

**СИЛАБУС**  
**навчальної дисципліни**  
**«ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ МЕТОДИ ЯДЕРНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ»**

<b>Галузь знань</b>	10 - <i>Природничі науки</i>
<b>Спеціальність</b>	104 – <i>Фізика та астрономія</i>
<b>Освітня програма</b>	<i>Фізика ядра, фізика елементарних частинок і високих енергій; ядерно-фізичні установки; радіаційна фізика конденсованого стану; фізика плазми і ядерного синтезу</i>
<b>Освітній рівень</b>	доктор філософії
<b>Статус дисципліни</b>	<i>Фаховий / Вибірковий</i>
<b>Мова викладання</b>	<i>Українська</i>
<b>Курс / семестр</b>	<i>II курс, 1 (2) семестр</i>
<b>Кількість кредитів ЄКТС</b>	<i>2 кредити ЄКТС</i>
<b>Розподіл за видами занять та годинами навчання</b>	<i>Лекції – 16 год.</i>
	<i>Практичні (семінарські) – 8 год.</i>
	<i>Лабораторні – 0 год.</i>
	<i>Самостійна робота – 34 год.</i>
	<i>Консультації – 2 год.</i>
<b>Форма підсумкового контролю</b>	<i>Іспит</i>
<b>Відділ</b>	<i>Лабораторія нейтронної фізики, Відділ дослідницького ядерного реактора, ІЯД НАН України, корп. 101, к.408 тел. +380-99-622-7484</i>
<b>Викладач (-і)</b>	<i>Грицай Олена Олександрівна, зав. лаб. , канд.ф--м.н.</i>
<b>Контактна інформація викладача (-ів)</b>	<i>ogritzay@ukr.net, +380-99-622-7484</i>
<b>Дні занять</b>	<i>За розкладом</i>
<b>Консультації</b>	<i>Дистанційні, за домовленістю з ініціативи здобувача, групові</i>
<b>1. Опис навчальної дисципліни, її мета, предмет вивчення та результати навчання</b>	
<p><b>Мета</b> навчальної дисципліни - 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.</p>	
<p><b>Предмет</b> навчальної дисципліни – інформація 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; теоретичні відомості про методи спостереження нейтронів та спектрометрію нейтронів на ядерних енергетичних установках; відомості про принципи роботи детекторів, що використовуються на ядерних енергетичних установках.</p>	
<b>Компетентності</b>	

**Інтегральна компетентність (ІК):** Здатність розв'язувати комплексні проблеми в галузі професійної та/або дослідницько-інноваційної діяльності у сфері фізики, що передбачає глибоке переосмислення наявних та створення нових цілісних знань та/або професійної практики. Здатність продукувати нові ідеї, розв'язувати комплексні проблеми у галузі управління та адміністрування, що передбачає глибоке переосмислення наявних та створення нових цілісних знань та/або професійної практики, застосовувати новітні методології наукової та педагогічної діяльності, здійснювати власні наукові дослідження.

**Загальні компетентності (ЗК):**

ЗК01. Здатність генерувати нові ідеї (креативність).

ЗК03. Здатність розв'язувати комплексні наукові проблеми на основі системного наукового світогляду та загального культурного кругозору із дотриманням професійної етики та академічної доброчесності.

**Спеціальні (фахові) компетентності (СК):**

СК01. Здатність виявляти, ставити та вирішувати проблеми дослідницького характеру в сфері фізики та/або астрономії, інтегрувати знання з різних галузей, оцінювати та

СК04. Здатність організовувати та здійснювати науково-педагогічну діяльність у сфері фізики та/або астрономії.

СК05. Здатність ініціювати, розробляти та реалізовувати науково-дослідницькі, розробницькі та інноваційні проекти у сфері фізики та/або астрономії, планувати й організовувати роботу науково-дослідницьких, розробницьких та інноваційних колективів.

СК06. Здатність застосовувати сучасні методи, методики, технології, інструменти та обладнання для проведення прикладних та фундаментальних наукових досліджень у галузі фізики та атомної енергетики.

**Програмні результати навчання**

РН01. Мати сучасні концептуальні та методологічні знання з фізики та атомної енергетики та дотичних до них міждисциплінарних напрямів, а також необхідні навички, достатні для проведення фундаментальних і прикладних наукових досліджень з метою отримання нових знань та/або здійснення розробок та інновацій.

РН02. Аналізувати та оцінювати стан і перспективи розвитку фізики та атомної енергетики, а також дотичних міждисциплінарних напрямів.

РН06. Планувати і виконувати прикладні та/або фундаментальні дослідження фізики та атомної енергетики та дотичних міждисциплінарних напрямів з використанням сучасних методів, методик, технологій, інструментів та обладнання, з дотриманням норм академічної етики, критично аналізувати результати наукових досліджень у контексті усього комплексу сучасних знань щодо досліджуваної проблеми; готувати проектні пропозиції щодо фінансування наукових досліджень та/або розробницьких і інноваційних проектів.

РН10. Мати навички захисту прав інтелектуальної власності.

РН11. Організувати освітній процес і проводити педагогічну діяльність у сфері фізики та атомної енергетики, забезпечувати відповідне наукове, навчально-методичне та нормативне забезпечення.

**Після засвоєння матеріалу дисципліни аспіранти повинен: вивчити** 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; обґрунтовано вибрати методику та тип детекторів для визначення характеристик нейтронного поля при різних заданих умовах; самостійно опанувати та використовувати літературу.

**Передумови для навчання**

Перелік попередньо прослуханих дисциплін / Знання, вміння, навички, якими повинен володіти здобувач, щоб приступити до вивчення дисципліни

При вивченні дисципліни 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. Компетентності, знання, уміння та досвід, одержані в процесі вивчення кредитного модуля «Експериментальні методи ядерної енергетики», є необхідними для розуміння світових тенденцій вирішення сучасних проблем фізичних досліджень у фундаментальній та прикладній ядерній фізиці, при плануванні та проведенні інженерно-технічних досліджень в галузі атомної енергетики.

### **Зміст навчальної дисципліни**

Дисципліну структурно розділено на 2 розділи:

Розділ 1. Ядерні енергетичні установки та фізика ядерного реактора.

Розділ 2. Реакторна дозиметрія.

### **Матеріально-технічне (програмне) забезпечення дисципліни**

Для виконання практичних завдань за темою курсу потрібен персональний комп'ютер. Можна вважати, що ця вимога легко задовольняється для аспірантів ІЯД НАН України у тих відділах, де виконується наукова робота (навіть якщо аспірант не має ані особистого комп'ютера вдома, ані ноутбука). Отже, кожний відділ у змозі створити аспірантові достатні умови для виконання завдань курсу.

**Сторінка курсу на платформі  
Інституту (персональна навчальна  
система)**

### **Рекомендовані джерела**

*Базова література:*

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 нейтронов 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.

*Допоміжна література:*

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 Symposium, Power Reactor Survalence, ASTM, Mayfield, 2008
3. W.Voorbraak, L.Debarberis, P.D'hondt, J.Wagemans, editors Reactor dosimetry 13-th International Symposium, 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 // 36. 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 // 36. наук. праць ІЯД - 2006. - № 2 (18). - С. 64 - 69.

## Навчальний контент

### Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Загальний методичний підхід до викладання навчальної дисципліни визначається як комунікативно-когнітивний та професійно орієнтований, згідно з яким у центрі освітнього процесу знаходиться аспірант – суб'єкт навчання і майбутній науковець.

### Лекційні заняття

**Розділ 1. Ядерні енергетичні установки та фізика ядерного реактора.**

**Лекція 1-2. Вступ. 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.

**Лекція 3-5. Фізика ядерного реактора на теплових нейтронах.** Ланцюгова реакція поділу. Роль запізнених нейтронів. Критичність реактора. Умови безпечного функціонування ядерного реактора.

**Розділ 2 Реакторна дозиметрія.**

**Лекція 6-8. 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.

**Лекція 9-10. Використання активаційних детекторів для внутрішньо реакторної дозиметрії.** Принцип роботи активаційних детекторів. Матеріали для активаційних детекторів. Переваги та недоліки використання активаційних детекторів.

**Лекція 11-12. 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.

**Лекція 13-14. Методика нейтронного контролю на зовнішній поверхні корпусів водо-водяних 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.

**Лекція 15-16. 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.

### Практичні заняття

**Заняття 1.** Обґрунтування та розрахунки для пояснення чому саме цирконій використовується для оболонки твелів; чому вода може використовуватися як відбивач та уповільнювач та чи може використовуватись вода як поглинач; чому для регулюючих стержнів використовують боровану сталь чи карбід бору.

**Заняття 2.** Обґрунтування можливості утворення уламків поділу урану, розрахунки енергії, що виділяється при поділі урану; розрахунки середньої енергії групи затриманих нейтронів.

**Заняття 3.** Обґрунтування вибору матеріалів для детекторів прямого заряду; розрахунок струму в ДПЗ.

**Заняття 4.** Обґрунтування вибору матеріалів для іонізаційних камер; апаратурні спектри різних типів ІК, розрахунок ефективності реєстрації нейтронів різними типами камер.

**Заняття 5.** Обґрунтування вибору матеріалів для активаційних детекторів. Енергетичне калібрування гамма-спектрометра.

**Заняття 6.** Розрахунок ефективності реєстрації гамма-квантів за допомогою різних ЗДГВ.

**Заняття 7.** Визначення щільності нейтронного потоку при опроміненні різних зразків протягом певного часу з використанням зразків-індикатори певного діаметру та товщини.

**Заняття 8.** Визначення ефективного перерізу реакції для різних форм нейтронного спектру.

### Самостійна робота аспіранта

Самостійна робота здобувача наукового ступеня доктора філософії є основним засобом засвоєння навчального матеріалу у вільний від навчальних занять час і включає:

Вид самостійної роботи	Кількість годин СРС
Опанування матеріалів лекцій та додаткових питань із застосуванням основної та додаткової літератури	15
Виконання розрахункових них робіт	15
Підготовка до іспиту	4

### Політика та контроль

#### Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Система вимог, які викладач ставить перед аспірантом:

- правила відвідування занять: заняття проводяться відповідно до розкладу згідно із правилами встановленими [Положенням про організацію освітнього процесу в Інституті ядерних досліджень НАН України](http://www.kinr.kiev.ua/aspirant/creat_ed_inet.pdf). ([http://www.kinr.kiev.ua/aspirant/creat\\_ed\\_inet.pdf](http://www.kinr.kiev.ua/aspirant/creat_ed_inet.pdf)), присутність на заняттях є добровільним і не допускається примушування до будь-яких дій в навчальному процесі без особистої згоди аспіранта. Відповідно до робочої навчальної програми даної дисципліни, бали нараховують за відповідні види навчальної активності на лекційних та практичних заняттях відпові до [Уніфікованої система оцінювання навчальних досягнень аспірантів](http://www.kinr.kiev.ua/aspirant/sys_test.pdf). ([http://www.kinr.kiev.ua/aspirant/sys\\_test.pdf](http://www.kinr.kiev.ua/aspirant/sys_test.pdf)).

- правила поведінки на заняттях: аспірант має можливість отримувати бали за відповідні види навчальної активності на лекційних заняттях, передбачені робочою навчальною програмою дисципліни. Використання засобів зв'язку для пошуку інформації на гугл-диску викладача, в інтернеті, в дистанційному курсі на платформі Інституту здійснюється за умови вказівки викладача;

- політика дедлайнів та перескладань: якщо аспірант не виконував модульні контрольні роботи (без поважної причини), то його результат оцінюється у 0 балів. Перескладання передбачено у разі поважних причин;

- політика щодо академічної доброчесності: Положення встановлює загальні моральні принципи, правила етичної поведінки осіб та передбачає політику академічної доброчесності для осіб, що працюють і навчаються в Інституті, якими вони мають керуватись у своїй діяльності, в тому числі при вивченні та складанні контрольних заходів з дисципліни «Основи прикладної ядерної фізики, радіаційні та ядерні технології виробництва»;

- при використанні цифрових засобів зв'язку з викладачем (мобільний зв'язок, електронна пошта, переписка на форумах та у соцмережах тощо) необхідно дотримуватись загальноприйнятих етичних норм, зокрема бути ввічливим та обмежувати спілкування робочим часом викладача

### Система оцінювання результатів навчання

#### Види контролю та система оцінювання результатів навчання

Поточний контроль: опитування за темою заняття, модульні контрольні роботи (МКР,

Календарний контроль: проводиться двічі на семестр як моніторинг поточного стану виконання вимог силабусу.

Семестровий контроль: іспит (залік).

Умови допуску до семестрового контролю: відсутні.

Рейтинг аспіранта з дисципліни складається з балів, які він отримує:

- 1) на лекційних та практичних заняттях;
- 2) за модульні контрольні роботи (МКР);
- 3) за відповідь на іспиті.

Система рейтингових балів

1) Практичні та лекційні заняття. Ваговий коефіцієнт дорівнює 0,5 балів. Максимальна кількість балів, які може отримати аспірант на практичних заняттях становить  $40 \times 0,5 = 20$  балів.

2) Модульна контрольна робота (МКР). Ваговий коефіцієнт дорівнює 20.

Максимальна кількість балів за контрольну роботу становить  $2 \times 20 = 40$  балів.

Нарахування балів за контрольну роботу:

- «відмінно», повна відповідь (не менше 90 % потрібної інформації) 18-20 балів;
- «добре», достатньо повна відповідь (не менше 75 % потрібної інформації або незначні неточності) 15-17 балів;
- «задовільно», неповна відповідь (не менше 60 % потрібної інформації та деякі помилки) 11-14 балів;
- «незадовільно», незадовільна відповідь (менше 60 % потрібної інформації) 0.

3). Іспит. Критерії оцінювання. Завдання містить три основні, кожне з яких оцінюється у 12 балів та одне додаткове запитання, яке оцінюється 4 балами. Всього  $3 \times 12 + 1 \times 4 = 40$  балів.

Нарахування балів за відповідь на заліку:

- повна відповідь (не менше 90 % потрібної інформації) 36-40 балів;
- достатньо повна відповідь (не менше 75 % потрібної інформації) 30-35 балів;
- неповна відповідь (не менше 60 % потрібної інформації) 24-29 балів;
- незадовільна відповідь (менше 60 % потрібної інформації) 0.

### Накопичування рейтингових балів з навчальної дисципліни

Види навчальної роботи	Мах кількість балів
Навчальна активність на лекційних та практичних заняттях	20
Контрольна робота	40
Іспит	40
<b>Максимальна кількість балів</b>	<b>100</b>

### Відповідність шкали оцінювання ЄКТС національній системі оцінювання та ІЯД НАНУ

Сума балів за всі види навчальної діяльності	Оцінка ЄКТС	Оцінка за національною шкалою	
		для екзамену (іспиту), диференційованого заліку, курсового проекту (роботи), практики, тренінгу	для іспиту
90 – 100	A	відмінно	зараховано
82 – 89	B	добре	
75 – 81	C		
69 – 74	D		
60 – 68	E	задовільно достатньо	не зараховано
35 – 59	FX	незадовільно	
1 – 34	F		

*Більш детальну інформацію щодо компетентностей, результатів навчання, методів навчання, форм оцінювання, самостійної роботи наведено у Робочій програмі навчальної дисципліни, див сайт ІЯД.*