



Неруйнуючий аналіз ядерних матеріалів. Робоча програма навчальної дисципліни (силабус)

Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	<i>Другий (магістерський)</i>
Галузь знань	<i>14 Електрична інженерія</i>
Спеціальність	<i>143 Атомна енергетика</i>
Освітня програма	<i>Фізичний захист та облік і контроль ядерних матеріалів</i>
Статус дисципліни	<i>Вибіркова</i>
Форма навчання	<i>очна(денна); заочна</i>
Рік підготовки, семестр	<i>1 курс, весняний семестр</i>
Об'єм дисципліни	<i>5 кредитів ЄКТС (150 годин), 36 години лекцій, 36 годин практичні заняття, 78 годин самостійної роботи</i>
Семестровий контроль/ контрольні заходи	<i>залік/модульна контрольна робота</i>
Розклад занять	http://roz.kpi.ua/
Мова викладання	<i>українська</i>
Інформація про керівника курсу / викладачів	Лектор: к.ф.-м.н., ст.викл. <i>Хоменков Володимир Петрович</i> , vladimir.khomenkov@gmail.com Практичні заняття: к.ф.-м.н., ст.викл. <i>Хоменков Володимир Петрович</i> , vladimir.khomenkov@gmail.com
Розміщення курсу	https://campus.kpi.ua/

Програма навчальної дисципліни

1. Опис навчальної дисципліни, її мета, предмет вивчення та результати навчання

Си́лабус навчальної дисципліни «Неруйнуючий аналіз ядерних матеріалів» складено відповідно до освітньо-професійної програми "Фізичний захист та облік і контроль ядерних матеріалів" підготовки магістрів за спеціальністю 143 Атомні електричні станції.

Неруйнуючий аналіз ядерних матеріалів належить до циклу дисциплін професійної та практичної підготовки і є однією з найважливіших складових реалізації обліку та контролю ядерних матеріалів.

Предметом навчальної дисципліни «Неруйнуючий аналіз ядерних матеріалів» є фізична сутність та закономірності процесів ядерних взаємодій і перетворень, а також пов'язаними з цими процесами властивостей радіоактивних матеріалів.

Метою кредитного модуля є формування у студентів таких компетенцій:

ФК 02. Здатність застосовувати існуючі та розробляти нові методи, методики, технології та процедури для вирішення складних інженерних завдань в галузі атомної енергетики.

ФК 04. Здатність демонструвати знання і розуміння математичних принципів і методів, необхідних для моделювання систем та процесів.

ФК 08. Здатність демонструвати знання характеристик специфічних матеріалів, обладнання, процесів та продуктів в галузі атомної енергетики, умов їх використання та відповідних обмежень.

ФК 13. Здатність, притримуючись принципів культури захищеності, категоризувати ядерні матеріали та джерела іонізуючого випромінювання, вести їх облік та контроль та застосовувати методи руйнуючого та неруйнуючого аналізу згідно чинного законодавства, норм правил і стандартів.

Набуті знання забезпечують подальше успішне засвоєння студентами спеціальних дисциплін. В наслідок вивчення курсу студенти набувають наступних програмних результатів навчання:

ПРН 01. Розв'язувати складні інженерні завдання і проблеми атомної енергетики, що потребує оновлення та інтеграції знань.

ПРН 02. Демонструвати спеціалізовані концептуальні знання з атомної енергетики, набуті у процесі навчання та/або професійної діяльності, у тому числі знання і розуміння новітніх досягнень, які забезпечують здатність до інноваційної та дослідницької діяльності.

ПРН 06. Застосовувати отримані знання для аналізу інженерних об'єктів, процесів і методів атомної енергетики.

ПРН 07. Здійснювати пошук інформації, а також використовувати бази даних та інші джерела інформації для вирішення професійних завдань в атомній енергетиці у тому числі з використанням іноземної мови.

ПРН 11. Обирати і використовувати відповідне обладнання, інструменти та методи для вирішення інженерних та/або наукових завдань в атомній енергетиці.

ПРН 12. Розуміння проблем здоров'я, безпеки і правових питань та відповідних обов'язків інженерної практики в атомній енергетиці, соціальних та екологічних наслідків технічних рішень, відповідальності та обов'язків щодо дотримання кодексу професійної етики і норм інженерної практики.

2. Пререквізити та постреквізити дисципліни (місце в структурно-логічній схемі навчання за відповідною освітньою програмою)

Пререквізити: Ядерна та нейтронна фізика, Атомна та кватова фізика, Теорія ймовірностей, Радіаційна безпека і дозиметричний контроль.

Постреквізити: Переддипломна практика.

3. Зміст навчальної дисципліни

Розділ 1. Основи іонізуючого випромінювання та його детектування.

Тема 1.1. Види іонізуючого випромінювання ядерних матеріалів.

Тема 1.2. Взаємодія іонізуючого випромінювання з речовиною.

Розділ 2. Основи лічильної статистики.

Тема 2.1. Похибки вимірювань.

Тема 2.2. Розподіли імовірнісних випадкових величин.

Тема 2.3. Методи підгонки експериментальних результатів.

Розділ 3. Вимірювання ядерних матеріалів методами гамма-спектроскопії.

Тема 3.1. Детектори гамма-випромінювання.

Тема 3.2. Гамма-спектроскопія ядерних та інших радіоактивних матеріалів.

Розділ 4. Вимірювання ядерних матеріалів за допомогою нейтронів.

Тема 4.1. Детектори нейтронів.

Тема 4.2. Методи підрахунку нейтронів.

Розділ 5. Інші методи неруйнівного аналізу ядерних матеріалів (калориметрія, альфа- та бета-спектрометрія)

4. Навчальні матеріали та ресурси

Базова (підручники, навчальні посібники) література.

1. Passive Nondestructive Assay of Nuclear Materials, ed. D.Reilly, Los Alamos, 1991, https://cdn.lanl.gov/files/passive-nondestructive-assay-of-nuclear-materials_68e9a.pdf.
2. Passive Nondestructive Assay of Nuclear Materials 2007 Addendum, ed. D.Reilly, Los Alamos, 2007, https://cdn.lanl.gov/files/panda-2007-addendum_00d29.pdf.
3. G. Knoll, Radiation detection and measurements, 2000, <https://phyusdb.files.wordpress.com/2013/03/radiationdetectionandmeasurementbyknoll.pdf>.

(монографії, статті, документи, електронні ресурси) література.

1. Бушуев А.В. Методы измерения ядерных материалов: Учебное пособие. М.: МИФИ, 2007.—276 с. Учебное пособие по курсу «Методы и приборы для измерения ядерных и других радиоактивных материалов», Под общей редакцией Бойко В.И., Силаева М.Е., 2011К.
2. Debertin, R.G. Helmer, Gamma- and X-ray spectrometry with semiconductor detectors, Elsevier S.P. B.V., 1988
3. <https://www.nds.iaea.org/relnsd/vcharthtml/VChartHTML.html>
4. <https://www.nndc.bnl.gov/nudat3/>

Навчальний контент

5. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Згідно навчального плану для опанування матеріалу дисципліни передбачено лекційні та практичні заняття

№ з/п	Назва теми лекції та перелік основних питань (перелік дидактичних засобів, посилання на літературу та завдання на СРС)
Розділ 1 Основи іонізуючого випромінювання та його детектування	

1.	Тема 1.1. Види іонізуючого випромінювання ядерних матеріалів. Лекція 1. Трансуранові ряди. Альфа-, бета-розпад, випромінювання гамма-квантів ЯМ та продуктами їх розпаду. Спонтанний та індукований поділ. Нейтрони поділу. Спектр нейтронів.
2.	Тема 1.2. Взаємодія іонізуючого випромінювання з речовиною. Лекція 2. Взаємодія заряджених частинок з речовиною. Формула Бете-Блоха. Довжина пробігу. Взаємодія гамма-квантів з речовиною (фотоэффект, комптонівське розсіяння, генерація електронно-позитронних пар). Коефіцієнт ослаблення гамма-квантів. Лекція 3. Взаємодія нейтронів з речовиною. Переріз взаємодії, залежність від енергії. Довжина пробігу та швидкість реакції.
Розділ 2 Основи лічильної статистики	
3.	Тема 2.1. Похибки вимірювань. Лекція 4. Види похибок (систематична, випадкова, промах, методична, інструментальна тощо). Середнє значення та дисперсія. Поширення похибок. Похибка корельованих величин.
4.	Тема 2.2. Розподіли імовірнісних випадкових величин. Лекція 5. Види розподілів (біноміальний, Пуассона, Гаусса) та їх характеристики. Зв'язок з лічильною статистикою реєстрації іонізуючого випромінювання.
5.	Тема 2.3. Методи підгонки експериментальних результатів. Лекція 6. Лінійний та нелінійний методи найменших квадратів.
Розділ 3 Вимірювання ЯМ методами гамма-спектроскопії	
6.	Тема 3.1. Детектори гамма-випромінювання. Лекція 7. Сцинтиляційні детектори. Особливості детектування. Характеристики. Переваги та недоліки. Лекція 8. Напівпровідникові детектори. Особливості детектування. Характеристики. Переваги та недоліки. Лекція 9. Супутня електроніка (Блоки високої напруги, підсилювачі, багатоканальні аналізатори). Система Inspector.
7.	Тема 3.2. Гамма-спектроскопія ядерних та інших радіоактивних матеріалів. Лекція 10. Основи експериментальної гамма-спектроскопії. Вимірювання простих спектрів. Метод збігів. Характерні лінії розпаду ядерних матеріалів. Калібрувальні джерела. Лекція 11. Аналіз гамма-спектрів. Форма піка повного поглинання та форма фону. Калібрування по енергії та ефективності реєстрації. Ідентифікація ізотопів. Можливості програми WinSpectrum. Лекція 12. Спеціальні програми для вимірювання ядерних матеріалів (MGA, MGAU, FRAM, IMCA).
Розділ 4. Вимірювання ЯМ за допомогою нейтронів	
8.	Тема 4.1. Детектори нейтронів. Лекція 13. Детектори нейтронів. Газові наповнювачі (^3He , BF_2 , ^4He , CH_4). Пластикові та рідкі сцинтилятори. Лекція 14. Активний лічильник збігів колодязного типу (AWCC).
9.	Тема 4.2. Методи підрахунку нейтронів. Лекція 15. Основи підрахунку нейтронів. Пасивний та активний аналіз. Лекція 16. Метод нейтронних збігів. Розподіл інтервалів та Россі-альфа. Електронні ворота. Схема на основі зсувного реєстру.
Розділ 5 Інші методи НРА	
10	Лекція 17. Калориметрія. Лекція 18. Альфа- та бета-спектрометрія.

Практичні заняття

Практичні заняття проводяться з метою більш поглибленого вивчення теоретичного матеріалу та здобуття досвіду використання теоретичних знань для вирішення практичних задач.

№ з/п	Назва теми заняття та перелік основних питань (перелік дидактичних засобів, посилання на літературу та завдання на СРС)
-------	--

Розділ 1 Основи іонізуючого випромінювання та його детектування	
1.	Тема 1.1. Види іонізуючого випромінювання ядерних матеріалів. Заняття 1. Вивчення схем розпаду ЯМ та радіації, що його супроводжує. Заняття 2. Робота з таблицями та базами даних радіоактивних ізотопів TOI, NuDat, IAEA-NDS.
2.	Тема 1.2. Взаємодія іонізуючого випромінювання з речовиною. Заняття 3. Розрахунок гальмівної здатності речовини для заряджених частинок та довжини їх пробігу.
Розділ 2 Основи лічильної статистики	
3.	Тема 2.1. Похибки вимірювань. Заняття 4-5. Розв'язок задач на застосування правила поширення похибок та урахування їх кореляції. Заняття 6. Розподіл Стюдента. Задачі на визначення довірчої імовірності.
4.	Тема 2.2. Розподіли імовірнісних випадкових величин. Заняття 7. Побудова випадково згенерованого біноміального розподілу з різними параметрами. Імовірність нейтронних збігів. Перехід до розподілу Пуассона.
5.	Тема 2.3. Методи підгонки експериментальних результатів. Заняття 8. Застосування лінійного МНК для підгонки експериментальних даних. Заняття 9. Застосування нелінійного МНК для знаходження параметрів гамма-піка у вигляді гауссіана.
Розділ 3 Вимірювання ЯМ методами гамма-спектроскопії	
6.	Тема 3.1. Детектори гамма-випромінювання. Заняття 10. Основи роботи з програмою Genie 2000, набір, калібрування та аналіз гамма-спектрів. Заняття 11. Визначення збагачення урану методом "товстого зразка".
7.	Тема 3.2. Гамма-спектроскопія ядерних та інших радіоактивних матеріалів. Заняття 12-14. Робота з програмою WinSpectrum: обробка наданих гамма-спектрів, побудова кривої ефективності, ізотопний аналіз. Заняття 15-16. Ознайомлення з спеціальними програмами для вимірювання ядерних матеріалів.
Розділ 4. Вимірювання ЯМ за допомогою нейтронів	
8.	Тема 4.1. Детектори нейтронів.
9.	Тема 4.2. Методи підрахунку нейтронів. Заняття 17. Вимірювання нейтронів за допомогою детекторів на основі He-3, залежність швидкості лічби від товщини сповільнювача (дистанційно). Заняття 18. Вимірювання нейтронних збігів за допомогою колодязного лічильника (дистанційно).

6. Самостійна робота студента

Завдання для самостійної роботи студента:

1. Домашні задачі на розрахунок похибок різних типів.
2. Розрахунок енергії гамма-квантів за їх поглинанням в речовині.
3. Підгонка експериментальних даних, залежних від кількох параметрів. Визначення похибок параметрів та апроксимуючої функції з урахуванням кореляції.
4. Індивідуальні завдання на аналіз гамма-спектрів - визначення ізотопного складу, активності, побудова кривої ефективності.

Політика та контроль

7. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Викладачі курсу очікують від студентів активного залучення та безпосередньої участі у опануванні дисципліни, зокрема:

- відвідування занять, дотримання правил поведінки на заняттях (активність, уникнення телефонних розмов під час аудиторних занять, зосередженість на матеріалі заняття, відключення телефонів, використання відповідних засобів для оперативного пошуку інформації); регулярний перегляд повідо-

- млень та виконання призначених завдань; регулярний перегляд та обробка повідомлень на електронну пошту;
- оперативне реагування на запити та питання викладача;
- самостійне оформлення та виконання необхідних розрахунків, побудова графіків та написання висновків до роботи; дотримання узгоджених з викладачем правил підготовки, та подальшого виправлення (у разі необхідності) завдань; індивідуальний їх захист.
- вчасною здачею індивідуальних завдань є захист отриманих результатів згідно розкладу.
- розуміння та дотримання рейтингової системи оцінювання (PCO);
- дотримання політики дедлайнів та перескладань;
- дотримання політики щодо академічної доброчесності;
- інші вимоги, що не суперечать законодавству України та нормативним документам університету.

8. Види контролю та рейтингова система оцінювання результатів навчання (PCO)

Поточний контроль: опитування за темами, МКР

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

Семестровий контроль: Залік. Студенти, що набрали протягом семестру необхідну кількість балів $r_c \geq 0,4R_c$ ($r_c \geq 24$) допускаються до заліку.

Сума максимальних вагових балів контрольних заходів протягом семестру складає :

$$R = R_c = \sum r_k = 60 \text{ балів.}$$

Розмір шкали PCO з кредитного модуля у 4-му семестрі формується як сума вагових балів контрольних заходів протягом семестру R_c та вагового балу екзамену $R_E = 40$.

$$R = R_c + R_E = 60 + 40 = 100$$

Студенти, які набрали протягом семестру рейтинг з кредитного модуля менше $0,4R_c$ ($r_c < 24$), зобов'язані до початку екзаменаційної сесії підвищити його, інакше вони не допускаються до екзамену і мають академічну заборгованість.

Шкала балів за відповідні рівні оцінювання з кожного виду контролю.

Вид занять	Кількість занять	Характер виконання	Кількість балів	Сума
Лекції	18	робота на занятті	1	18
Практичні заняття	16	робота на занятті	0,5	8
Домашні завдання	16	виконання	0,5	8
Модульна контрольна робота	1	виконання	10	10
СРС	16	виконана СРС	1	16
Сума за семестр				60
Іспит (залік)	1	виконання і захист		40
Загальна сума вагових балів контрольних заходів				100

1. Модульна контрольна робота. (10 балів)

Складається МКР із двох частин відповідно до термінів рубіжного атестаційного контролю. Містить три завдання з теорії і практики. - одна задача і два теоретичних питання. Кожне питання оцінюється за 10 бальною шкалою. Підсумкова оцінка виводиться як середньоарифметична. Кожна частина МКР також оцінюється за 10 бальною шкалою, а підсумкова оцінка виводиться як середньоарифметична «відмінно», повна відповідь (не менше 90% потрібної інформації) – 10-9 балів;

«добре», достатньо повна відповідь (не менше 75% потрібної інформації), або повна відповідь з незначними помилками – 8-7 балів;

«задовільно», неповна відповідь (не менше 60% потрібної інформації) та незначні помилки – 6-4 балів;

«незадовільно», незадовільна відповідь (не відповідає вимогам) – 3-0 балів.

2. Практичне заняття (0,5 бала):

«відмінно», творче розкриття питань, вільне володіння матеріалом – 0,5 балів;

«добре», глибоке розкриття питань – 0,4 балів;

«задовільно», не достатньо повне розкриття питань, достатня робота на практичному занятті – 0,3 бали.

3. Виконання самостійної роботи.

Лекційний курс, завдання на срс за кожне завдання по 0,5 бала:

«зараховано», виконання завдання у строк – 0,5 бали;

«зараховано», завдання виконано, але не у строк – 0,3 бала.

5. *Домашні завдання.*

«відмінно», творче розкриття питань, вільне володіння матеріалом – 0,5 бали;

«добре», глибоке розкриття питань – 0,4 бали;

«задовільно», не достатньо повне розкриття питань, достатня робота на практичному занятті – 0,3 бали.

6. *Заохочувальні і штрафні бали.*

За кожний тиждень запізнення з поданням виконаного завдання на СРС від встановленого терміну оцінка знижується на один бал.

	бали
1. Несвоєчасне виконання завдання СРС	-1
2. Не своєчасне виконання домашньої роботи	-1
3. Не своєчасне виконання модульної контрольної роботи	-1
4. Ведення конспекту лекцій	1...5
Сума заохочувальних і штрафних балів RS	10

Критерії екзаменаційного оцінювання

Ваговий бал екзамену $R_E = 40$ балів. Екзаменаційний білет містить три завдання, з них два теоретичних і одне практичне. Кожне із завдань оцінюється за 40 бальною шкалою, як це наведено нижче, а підсумкова оцінка виводиться як середньоарифметична. Приклад екзаменаційного завдання наведений в Додатку 2.

40-38 балів – студент демонструє повні і міцні знання навчального матеріалу в заданому обсязі, необхідний рівень умінь і навичок, правильно і обґрунтовано приймає необхідні рішення в різних нестандартних ситуаціях.

37-34 балів – студент засвоює в повному обсязі робочу програму кредитного модуля, правильно і обґрунтовано використовує знання для вирішення стандартних і деяких нестандартних завдань.

33-30 балів – студент засвоює в повному обсязі робочу програму кредитного модуля, уміє використовувати знання для вирішення стандартних завдань.

29-26 балів – студент засвоїв основний матеріал, уміє використовувати знання для вирішення стандартних завдань, але допускає неточності, що не є перешкодою для подальшого навчання.

25-24 балів – студент засвоїв слабо основний матеріал, дає неповні відповіді на запитання, при застосуванні знань для вирішення стандартних завдань допускає помилки, які може виправити після додаткових запитань або зауважень викладача.

<24 балів – незасвоєння окремих розділів робочої програми кредитного модуля, нездатність застосувати знання на практиці, що робить неможливим розв'язування найпростіших стандартних завдань; потрібна додаткова робота над матеріалом кредитного модуля.

Для виставлення оцінок до екзаменаційної відомості рейтингові бали переводяться у традиційні оцінки відповідно до таблиці (рейтингова шкала $R = 100$, $R_C = 60$)

Таблиця відповідності рейтингових балів оцінкам за університетською шкалою

Кількість балів	Оцінка
100-95	Відмінно
94-85	Дуже добре
84-75	Добре
74-65	Задовільно
64-60	Достатньо
Менше 60	Незадовільно
Не виконані умови допуску	Не допущено

Процедура оскарження результатів контрольних заходів

Студенти мають право і можливість підняти будь-яке питання, яке стосується процедури контрольних заходів та очікувати, що воно буде розглянуто згідно із наперед визначеними процедурами (детальніше: https://osvita.kpi.ua/2020_7-170, https://document.kpi.ua/files/2020_7-170.pdf).

Студенти мають право оскаржити результати контрольних заходів, але обов'язково аргументовано, пояснивши з яким критерієм не погоджуються відповідно до оціночного листа та/або зауважень.

Норми етичної поведінки студентів і працівників визначені у розділі 2 Кодексу честі Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (детальніше: <https://kpi.ua/code>).

9. Додаткова інформація з дисципліни (освітнього компонента)

1. Дистанційне навчання:

В умовах дистанційного режиму організація освітнього процесу здійснюється з використанням технологій дистанційного навчання: платформи дистанційного навчання «Сікорський» та «Електронний кампус». Навчальний процес у дистанційному режимі здійснюється відповідно до затвердженого розкладу навчальних занять. Заняття проходять з використанням сучасних ресурсів проведення онлайн-зустрічей (організація відео-конференцій на платформі Zoom).

2. Навчання в умовах правового режиму воєнного стану:

- передбачає проведення усіх видів занять дистанційно (з використанням синхронної або асинхронної моделі освітньої взаємодії), у відповідності до Регламенту організації освітнього процесу в дистанційному режимі та Положення про дистанційне навчання в КПІ ім. Ігоря Сікорського;
- кінцеві терміни виконання індивідуальних завдань і завдань самостійної роботи переносяться на кінець семестру (з обов'язковим виконанням і захистом);
- у рейтингову систему оцінювання вносяться зміни стосовно нарахування штрафних балів за не своєчасне виконання завдань: штрафні бали не нараховуються.

3. Для студентів існує можливість зарахування (у вигляді додаткових балів до рейтингу до 10 балів):

- сертифікатів проходження дистанційних чи онлайн курсів за тематикою дисципліни;
- сертифікатів, які підтверджують участь у науково-практичних і наукових конференціях за тематикою дисципліни.

Додаток 1

Перелік екзаменаційних питань

1. Трансуранові ряди. Альфа-, бета-розпад, випромінювання гамма-квантів ЯМ та продуктами їх розпаду.
2. Спонтанний та індукований поділ. Нейтрони поділу. Спектр нейтронів.
3. Взаємодія важких заряджених частинок та електронів з речовиною.
4. Формула Бете-Блоха. Довжина пробігу
5. Взаємодія гамма-квантів з речовиною. Коефіцієнт ослаблення гамма-квантів.
6. Взаємодія нейтронів з речовиною. Переріз взаємодії, залежність від енергії. Довжина пробігу та швидкість реакції.
7. Походження та класифікація похибок.
8. Середнє значення випадкової величини та дисперсія.
9. Правило поширення похибок.
10. Похибка корельованих величин.
11. Види розподілів (біноміальний, Пуассона, Гаусса) та їх характеристики.
12. Лінійний метод найменших квадратів.
13. Нелінійний метод найменших квадратів.
14. Сцинтиляційні детектори.
15. Напівпровідникові детектори.
16. Порівняння переваг та недоліків сцинтиляційних та напівпровідникових детекторів.
17. Супутня електроніка для гамма-спектрометрії.
18. Метод гамма-збігів.
19. Характерні гамма-лінії розпаду ядерних матеріалів.
20. Характерні елементи гамма-спектру. Задачі аналізу гамма-спектрів.
21. Калібрування спектрометра по енергії та ефективності реєстрації.
22. Особливості програми MGA.

23. Особливості програми MGAU.
24. Газонаповнені детектори нейтронів.
25. Пластикові та рідкі сцинтилятори.
26. Активний лічильник збігів колодязного типу.
27. Основи підрахунку нейтронів. Пасивний та активний аналіз.
28. Основи методу нейтронних збігів.
29. Основи калориметрії.
30. Основи альфа- та бета-спектрометрії..

Додаток 2

Приклад екзаменаційного білету

1. *Взаємодія важких заряджених частинок з речовиною.*
2. *Нелінійний метод найменших квадратів.*
3. *При вимірюванні активності зразка протягом 2 хвилин нарахували 2768 відліків лічильника, при вимірюванні фону протягом 10 хвилин - 2125 відліків. Знайти активність зразка та її похибку. Вважати, що число відліків підлягає розподілу Пуассона*

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

Складено ст.викл., к.ф.-м.н., Хоменковим Володимиром Петровичем

Ухвалено кафедрою АЕ (протокол № 20 від 12.06.2024р.)

Погоджено Методичною комісією НН ІАТЕ (протокол № 10 від 25.06.2024р.)