

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

**ПРОГРАМА, МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ  
ТА КОНТРОЛЬНІ ЗАВДАННЯ  
ДО КУРСУ «ФІЗИКА РЕАКТОРІВ»**

**для студентів спеціальності 7.090505  
усіх форм навчання**

Затверджено  
редакційно-видавничою  
радою університету,  
протокол № 2 від 27. 06 .08.

Програма, методичні вказівки та контрольні завдання за курсом «Фізика реакторів» для студентів спеціальності 7.090505 «Котли і реактори» з усіх форм навчання / Уклад.: Тютюнник Л. І., Налізко О. В. – Харків: НТУ «ХП», 2008. – 32 с.

Укладач: Л. І. Тютюнник  
О. В. Налізко

Рецензент: М. М. Пилипенко

Кафедра парогенераторобудування

## ВСТУП

У наш час основним джерелом енергії в світі служать органічні види палива, запаси яких за оцінками фахівців будуть витрачені до кінця XXI століття, якщо не заміщати їх іншими. Нетрадиційні джерела електроенергії (сонячна, геотермальна, використання біомаси і ін.) в осяйному майбутньому не зможуть суттєво вплинути на існуючий баланс енергетичних потужностей. У зв'язку з цим органічні види палива, можливо, замінити тільки ядерним. Тільки ядерна енергетика освоєна в промислових масштабах. Світ не зможе обходитися без ядерної енергетики.

Загалом в енергетичному балансі країн світу ядерна енергетика забезпечує близько 18 % річного вироблення електроенергії. В цій галузі перше місце посідає Франція, де на АЕС виробляється близько 80 % електроенергії країни.

Основу ядерно-енергетичного парку країн світу складають енергоблоки з водяними реакторами (*PWR* і *BWR* — 87,6 %). На долю енергоблоків з важководними (*PHWR*) і газо-графітовими реакторами (*GCR*) приходиться приблизно по 6 %; менше 1 % складають енергоблоки з реакторами на швидких нейтронах (*FBR*) з високотемпературними газовими реакторами (*HTBR*).

Ядерний реактор має величезну радіоактивність, що представляє серйозну небезпеку для людини і навколишнього середовища. Тому проблема забезпечення безпечної експлуатації АЕС набула першочергового значення як в державному, так у світовому масштабі.

Знання фізичних процесів, що протікають в ядерному реакторі, уміння ними управляти є основою безпеки ядерної енергоустановки.

В методичних вказівках приведені відомості про пристрій, фізику і роботу ядерних реакторів, про економіку атомної енергетики.

## ПРОГРАМА І МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО РОЗДІЛІВ КУРСУ

Метою курсу є вивчення студентами основ ядерної фізики, фізичних процесів в ядерних реакторах.

Для закріплення лекційного матеріалу проводяться практичні заняття, де студенти освоюють методику розрахунку.

Для контролю якості навчання студентів проводяться модульні контрольні роботи і комплексні контрольні роботи.

Для самостійної роботи студентам із загального обсягу лекційного матеріалу було виділено деякі контрольні питання для самоперевірки.

Номер варіанту контрольного завдання співпадає з порядковим номером студента в журналі.

Для кращого засвоєння окремих розділів курсу в цілому використовуються технічні засоби: персональні комп'ютери, плакати.

## 1 Дифузія нейтронів

### Студент повинен знати:

1. Потік нейтронів. Швидкість взаємодії.
2. Довжина вільного пробігу та макроскопічний перетин.
3. Щільність струму нейтронів. Закон Фіка.
4. Рівняння дифузії.
5. Інтегральне рівняння для потоку моноенергетичних нейтронів.
6. Граничні умови.
7. Одношвидкісні рівняння перенесення нейтронів.
8. Рішення кінетичного рівняння методом сферичних гармоній.
9. Крапкове джерело в нескінченному середовищі.
10. Плоске джерело.
11. Плоске джерело в середовищі кінцевої товщини.
12. Лінійне джерело.
13. Довжина дифузії, фізичний зміст.
14. Метод функції Гріна. Принцип суперпозиції.
15. Заміна інтегрального рівняння системою алгебраїчних.
16. Швидкість взаємодії у разі немоноенергетичних нейтронів.
17. Довжина дифузії.
18. Альbedo.

### Методичні вказівки:

Матеріали цієї теми є необхідним комплексом визначень і понять, на базі яких викладаються інші теми. Тому студент повинен засвоїти ці поняття і визначення.

**Література:** [2], [3], [4], [5].

### Питання для самоконтролю:

1. Дифузія.
2. Щільність нейтронів.
3. Потік нейтронів.
4. Коефіцієнт дифузії.
5. Довжина екстрополізації.
6. Довжина дифузії.
7. Функція Гріна (функція впливу).
8. Середня довжина вільного пробігу до поглинання.
9. Середня довжина вільного пробігу до розсіяння.

10. Середній косинус кута розсіяння.
11. Рівняння дифузії.
12. Ядро крапкового джерела.
13. Ефективна гранична умова.
14. Залежність квадрата довжини дифузії від температури.
15. Середній нейтрон.
16. Довжина перенесення.
17. Дифузійний струм.
18. Альбеда.
19. Крапкове джерело в нескінченному середовищі.
20. Пробіги нейтронів.

## 2 Уповільнення нейтронів

### Студент повинен знати:

1. Модель уповільнення.
2. Розсіяння в системі центру інерції.
3. Розсіяння в лабораторній системі координат.
4. Закон розсіяння.
5. Середня логарифмічна втрата енергії.
6. Коефіцієнт уповільнення.
7. Летаргія.
8. Уповільнення у водневих непоглинаючих середовищах.
9. Щільність уповільнення у водні.
10. Уповільнення в середовищах з масовим числом  $A > 1$ .
11. Уповільнення в системі, що містить ядра декількох сортів.
12. Уповільнення в середовищах при поглинанні.
13. Вірогідність уникнення резонансного захоплення у разі далеко відстаючих один від одного резонансів.

### Методичні вказівки:

Матеріали цієї теми є необхідним комплексом визначень і понять, на базі яких викладаються інші теми. Тому студент повинен засвоїти ці поняття і визначення.

**Література:** [2], [3], [4], [5].

### Питання для самоконтролю:

1. Летаргія.
2. Щільність уповільнення
3. Ізотропія розсіяння.
4. Сходінка уповільнення.

5. Закон розсіяння.
6. Середня логарифмічна втрата енергії.
7. Спектр Фермі.
8. Вірогідність уникнути резонансного поглинання.
9. Інтеграл зіткнень.
10. Резонансний інтеграл поглинань при нескінченному розбавленні.
11. Акт розсіяння.
12. Механізм уповільнення.
13. Логарифмічний декремент енергії.
14. Уповільнююча здатність.
15. Коефіцієнт уповільнення.
16. Властивості уповільнення.
17. Нейтронний баланс.
18. Облік поглинання.
19. Вірогідність уникнути резонансного захоплення.

### 3 Теорія віку

#### **Студент повинен знати:**

1. Суть теорії віку.
2. Рівняння віку за відсутності поглинання.
3. Рівняння уповільнення у віковому наближенні в середовищах з поглинанням.
4. Початкові і граничні умови.
5. Приклади рішення рівняння віку.
6. Межі застосування рівняння уповільнення.
7. Вік нейтронів.
8. Рішення рівняння віку у разі плоского джерела нейтронів.
9. Рішення рівняння віку у разі крапкового джерела нейтронів.
10. Фізичний зміст віку.
11. Уповільнення і дифузія швидких нейтронів від нескінченно плоского джерела в нескінченному середовищі.
12. Вплив непружних зіткнень на вік нейтронів.
13. Вплив немоноенергетичності нейтронів ділення на вік.
14. Вплив немоноенергетичності теплових нейтронів на вік.
15. Площа міграції нейтронів.
16. Час уповільнення.
17. Багатогрупове наближення.
18. Спектр Максвелла.
19. Диференціальне рівняння термалізації нейтронів.
20. Межі застосовності теорії віку.
21. Температура нейтронного газу.

### **Методичні вказівки:**

Матеріали цієї теми є необхідним комплексом визначень і понять, на базі яких викладаються інші теми. Тому студент повинен засвоїти ці поняття і визначення.

**Література:** [4], [5].

### **Питання для самоконтролю:**

1. Символічний вік.
2. Рівняння віку.
3. Довжина міграції нейтронів.
4. Температура нейтронного газу.
5. Моделі безперервного уповільнення.
6. Рівняння уповільнення у віковому наближенні.
7. Довжина уповільнення.
8. Площа міграції.
9. Багатогруповий метод наближення.
10. Вимірювання віку.
11. Дифузія при уповільненні.
12. Теорія безперервного уповільнення.
13. Час уповільнення і дифузії.

## **4 Кінетична теорія нейтронів**

### **Студент повинен знати:**

1. Кінетичне рівняння уповільнення нейтронів Больцмана.
2. Рішення кінетичного рівняння реактора.
3. Кінетичне рівняння для теплової групи нейтронів.
4. Система основних рівнянь реактора.
5. Функція цінності нейтрона.
6. Рівняння функції цінності нейтронів.
7. Метод послідовних наближень.
8. Дифузійне наближення.
9. Дифузійно-вікове наближення.
10. Система багатогрупових рівнянь.
11. Кінцево-різничне рівняння дифузії.
12.  $S_N$ -метод (метод Карлсона).

### **Методичні вказівки:**

Матеріали цієї теми є необхідним комплексом визначень і понять, на базі яких викладаються інші теми. Тому студент повинен засвоїти ці поняття і визначення.

**Література:** [4].

**Питання для самоконтролю:**

1. Критичний радіус реактора сферичної форми.
2. Геометричний параметр.
3. Характерний розмір.
4. Критичний об'єм.
5. Термалізація нейтронів.
6. Кінетичне рівняння Больцмана.
7. Цінність нейтронів.
8. Зв'язане рівняння реактора.
9. Метод ітерації джерел.
10. Екстрапольована межа.

## 5 Критичні розміри реакторів

**Студент повинен знати:**

1. Фізична класифікація реакторів. Коефіцієнт розмноження.
2. Можливі представлення циклу розмноження нейтронів.
3. Ефективний коефіцієнт розмноження.
4. Рівняння для матеріального параметра реактора в дифузійно-віковому наближенні.
5. Умова критичності реактора в дифузійно-віковому наближенні.
6. Умова критичності в одногруповому наближенні.
7. Сферичний гомогенний реактор.
8. Циліндровий гомогенний реактор.
9. Гомогенний реактор з відбивачем в одногруповому наближенні.
10. Реактор з відбивачем у вигляді нескінченної пластини.
11. Сферичний реактор з відбивачем.
12. Циліндровий реактор з відбивачем на бічній поверхні.
13. Циліндровий реактор з торцевим відбивачем.
14. Циліндровий реактор, оточений відбивачем з усіх боків.
15. Коефіцієнт нерівномірності.
16. Гомогенний реактор з відбивачем в двохгруповому наближенні. Постановка задачі.
17. Критичне рівняння реактора з відбивачем в двохгруповому наближенні.

**Методичні вказівки:**

Матеріали цієї теми є необхідним комплексом визначень і понять, на базі яких викладаються інші теми. Тому студент повинен засвоїти ці поняття і визначення.



**Література:** [4], [5].

**Питання для самоконтролю:**

1. Матеріальний параметр.
2. Геометричний параметр.
3. Критичне рівняння в дифузійно-віковому наближенні.
4. Асимптотичний розподіл.
5. Коефіцієнт використання теплових нейтронів.
6. Коефіцієнт розмноження.
7. Теорія гомогенізації

## **6 Гетерогенні реактори**

**Студент повинен знати:**

1. Класифікація ґрат. Основні припущення і допущення.
2. Переваги і недоліки гетерогенних систем.
3. Вірогідність перших зіткнень (ВПЗ). Метод хорд.
4. Поправки Данкова.
5. Фізичні особливості гетерогенного реактора.
6. Коефіцієнт розмноження на швидких нейтронах.
7. Можливість створення реактора на швидких нейтронах на природному урані.
8. Вірогідність уникнути резонансного захоплення.
9. Наближення вузького і широкого резонансів.
10. Наближення проміжного резонансу.
11. Резонансне захоплення в несповільнюючих блоках ґрат.
12. Резонансне захоплення в широких ґратах з урахуванням уповільнення в блоках.
13. Теорема еквівалентності гетерогенного і гомогенного середовищ по відношенню до резонансного захоплення.
14. Залежність вірогідності уникнення резонансного захоплення.
15. Коефіцієнт використання теплових нейтронів.
16. Число вторинних нейтронів ділення на один поглинений паливом первинний нейтрон.
17. Використання методу Весткотта для опису циклу розмноження нейтронів.
18. Розрахунок довжин дифузії і уповільнення в ґратах.
19. Залежність матеріального параметра від відношення об'ємів сповільнювача і палива.
20. Розрахунок  $\beta$  в трифазному осередку.
21. Складні ґрати.

### **Методичні вказівки:**

Матеріали цієї теми є необхідним комплексом визначень і понять, на базі яких викладаються інші теми. Тому студент повинен засвоїти ці поняття і визначення.

**Література:** [4], [5].

### **Питання для самоконтролю:**

1. Крок грат.
2. Елементарний осередок.
3. Осередок Вігнера-Зейца.
4. Класифікація грат.
5. Достоїнства і недоліки гетерогенних систем.
6. Рациональне наближення Вігнера.
7. Ефект блокування.
8. Об'ємна частина ефективного резонансного інтеграла.
9. Поверхня ефективного інтеграла.
10. Коефіцієнт екранування.
11. Коефіцієнт використання теплових нейтронів.
12. Метод ВПЗ (метод вірогідності перших зіткнень).
13. Метод АБГ (метод Амуаяля, Бенуа, Горовіца для розрахунку  $\theta$ ).

## **7 Реактори атомних електростанцій**

### **Студент повинен знати:**

1. Перша в світі АЕС.
2. Графіто-газові реактори.
3. Легководні реактори.
4. Реактори на швидких нейтронах.

### **Методичні вказівки:**

Матеріали цієї теми є необхідним комплексом визначень і понять, на базі яких викладаються інші теми. Тому студент повинен засвоїти ці поняття і визначення.

**Література:** [3].

### **Питання для самоконтролю:**

1. Реактор.
2. Активна зона.
3. Тепловідліяюча збірка.

4. Енергетичні дані.
5. Кампанія.
6. Захист.
7. Реактор в Колдер-Холлі.
8. Легководні реактори.
9. Реактори на швидких нейтронах.

## **8 Пристрій і класифікація ядерних реакторів**

### **Студент повинен знати:**

1. Пристрій реакторів.
2. Використання реакторів.
3. Гомогенні і гетерогенні реактори.
4. Реактори на теплових, швидких і проміжних нейтронах.
5. Класифікація енергетичних реакторів по сповільнювачах і теплоносіях.
6. Реакторні матеріали. Ядерне паливо.

### **Методичні вказівки:**

Матеріали цієї теми є необхідним комплексом визначень і понять, на базі яких викладаються інші теми. Тому студент повинен засвоїти ці поняття і визначення.

**Література:** [2], [5].

### **Питання для самоконтролю:**

1. Реактори на швидких нейтронах (швидкі реактори).
2. Принципова схема перетворення теплової енергії в електричну на першій АЕС.
3. Коефіцієнт відтворення.
4. Елементарний осередок.
5. Гомогенні і гетерогенні реактори.
6. Типи твелів.
7. Реактори на теплових нейтронах (теплові реактори).
8. Реактори на проміжних нейтронах (проміжні реактори).
9. Реактори з водяним теплоносієм.
10. Газо-графітові реактори (ГГР).
11. Реактори з органічними теплоносіями.
12. Реактори з рідкометалевими теплоносіями.

## 9 Водо-водяні енергетичні реактори (ВВЕР)

### Студент повинен знати:

1. Нейтронно-фізичні особливості.
2. Конструкційні особливості.
3. Компенсація реактивності і органи регулювання.
4. Коефіцієнт нерівномірності енерговиділення.
5. Вигорання і перевантаження палива.
6. Фізичний розрахунок реактора.
7. Тенденції розвитку реакторів ВВЕР.

### Методичні вказівки:

Матеріали цієї теми є необхідним комплексом визначень і понять, на базі яких викладаються інші теми. Тому студент повинен засвоїти ці поняття і визначення.

**Література:** [5].

### Питання для самоконтролю:

1. ВВЕР і PWR.
2. Завдання фізичного розрахунку.
3. Вибір схеми фізичного розрахунку.
4. Структурна схема.
5. Оцінний розрахунок коефіцієнта розмноження  $k_{\infty}$ .

## 10 Водо-водяні киплячі реактори

### Студент повинен знати:

1. Фізичні особливості.
2. Конструкційні особливості.
3. Можливі способи зменшення нерівномірності енерговиділення за об'ємом активної зони.
4. Фізичний розрахунок.
5. Тенденції розвитку киплячих реакторів.

### Методичні вказівки:

Матеріали цієї теми є необхідним комплексом визначень і понять, на базі яких викладаються інші теми. Тому студент повинен засвоїти ці поняття і визначення.

**Література:** [5].

### **Питання для самоконтролю:**

1. ВК і ВWR.
2. Тенденції розвитку водо-водяних киплячих реакторів.

## **11 Канальні графітові реактори (РВШК)**

### **Студент повинен знати:**

1. Вступ.
2. Фізичні особливості.
3. Конструкційні особливості.
4. Фізичний розрахунок.
5. Тенденція розвитку реакторів РВШК.
6. Важководні канальні реактори.

### **Методичні вказівки:**

Матеріали цієї теми є необхідним комплексом визначень і понять, на базі яких викладаються інші теми. Тому студент повинен засвоїти ці поняття і визначення.

**Література:** [5].

### **Питання для самоконтролю:**

1. РВШК.
2. Тенденції розвитку канальних графітових реакторів (РВШК).

## **12 Реактори на швидких нейтронах**

### **Студент повинен знати:**

1. Основні особливості.
2. Специфіка реакторів на швидких нейтронах.
3. Кінетичне рівняння реактора на швидких нейтронах.
4. Особливості конструкції.
5. Фізичний розрахунок.

### **Методичні вказівки:**

Матеріали цієї теми є необхідним комплексом визначень і понять, на базі яких викладаються інші теми. Тому студент повинен засвоїти ці поняття і визначення.

**Література:** [5].

### **Питання для самоконтролю:**

1. Спектр нейтронів.
2. Відтворення матеріалів, що діляться.
3. Перетини у області швидких нейтронів.
4. Глибина вигорання палива.
5. Об'ємне теплове навантаження.
6. Запас реактивності.
7. Температурні ефекти.
8. Постановка задачі. Особливості фізичного розрахунку.
9. Варіаційний метод.
10. Розрахунок критичної маси.
11. Ефективність системи управління і захисту.

## **13 Реактори на теплових нейтронах**

### **Студент повинен знати:**

1. Коефіцієнт розмноження.
2. Фізика нейтронів.
3. Управління реактором.
4. Енергетичні реактори.

### **Методичні вказівки:**

Матеріали цієї теми є необхідним комплексом визначень і понять, на базі яких викладаються інші теми. Тому студент повинен засвоїти ці поняття і визначення.

**Література:** [1].

### **Питання для самоконтролю:**

1. Розподіл енергії в результаті ділення ядра  $U^{235}$ .
2. Вірогідність уникнути резонансного захоплення.
3. Коефіцієнт розмноження.
4. Формула чотирьох співмножників.
5. Надмірна реактивність.
6. Важководний реактор типу CANDU.

## **14 Реактори-розмножувачі на швидких нейтронах (ШН)**

### **Студент повинен знати:**

1. Фізика розширеного відтворення ядерного палива.
2. Параметри реакторів ШН.

3. Управління реактором ШН.
4. Сучасні конструкції реактор-розмножувача.
5. Реактор-розмножувач на швидких нейтронах з рідкометалевим теплоносієм.
6. Реактор-розмножувач з газовим охолодженням.
7. Реактор-розмножувач з розплавленою сіллю.

**Методичні вказівки:**

Матеріали цієї теми є необхідним комплексом визначень і понять, на базі яких викладаються інші теми. Тому студент повинен засвоїти ці поняття і визначення.

**Література:** [1].

**Питання для самоконтролю:**

1. Реактор ШН.
2. Принципова схема реактор-розмножувача на швидких нейтронах.

## 15 Регулювання ядерних реакторів

**Студент повинен знати:**

1. Зміна реактивності.
2. Інтерференція регуляторів.

**Методичні вказівки:**

Матеріали цієї теми є необхідним комплексом визначень і понять, на базі яких викладаються інші теми. Тому студент повинен засвоїти ці поняття і визначення.

**Література:** [4].

**Питання для самоконтролю:**

1. Призначення системи регулювання ядерних реакторів.
2. Задача регулювання.
3. Призначення регулятора.
4. Явище інтерференції регулятора.

## 16 Пуск ядерного реактора

**Студент повинен знати:**

1. Зміна щільності потоку нейтронів в докритичному і критичному станах реактора.

2. Залежність зворотної швидкості рахунку від завантаження палива.
3. Перехідні процеси при різних скачках реактивності.

**Методичні вказівки:**

Матеріали цієї теми є необхідним комплексом визначень і понять, на базі яких викладаються інші теми. Тому студент повинен засвоїти ці поняття і визначення.

**Література:** [4].

**Питання для самоконтролю:**

1. Зміна щільності потоку нейтронів підкритичного реактора.
2. Пуски реактора з урахуванням уточнених фізичних характеристик реактора.

## 17 Фізичні процеси в реальних реакторах

**Студент повинен знати:**

1. Збереження критичності в часі.
2. Відтворення ядерного палива.
3. Отруєння реактора.
4. Температурний коефіцієнт.

**Методичні вказівки:**

Матеріали цієї теми є необхідним комплексом визначень і понять, на базі яких викладаються інші теми. Тому студент повинен засвоїти ці поняття і визначення.

**Література:** [3].

**Питання для самоконтролю:**

1. Зниження реактивності.
2. Система управління.
3. Кампанія реактора.
4. Накопичення продуктів ділення.
5. Глибина вигорання.
6. Вигорання пального.
7. Накопичення плутонію.
8. Плутоній – 240.
9. Коефіцієнт відтворення.
10. Тимчасове збільшення  $k_0$ .
11. Розширене відтворення.



12. Реактор на швидких нейтронах.
13. Екологічний аспект.
14. Час подвоєння.
15. Зашлакування.
16. Отруєння ксеноном.
17. Гранична концентрація.
18. Отруєння працюючого реактора.
19. Ксенонова яма.
20. Нестійкість реактора з великим потоком.
21. Ксенонові хвилі.
22. Отруєння самарієм.
23. Температура активної зони.
24. Температурний коефіцієнт реактивності.
25. Коефіцієнт щільності.
26. Деформація конструкції.
27. Кипіння.
28. Потужностний коефіцієнт реактивності.
29. Стійкість реактора.

## **18 Матеріали. Біологічний захист**

### **Студент повинен знати:**

1. Матеріали ядерних реакторів.
2. Дозиметрія і захист.

### **Методичні вказівки:**

Матеріали цієї теми є необхідним комплексом визначень і понять, на базі яких викладаються інші теми. Тому студент повинен засвоїти ці поняття і визначення.

### **Література:** [3].

### **Питання для самоконтролю:**

1. Теплова схема АЕС.
2. Вимоги до матеріалів.
3. Паливо.
4. Сповільнювачі.
5. Теплоносії і конструкційні матеріали.
6. Одиниці вимірювання (дозиметрія і захист).
7. Дозиметрія.
8. Випромінювання реактора.

## 19 Безпека реактора

### Студент повинен знати:

1. Гарантія безпеки.
2. Історія безпеки.
3. Ядерний паливний цикл.
4. Видобування і збагачення уранової руди.
5. Завершення паливного циклу.

### Методичні вказівки:

Матеріали цієї теми є необхідним комплексом визначень і понять, на базі яких викладаються інші теми. Тому студент повинен засвоїти ці поняття і визначення.

### Література: [1].

### Питання для самоконтролю:

1. Система аварійного охолодження активної зони (САОЗ).
2. Ефективність САОЗ.
3. Основні аварії на ядерних реакторах.
4. Один робочий рівень.
5. Коефіцієнт розділення (або збагачення).
6. Газодифузійний процес.
7. Пьюрекс-процес для виділення урану і плутонію з відпрацьованого палива.
8. Виробничі викиди з підприємств атомної промисловості.
9. Способи видалення радіоактивних відходів.
10. Способи поховання радіоактивних відходів.

## КОНТРОЛЬНІ ЗАВДАННЯ ДО КУРСУ «ФІЗИКА РЕАКТОРІВ»

### КОНТРОЛЬНА РОБОТА 1

#### Методичні вказівки

До виконання завдання і рішення задач слід приступати тільки після вивчення даного розділу курсу. Тільки цілеспрямоване рішення задач принесе користь і допоможе закріпленню знань. Перед виконанням контрольної роботи рекомендується ознайомитися з алгоритмом рішення аналогічних задач по учбовій літературі.

Номер варіанту контрольної роботи співпадає з порядковим номером студента в журналі.

Контрольне завдання складається з теоретичної і практичної частин.

### Теоретична частина

Студенти повинні дати письмові відповіді на питання, номери яких приведені в таблиці 1.

Таблиця 1 - Номери питань і задач до контрольної роботи

№ варіанту	№ теми	№ питання	№ задачі	№ варіанту задачі
1	Тема 1 Тема 2	1,2,3 1,2,3	Задача 1 Задача 2	В-1 В-1
2	Тема 1 Тема 2	4,5,6 4,5,6	Задача 1 Задача 2	В-2 В-2
3	Тема 1 Тема 2	7,8,9 7,8,9	Задача 1 Задача 2	В-3 В-3
4	Тема 1 Тема 2	10,11,12 10,11,12	Задача 1 Задача 2	В-4 В-4
5	Тема 1 Тема 2	13,14,15 13,14,15	Задача 1 Задача 2	В-5 В-5
6	Тема 1 Тема 2	16,17,18 16,17,18	Задача 1 Задача 2	В-6 В-6
7	Тема 1 Тема 2 Тема 3	19,20 19 1,2,3	Задача 1 Задача 2	В-1 В-6
8	Тема 3 Тема 4	4,5,6 1,2,3	Задача 1 Задача 2	В-2 В-5
9	Тема 3 Тема 4	7,8,9 4,5,6	Задача 1 Задача 2	В-3 В-4
10	Тема 3 Тема 4	10,11,12 7,8,9	Задача 1 Задача 2	В-4 В-3

Продовження таблиці 1

11	Тема 3	13	Задача 1	В-5
	Тема 4	10	Задача 2	В-2
	Тема 5	1,2,3,4		
12	Тема 5	5,6,7	Задача 1	В-6
	Тема 4	8,9,10	Задача 2	В-1

Методичні вказівки до теоретичної частини  
контрольного завдання

При оформленні контрольного завдання необхідно повністю приводити формулювання питань. Відповіді на поставлені питання повинні бути вичерпними і супроводжуватися необхідними малюнками і схемами з позначенням всіх елементів, текстом, поясненням і відповідними формулами протікаючих реакцій.

**Практична частина**

Студенти повинні розв'язати задачу 1 і задачу 2, номери варіантів яких приведені в таблиці 2 і таблиці 3.

**Задача 1**

Визначити середній косинус  $\bar{\mu}$  даної речовини.

Таблиця 2-Вихідні дані до задачі 1

Варіант	1	2	3	4	5	6
Речовина	H	D	Be	C	O	U

Методичні вказівки до розв'язання задачі 1

Нейтрон, пружно розсіяний ядром, змінює напрям свого руху, причому кут між початковою і кінцевою швидкостями може лежати в інтервалі від 0 до 180°.

Всі ядра розсіюють нейтрони частіше на малі кути ( $0 \leq \theta < 90^\circ$ ), а не на більше ( $90^\circ < \theta \leq 180^\circ$ ). Таке розсіяння називають анізотропним.

Для анізотропного розсіяння  $\bar{\mu} > 0$ , оскільки розсіяння нейтронів на малі кути ймовірніше, ніж на більше. При невисоких енергіях нейтронів середній косинус залежить тільки від масового числа  $A$ :

$$\bar{\mu} = \frac{2}{3A} \quad (1)$$

## Задача 2

Визначити параметр уповільнення для даного ізотопу.

Таблиця 3-Вихідні дані до задачі 2

Варіант	1	2	3	4	5	6
Ізотоп	Be	U	Na	U	Te	B

### Методичні вказівки до розв'язання задачі 2

Джерела нейтронів випускають швидкі нейтрони. Подальше життя нейтронів залежить від складу і розмірів середовища. В результаті пружних і непружних зіткнень з ядрами швидкі нейтрони не тільки віддаляються від джерела, але і сповільнюються. У кінцевих середовищах частина сповільнюючих нейтронів, рухомих поблизу поверхні, витікає з об'єму середовища.

Всі ці чинники впливають на просторовий і енергетичний розподіл сповільнюючих нейтронів.

На практиці застосовують середньологарифмічну втрату енергії нейтрона на одне зіткнення, звану параметром уповільнення  $\xi$ :

$$\xi = \overline{\ln E_1 - \ln E_2} = \ln \frac{\overline{E_1}}{E_2} \quad (2)$$

Параметр уповільнення  $\xi$  залежить тільки від масового числа  $A$  і постійний в будь-якому інтервалі енергій.

Для масових чисел  $A > 9$  розрахункова формула параметра  $\xi$  має простий вигляд:

$$\xi = \frac{2}{A + \frac{2}{3}}$$

## КОНТРОЛЬНА РОБОТА 2

### Методичні вказівки

До виконання завдання і рішення задач слід приступати тільки після вивчення даного розділу курсу. Тільки цілеспрямоване рішення задач принесе користь і допоможе закріпленню знань. Перед виконанням контрольної роботи рекомендується ознайомитися з алгоритмом рішення аналогічних задач по учбовій літературі.

Номер варіанту контрольної роботи співпадає з порядковим номером студента в журналі.

Контрольне завдання складається з теоретичної частини.

### Теоретична частина

Студенти повинні дати письмові відповіді на питання, номери яких приведені в таблиці 4.

Таблиця 4 - Номери питань до контрольної роботи

№ варіанту	№ теми	№ питань
1	6	1, 2, 3
	7	1, 2, 3
2	6	4, 5, 6
	7	4, 5, 6
3	6	7, 8, 9
	7	7, 8, 9
4	6	10, 11, 12
	8	1, 2, 3
5	6	13
	8	4, 5, 6
	9	1, 2
6	8	7, 8, 9
	9	3, 4, 5

Продовження таблиці 4

7	8 10 11	10, 11, 12 1, 2 1
8	11 12	2 1, 2, 3, 4, 5
9	12 13	6, 7, 8 1, 2, 3
10	12 13	9, 10, 11 4, 5, 6
11	13 14 15	7 1, 2 1, 2, 3
12	15 16 17	4 1, 2 1, 2, 3
13	17 18	4, 5, 6, 7 1, 2
14	17 18	8, 9, 10, 11 3, 4
15	17 18	12, 13, 14, 15 5, 6
16	17 18	16, 17, 18, 19 7, 8
17	17 19	20, 21, 22, 23 1, 2
18	17 19	24, 25, 26, 27 3, 4
19	17 19	28, 29 5, 6, 7, 8
20	15 19	1, 2, 3, 4 9, 10

Методичні вказівки до теоретичної частини

контрольного завдання

При оформленні контрольного завдання необхідно повністю приводити формулювання питань. Відповіді на поставлені питання повинні бути вичерпними і супроводжуватися необхідними малюнками і схемами з позначенням всіх елементів, текстом, поясненням і відповідними формулами протікаючих реакцій.

# МОДУЛЬНІ КОНТРОЛЬНІ РОБОТИ ДО КУРСУ «ФІЗИКА РЕАКТОРІВ»

## Модульна контрольна робота 1 «Дифузія нейтронів»

### Перелік рекомендованих питань:

1. Дифузія.
2. Щільність нейтронів.
3. Потік нейтронів.
4. Коефіцієнт дифузії.
5. Довжина екстрополяції.
6. Довжина дифузії.
7. Функція Гріна (функція впливу).
8. Середня довжина вільного пробігу до поглинання.
9. Середня довжина вільного пробігу до розсіяння.
10. Середній косинус кута розсіяння.
11. Рівняння дифузії.
12. Ядро точкового джерела.
13. Ефективна гранична умова.
14. Залежність квадрата довжини дифузії від температури.
15. Середній нейтрон.
16. Довжина перенесення.
17. Дифузійний струм.
18. Альbedo.
19. Точкове джерело в нескінченному середовищі.
20. Пробіги нейтронів.
21. Летаргія.
22. Щільність уповільнення
23. Ізотропія розсіяння.
24. Сходінка уповільнення.
25. Закон розсіяння.
26. Середня логарифмічна втрата енергії.
27. Спектр Фермі.
28. Вірогідність уникнути резонансного поглинання.
29. Інтеграл зіткнень.
30. Резонансний інтеграл поглинань при нескінченному розбавленні.
31. Акт розсіяння.
32. Механізм уповільнення.
33. Логарифмічний декремент енергії.
34. Здатність уповільнення.
35. Коефіцієнт уповільнення.
36. Властивості уповільнення.



37. Нейтронний баланс.
38. Облік поглинення.
39. Вірогідність уникнути резонансного захоплення.
40. Символічний вік.
41. Рівняння віку.
42. Довжина міграції нейтронів.
43. Температура нейтронного газу.
44. Моделі безперервного уповільнення.
45. Рівняння уповільнення у віковому наближенні.
46. Довжина уповільнення.
47. Площа міграції.
48. Багатогруповий метод наближення.
49. Вимірювання віку.
50. Дифузія при уповільненні.
51. Теорія безперервного уповільнення.
52. Час уповільнення і дифузії.
53. Критичний радіус реактора сферичної форми.
54. Геометричний параметр.
55. Характерний розмір.
56. Критичний об'єм.
57. Термалізація нейтронів.
58. Кінетичне рівняння Больцмана.
59. Цінність нейтронів.
60. Зв'язане рівняння реактора.
61. Метод ітерації джерел.
62. Екстрапольована межа.
63. Матеріальний параметр.
64. Геометричний параметр.
65. Критичне рівняння в дифузійно-віковому наближенні.
66. Асимптотичний розподіл.
67. Коефіцієнт використання теплових нейтронів.
68. Коефіцієнт розмноження.
69. Теорія гомогенізації

## **Модульна контрольна робота 2 «Гетерогенні реактори»**

### **Перелік рекомендованих питань:**

1. Крок грат.
2. Елементарний осередок.
3. Осередок Вігнера-Зейца.
4. Класифікація грат.

5. Достоїнства і недоліки гетерогенних систем.
6. Раціональне наближення Вігнера.
7. Ефект блокування.
8. Об'ємна частина ефективного резонансного інтеграла.
9. Поверхня ефективного інтеграла.
10. Коефіцієнт екранування.
11. Коефіцієнт використання теплових нейтронів.
12. Метод ВПЗ (метод вірогідності перших зіткнень).
13. Метод АБГ (метод Амуаяля, Бенуа, Горовіца для розрахунку  $\theta$ ).
14. Реактор.
15. Активна зона.
16. Тепловідліяюча збірка.
17. Енергетичні дані.
18. Захист.
19. Реактор в Колдер-Холлі.
20. Легководні реактори.
21. Реактори на швидких нейтронах.
22. Реактори на швидких нейтронах (швидкі реактори).
23. Принципова схема перетворення теплової енергії в електричну на першій АЕС.
24. Коефіцієнт відтворення.
25. Елементарний осередок.
26. Гомогенні і гетерогенні реактори.
27. Типи твелів.
28. Реактори на теплових нейтронах (теплові реактори).
29. Реактори на проміжних нейтронах (проміжні реактори).
30. Реактори з водяним теплоносієм.
31. Газо-графітові реактори (ГТР).
32. Реактори з органічними теплоносіями.
33. Реактори з рідкометалевими теплоносіями.
34. ВВЕР і PWR.
35. Завдання фізичного розрахунку.
36. Вибір схеми фізичного розрахунку.
37. Структурна схема.
38. Оцінний розрахунок коефіцієнта розмноження  $k_{\infty}$ .
39. ВК і BWR.
40. Тенденції розвитку водо-водяних киплячих реакторів.
41. РВШК.
42. Тенденції розвитку каналних графітових реакторів (РВШК).
43. Спектр нейтронів.
44. Відтворення матеріалів, що діляться.
45. Перетини у області швидких нейтронів.
46. Глибина вигорання палива.

47. Об'ємне теплове навантаження.
48. Запас реактивності.
49. Температурні ефекти.
50. Постановка задачі. Особливості фізичного розрахунку.
51. Варіаційний метод.
52. Розрахунок критичної маси
53. Ефективність системи управління і захисту.
54. Розподіл енергії в результаті ділення ядра  $U^{235}$ .
55. Вірогідність уникнути резонансного захоплення.
56. Коефіцієнт розмноження.
57. Формула чотирьох співмножників.
58. Надмірна реактивність.
59. Важководний реактор типу CANDU.
60. Реактор ШН.
61. Принципова схема реактор-розмножувача на швидких нейтронах.
62. Призначення системи регулювання ядерних реакторів.
63. Завдання регулювання.
64. Призначення регулятора.
65. Явище інтерференції регулятора.
66. Зміна щільності потоку нейтронів підкритичного реактора.
67. Пуски реактора з урахуванням уточнених фізичних характеристик реактора.
68. Зниження реактивності.
69. Система управління.
70. Кампанія реактора.
71. Накопичення продуктів ділення.
72. Глибина вигорання.
73. Вигорання пального.
74. Накопичення плутонію.
75. Плутоній – 240.
76. Коефіцієнт відтворення.
77. Тимчасове збільшення  $k_0$ .
78. Розширене відтворення.
79. Реактор на швидких нейтронах.
80. Екологічний аспект.
81. Час подвоєння.
82. Зашлакування.
83. Отруєння ксеноном.
84. Гранична концентрація.
85. Отруєння працюючого реактора.
86. Ксенонова яма.
87. Нестійкість реактора з великим потоком.
88. Ксенонові хвилі.

89. Отруєння самарієм.
90. Температура активної зони.
91. Температурний коефіцієнт реактивності.
92. Коефіцієнт щільності.
93. Деформація конструкції.
94. Кипіння.
95. Потужностний коефіцієнт реактивності.
96. Стійкість реактора.
97. Теплова схема АЕС.
98. Вимоги до матеріалів.
99. Паливо.
100. Уповільнювачі.
101. Теплоносії і конструкційні матеріали.
102. Одиниці вимірювання (дозиметрія і захист).
103. Дозиметрія.
104. Випромінювання реактора.
105. Система аварійного охолодження активної зони (САОЗ).
106. Ефективність САОЗ.
107. Основні аварії на ядерних реакторах.
108. Один робочий рівень.
109. Коефіцієнт розділення (або збагачення).
110. Газодифузійний процес.
111. Пьюрекс-процес для виділення урану і плутонію з відпрацьованого палива.
112. Виробничі викиди з підприємств атомної промисловості.
113. Способи видалення радіоактивних відходів.
114. Способи поховання радіоактивних відходів.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРИ

### Основна:

1. Д.Дэвинс. Энергия: Пер. с англ. – М.: Энергоатомиздат, 1985.
2. В.Е. Левин Ядерная физика и ядерные реакторы. – М., Атомиздат, 1966.
3. А.Н.Климов. Ядерная физика и ядерные реакторы. – М., Атомиздат, 1971.
4. С.В.Широков. Физика ядерных реакторов. – К., Вища шк., 1993.
5. Г.Г.Бартоломей, Г.А.Бать, В.Д.Байбаков, М.С.Алтухов. / под ред. Г.А.Бать. Основы теории и методы расчета ядерных энергетических реакторов. – М., Энергоатомиздат, 1989.

### Додаткова:

1. Б.А.Дементьев. Ядерные энергетические реакторы: уч. пособие для вузов – М: Энергоатомиздат, 1984.
2. А.П.Рудик. Физические основы ядерных реакторов. – М: Атомиздат, 1979.
3. А.Б.Гулей. Физические основы ядерной энергетики: уч. пособие для студентов-заочников. – Х.: УИПА – 2002 .
4. П.А.Петров. Ядерные энергетические установки. – М., Госэнергоиздат, 1958.
5. В.И.Владимиров. Практические задачи по эксплуатации ядерных реакторов. Изд-е 3. – М.:Атомиздат 1986.
6. К.Н.Мухин. Введение в ядерную физику. – М., Госатомиздат, 1963
7. Ю.Тельдеши, Ю.Лесны. Мир ищет энергию: Пер. со словац. /Пер. Аркина М.Я.; Под ред. Ю.А.Мазитова; – М.: Мир, 1981.
8. А.К.Вальтер, И.И.Залюбовский. Ядерная физика. – Х., ХГУ, 1991.

## ЗМІСТ

Вступ	3
Програма і методичні вказівки до розділів курсу	3
1 Дифузія нейтронів	4
2 Уповільнення нейтронів	5
3 Теорія віку	6
4 Кінетична теорія нейтронів	7
5 Критичні розміри реакторів	8
6 Гетерогенні реактори	9
7 Реактори атомних електростанцій	10
8 Пристрій і класифікація ядерних реакторів	11
9 Водо-водяні енергетичні реактори (ВВЕР)	12
10 Водо-водяні киплячі реактори	12
11 Канальні графітові реактори (РВШК)	13
12 Реактори на швидких нейтронах	13
13 Реактори на теплових нейтронах	14
14 Реактори-розмножувачі на швидких нейтронах (ШН)	14
15 Регулювання ядерних реакторів	15
16 Пуск ядерного реактора	15
17 Фізичні процеси в реальних реакторах	16
18 Матеріали. Біологічний захист	17
19 Безпека реактора	18
Контрольні завдання за курсом : «Фізика реакторів»	18
Модульні контрольні роботи	24
Список літератури	29

ДЛЯ ДОВІДОК

## Навчальне видання

Програма, методичні вказівки, контрольні завдання до курсу «Фізика реакторів» для студентів спеціальності 7.090505 «Котли та реактори» усіх форм навчання

Українською мовою

Укладачі: ТЮТЮНИК Лариса Іванівна  
НАЛІЗКО Олег Володимирович

Відповідальний за випуск О.В.Єфімов  
Роботу до друку рекомендував Ю.В.Шульгін

В авторській редакції

План 2008р., поз. XX/ XX

Підп. до друку XX.XX.08. Формат 60x84 1/16. Папір офсет. №2.

Друк – ризографія. Гарнітура Таймс. Ум. друк. арк. 3,0.

Обл. – вид. арк. 2,7. Наклад 50 прим. Зам. № . Ціна договірна.

---

Видавничий центр НТУ «ХПІ» 61002, Харків, вул. Фрунзе, 21

Свідоцтво про державну реєстрацію ДК № 116 від 10.07.2000 р.

---

Друкарня НТУ «ХПІ». 61002, Харків, вул. Фрунзе, 21.