромінення  $\ll$  періоду напіврозпаду. Умови використання.
29. Матеріали-р/а індикатори, що використовують на Українських АЕС. Основні характеристики.
30. Вплив опромінення на корпус реактора. Оцінка стану корпусу реактора.
31. Використання активаційних детекторів для внутрішньо реакторної дозиметрії.
32. Принцип роботи активаційних детекторів для внутрішньо реакторної дозиметрії.
33. Матеріали для активаційних детекторів. Вимоги до матеріалів-р/а індикаторів.
34. Переваги та недоліки використання активаційних детекторів.
35. Система внутрішньореакторного контролю реактора (СВРК 1-го, 2-го, 3-го покоління).
36. Програма зразків-свідків та моніторинг нейтронного потоку.
37. Штатна програма зразків-свідків на АЕС. Визначення щільності потоку нейтронів. Ефективний переріз. Спектральний індекс.
38. Сучасні методи дозиметрії зразків-свідків, що опромінюються у реакторах ВВЕР.
39. Обґрунтування необхідності визначення величин функціоналів нейтронного потоку на зразках-свідках.
40. Методика нейтронного контролю на зовнішній поверхні корпусів вододіючих енергетичних реакторів АЕС.
41. Основні принципи організації опромінення детекторів флюєнсу нейтронів на зовнішній поверхні корпусів ВВЕР.

42. Дозиметричні виміри в навколо-корпусному просторі реакторів на АЕС. Розміщення нейтронних активаційних детекторів.
43. Метод нейтронного контролю та основні об'єкти метрологічного забезпечення нейтронно-активаційних вимірів на корпусах ВВЕР.
44. Характеристики детекторів флюєнсу нейтронів.
45. Вимоги до нейтронно-активаційних засобів вимірів.
46. Вимоги до засобів та до методики вимірювань активності детекторів.
47. Методика визначення відгуку детектора та оцінки характеристик нейтронного поля.
48. Використання результатів вимірів для перевірки обґрунтування флюєнсу швидких нейтронів в критичних точках корпусу ВВЕР
49. Визначення вмісту технологічних домішок в теплоносії першого контуру (ТПК). Контроль аерозольних викидів, обумовлених негерметичністю першого контуру.
50. Оцінка поверхневого забруднення АЗ.
51. Контроль герметичності оболонок ТВЗ. Переваги використання ІРГ для контролю герметичності оболонок ТВЗ.

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

Рівень поточних знань аспірантів 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 р</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)

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

За шкалою університету	За національною шкалою		За шкалою ECTS
	Іспит	Залік	
91 – 100	5 (відмінно)	Зараховано	A (відмінно)
81 – 90	4 (добре)		B (дуже добре)
71 – 80			C (добре)
66 – 70			3 (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)