


МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Одеський державний екологічний університет

ЗАТВЕРДЖЕНО

на засіданні групи забезпечення
спеціальності
протокол № 1 від « 31.08 » 2020
року
Голова групи  Герасимов О.І.

УЗГОДЖЕНО

Декан природоохоронного ф-ту
 Чугай А.В.
(назва факультету, прізвище, ініціали)

СИЛЛАБУС

навчальної дисципліни

Основи радіаційної безпеки – 2
(Фізичні основи радіометрії та дозиметрії)

(назва навчальної дисципліни)

Спеціальність 183 Технології захисту навколишнього середовища
(шифр та назва спеціальності)

Технології захисту навколишнього середовища
(назва освітньої програми)

бакалавр
(рівень освіти)

денна
(форма навчання)

4 7 6/180 іспит
(рік навчання) (семестр навчання) (кількість кредитів ЄКТС/годин) (форма контролю)

кафедра загальної та теоретичної фізики
(кафедра)

Одеса, 2020 р.

Автор: Курятников В.В., доцент кафедри загальної та теоретичної фізики, кандидат ф.-м. наук.

Поточна редакція розглянута на засіданні кафедри (назва кафедри) від 31 «серпня» 2020 року, протокол № 1_____.

Викладач: Лекції – Курятников В.В., доцент кафедри загальної та теоретичної фізики, кандидат фіз.-мат. наук, доцент _____

Практичні заняття - – Курятников В.В., доцент кафедри загальної та теоретичної фізики, кандидат фіз.-мат. наук, доцент _____

(вид навчального заняття: прізвище, ініціали, посада, науковий ступінь, вчена звання)

Рецензент _____ Софронков О.Н., зав.каф.хімії навк.сер., д.т.н., проф.

(прізвище, ініціали, посада, науковий ступінь, вчена звання)

Перелік попередніх редакцій

Прізвища та ініціали авторів	Дата, № протоколу	Дата набуття чинності

1. ОПИС НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

<p>Мета</p>	<p>Метою дисципліни є поглиблене вивчення фізичних основ різних методів дозиметрії та радіометрії, особливостей дозиметрії різноманітних видів випромінювань, вивчення таких понять, як дози випромінювання, коефіцієнт послаблення та коефіцієнт передачі енергії, електронна рівновага, вивчення доз і потужності дози від різних видів іонізуючих випромінювань, питання вимірювання активності радіоактивних препаратів, визначення співвідношення між активністю радіоактивної речовини і дозою.</p>
<p>Компетентність</p>	<p>Компетенції (шифри основних фахових компетенцій у ОПП - К-23, К25.1, К25.2):</p> <p>К-23 Здатність оцінювати рівень екологічної загрози від радіаційного та інших техногенних випромінювань.</p> <p>К25.1 Володіння методами контролю радіаційного стану продукції харчового та промислового виробництва за допомогою радіометричних та дозиметричних приладів різних систем, здатність визначати дозові навантаження від спожитої продукції.</p> <p>К25.2 Володіння методами системної радіоекології, здійснювання технологічного аудиту і радіаційного контролю систем захисту довкілля за допомогою радіометричних та дозиметричних приладів, здатність визначати дозові навантаження на основні елементи довкілля.</p>
<p>Результати навчання</p>	<p>ПР18 Знати та вміти застосовувати методи та прилади контролю у радіо-дозиметрії та спектроскопії іонізуючого випромінювання.</p> <p>ПР19 Вміти ідентифікувати спектри випромінювання, визначати кількісні характеристики вмісту та розсіювання радіонуклідів у довкіллі, проводити аналіз та ідентифікацію радіонуклідів.</p> <p>ПР22.1 Вміти за відомими алгоритмами, використовуючи прилади радіоекологічної лабораторії, досліджувати радіаційну активність продуктів харчової промисловості та дози випромінювання. Здійснювати контроль радіаційного стану технологічних об'єктів, зв'язаних з виробництвом харчової продукції.</p> <p>ПР23.2 Вміти, використовуючи радіо- та дозиметричну апаратуру, оцінювати безпечність і</p>

	відповідність стану довкілля державним і міжнародним нормативам та стандартам радіаційної безпеки.
Базові знання	Знання особливостей дозиметрії різноманітних видів випромінювань, визначень таких понять, як дози випромінювання, коефіцієнт послаблення та коефіцієнт передачі енергії, електронна рівновага, питань визначення дози і потужності дози від різних видів іонізуючих випромінювань, питань вимірювання активності радіоактивних препаратів, визначень співвідношення між активністю радіоактивної речовини і дозою, методів дозиметрії.
Базові вміння	На основі встановлених вимог визначення радіаційної активності екосистем, використовуючи обладнання радіоекологічної лабораторії дослідити радіаційний стан середовища та дати науково – обґрунтовану характеристику радіоекологічних процесів.
Базові навички	За відомими алгоритмами в умовах екосистеми, використовуючи прилади радіоекологічної лабораторії досліджувати радіаційну активність ґрунтового покриву і дозу випромінювання. За відомим алгоритмом здійснювати контроль радіаційного стану природних та технологічних об'єктів. На основі алгоритму , використовуючи прилади радіоекологічної лабораторії та дані щодо показників рівня води, швидкості течії, визначити кількісні характеристики вмісту та розсіювання радіонуклідів у водних об'єктах, провести аналіз донних відкладень радіонуклідів в умовах досліджуваних об'єктів. Використовуючи радіометричну апаратуру оцінювати безпечність і відповідність продукції та матеріалів державним і міжнародним нормативам та стандартам радіаційної безпеки.
Пов'язані силлабуси	-
Попередня дисципліна	-
Наступна дисципліна	-

Кількість годин	лекції: 30 практичні заняття: 15 лабораторні заняття: 30 семінарські заняття: немає самостійна робота студентів: 105
-----------------	--

2. ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Лекційні модулі

Код	Назва модуля та тем	Кількість годин	
		аудиторні	СРС
ЗМ-Л1	1. Основні механізми взаємодії іонізуючого випромінювання з речовиною		
	1. Проходження заряджених частинок через речовину. Механізми взаємодії фотонного випромінювання з речовиною.	3	2
	2. Особливості взаємодії нейтронного випромінювання з речовиною	3	2
	3. Захист від α і β -випромінювання.	3	2
	4. Коефіцієнт послаблення та передачі енергії γ -випромінювання. Електрона рівновага. Середня енергія іоноутворення. Ефективний атомний номер речовини.	3	2
	5. Поглинена доза. Еквівалентна доза . Експозиційна доза. Потужність дози випромінювання. Одиниці доз. Захист від γ -випромінювання.	3	2
	Підготовка до КР-1		5
ЗМ-Л2	2. Методи дозиметричних вимірювань		
	1. Іонізаційні методи. Газорозрядні лічильники.	3	2
	2. Напівпровідникові лічильники. Особливості взаємодії іонізуючого випромінювання з напівпровідниковими матеріалами.	3	2
	3. Сцинтиляційні детектори. Термомюнісцентні дозиметри. Дозова чутливість.	3	2
	4. Рідинно іонізаційні камери. Комптонівський дозиметр. Застосування електретів у дозиметрії. Черенковські лічильники. Фотографічний та тепловий метод дозиметрії.	3	2
	5. Вивчення радіоекологічного лабораторного комплексу "ГАММАЛАБ"	3	2
	Підготовка до КР-2		5
Разом:		30	30

Консультації: Курятников Владислав Володимирович, сер,15.30,ауд.315

Прізвище і по батькові викладача, дні тижня та час за розкладом пар академічних годин, аудиторія.

Практичні модулі

Код	Назва модуля та тем	Кількість годин	
		аудиторні	СРС
ЗМ-П1	Лабораторні заняття		
	1. Вивчення роботи детекторів іонізуючого випромінювання.	8	8
	2. Визначення сумарної бета - активності препаратів за допомогою радіометрів РУБ-01П. Розрахунки питомої активності.	8	8
	3. Визначення пробігу бета-частинок	8	8
	4. Вивчення сцинтиляційних методів реєстрації іонізуючого випромінювання.	6	6
	Разом	30	30

Лабораторні заняття проводяться у лабораторії з

1. «Радіоекології»

на лабораторному обладнанні, опис якого наведений у відповідних методичних вказівках до лабораторних робіт.

Консультації: Курятников Владислав Володимирович, сер,15.30,ауд.315

Прізвище і по батькові викладача, дні тижня та час за розкладом пар академічних годин, аудиторія.

Код модуля	Назва модуля та тем	Кількість годин	
		аудиторні	СРС
ЗМ-П2	Практичні заняття-розв'язання задач		
	1. Визначення лінійного та масового пробігу бета-частинок.	5	5
	2. Багатоканальний аналізатор імпульсів Сцинтиляційний γ - спектрометр:	5	5
	3. Емуляція апаратурних гамма –спектрів в реальному часі. Вивчення програмного комплексу GAMMALAB	5	15
	Разом:	15	25

Консультації: Курятников Владислав Володимирович, сер,15.30,ауд.315

Прізвище і по батькові викладача, дні тижня та час за розкладом пар академічних годин, аудиторія.

Самостійна робота студента та контрольні заходи

Код модуля	Завдання на СРС та контрольні заходи	Кількість годин	Строк проведення
ЗМ-Л1	<ul style="list-style-type: none">Підготовка до лекційних занятьМКР1 (обов'язковий)	10 5	7 тижд.
ЗМ-Л2	<ul style="list-style-type: none">Підготовка до лекційних занятьМКР2 (обов'язковий)	10 5	14 тижд.
ЗМ-П1	<ul style="list-style-type: none">Підготовка до лабораторних занять	30	8 тижд.

	• Захист звіту ЛР (обов'язковий)		
ЗМ-П2	• Підготовка до практичних занять • ПУОП(обов'язковий)	25	14 тижд.
	• Підготовка до іспиту	20	
Разом:		105	

ОРГАНІЗАЦІЯ ПОТОЧНОГО ТА ПІДСУМКОВОГО КОНТРОЛЮ ЗНАНЬ

Методика поточного та підсумкового контролю знань регламентує організацію контролю рівня знань, вмінь та навичок, набутих студентами при вивченні розділів дисциплін, які вивчаються в ОДЕКУ згідно з навчальним планом та робочої програми.

Максимальна сума балів, яку може отримати студент, склавши всі теоретичні та практичні модулі на протязі семестру, береться рівною 100 балів.

Теоретичні та практичні модулі

№	Характер модуля	Назва модуля	Вид контролю (обов'язковий)	Макс. кількість балів	Викладач, що веде контроль
1	Теоретичний	ЗМ-Л1	МКР-1 (обов'язковий)	25	Викладач, що веде заняття.
2	Теоретичний	ЗМ-Л2	МКР-2 (обов'язковий)	25	Викладач, що веде заняття.
3	Практичний (лабораторн)	ЗМ-П1	УО (обов'язковий)	30	Викладач, що веде заняття.
4	Практичний	ЗМ-П2	УО (обов'язковий)	20	Викладач, що веде заняття.

Фактична сума балів, яку отримає студент за кожний модуль складається із підсумків виконання запланованих контрольних заходів, враховуючи своєчасність виконання студентом графіку навчального процесу. Якщо студент без поважних причин пропустив контрольний захід, або отримав незадовільну оцінку, то він має право скласти його у тижневий термін з максимальною сумою балів, яка дорівнює оцінці "задовільно".

Матеріал дисципліни розбивається на 2 теоретичні модулі та 2 практичних так, як наведено в таблицях.

У семестрі заплановано обов'язкове проведення 2-х модульних контрольних робіт з теоретичної частини. Контрольна робота виконується студентом на протязі запланованого часу за індивідуальними завданнями.

1.Методика проведення та оцінювання контрольного заходу ЗМ-Л1.

Модульна контрольна робота МКР1 проводиться у тестовому

форматі по завершенню опрацювання матеріалів лекційних занять. Модульна контрольна робота складається з 25 тестових завдань, які охоплюють всі теми даного модуля навчальної дисципліни. Відповідь на одне питання оцінюється в 1 бал. Максимальна оцінка за виконання контрольної роботи МКР-1 дорівнює 25 балам.

2. Методика проведення та оцінювання контрольного заходу ЗМ-Л2.

Модульна контрольна робота МКР2 проводиться у тестовому форматі по завершенню опрацювання матеріалів лекційних занять. Модульна контрольна робота складається з 25 тестових завдань, які охоплюють всі теми даного модуля навчальної дисципліни. Відповідь на одне питання оцінюється в 1 бал. Максимальна оцінка за виконання контрольної роботи МКР-2 дорівнює 25 балам.

3. Методика проведення та оцінювання контрольного заходу ЗМ-П1.

Виконання завдань модуля проводиться у вигляді опрацювання завдань у вигляді виконання лабораторних робіт.

Максимальна оцінка за виконання модуля ЗМП1 дорівнює 30 балам. Оцінка за виконання окремої лабораторної роботи пропорційна кількості аудиторних годин, що відведено на проведення цієї роботи.

4. Методика проведення та оцінювання контрольного заходу ЗМ-П2.

Виконання завдань модуля проводиться у вигляді опрацювання та виконання завдань у вигляді розв'язування задач.

Максимальна оцінка за виконання модуля ЗМП2 дорівнює 20 балам.

5. Методика проведення та оцінювання іспиту

Контроль поточних знань виконується на базі кредитно-модульної системи організації навчання. Підсумковим контролем є іспит.

Суми балів, які отримав студент за всіма змістовними модулями навчальної дисципліни, формують інтегральну оцінку поточного контролю студента з навчальної дисципліни. Вона є підставою для допуску студента до іспиту. До іспиту допускаються студенти, у яких фактична сума накопичених за семестр балів за практичну частину складає **не менше 25 балів**. В іншому випадку студент вважається таким, що не виконав навчального плану дисципліни, і не допускається до іспиту.

Загальна кількість балів підсумкового контролю складає **100 балів**.

Підсумковий семестровий контроль передбачає дві форми оцінювання успішності засвоєння студентом навчального матеріалу дисципліни:

- кількісна оцінка (бал успішності);
- якісна оцінка.

Методика визначення загальної екзаменаційної оцінки.

Для денної форми навчання студент, який не має на початок заліково-екзаменаційної сесії заборгованості по дисципліні, складає письмовий іспит за затвердженим розкладом та процедурою, яка виписана у пп. 2.7–2.10 Положення про проведення підсумкового контролю знань студентів, причому загальний бал успішності з дисципліни є усередненим між

кількісною оцінкою поточних контролюючих заходів та кількісною оцінкою, одержаною студентом на іспиті; якщо ж кількісна оцінка, одержана студентом на іспиті, менше 50% від максимально можливої, то загальний бал успішності дорівнює балу успішності на іспиті.

Екзаменаційний білет містить 25 тестових завдань. Максимальна оцінка за правильні відповіді на всі питання складає 100 балів.

Якщо студент отримав на іспиті незадовільну оцінку, або не мав допуску до іспиту, він після ліквідації своєї заборгованості проходить тестування на комісії по тестах на базові знання та вміння.

Оцінка за іспит є середньоарифметичною з оцінок у відсотках за кожне питання.

Бали успішності (у відсотках), які студент отримав за підсумками іспитів переносяться до графі 4 заліково-екзаменаційній відомості.

Згідно з п 1.3 «Положення про критерії оцінки знань студентів в ОДЕКУ» процедура проведення іспиту, максимальна кількість балів за кожне питання та по білету в цілому, доводиться до відома студентів на початку семестру.

Шкала переходу від оцінок за національною системою до системи ЄКТАС наведена у таблиці:

Критерії оцінювання екзаменаційних робіт за системою ECTS та системою університету

За шкалою ECTS	За національною системою	Визначення	За системою університету (у відсотках)
A	5 (відмінно)	відмінне виконання лише з незначною кількістю помилок	90 - 100
B	4 (добре)	вище середнього рівня з кількома помилками	82 - 89
C	4 (добре)	в загальному правильна робота з певною кількістю грубих помилок	74 - 81
D	3 (задовільно)	непогано, але зі значною кількістю помилок	64 - 73
E	3 (задовільно)	виконання задовольняє мінімальним критеріям	60 - 63
FX	2 (незадовільно)	з можливістю перескласти	35 - 59
F	2 (незадовільно)	з обов'язковим повторним курсом навчання	1 - 34

3. РЕКОМЕНДАЦІЇ ДО САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТІВ

Повчання по послідовному вивченню теоретичного матеріалу.

Модуль ЗМ-Л1 Основні механізми взаємодії іонізуючого випромінювання з речовиною

Тема 1.1 Проходження заряджених частинок через речовину.

Механізми взаємодії фотонного випромінювання з речовиною

Вивчаючи тему, потрібно звернути увагу на основні особливості руху важких та легких частинок у речовині. Основний механізм втрати енергії важкими зарядженими частинками - іонізаційний. Основні механізмами втрати енергії електронами та позитронами – іонізаційний та радіаційний. Проходження β -випромінювання (електронів та позитронів) через речовину відрізняється від проходження важких заряджених частинок. Головна причина відміни полягає в малості маси електронів і позитронів, та, як наслідок, великої зміни імпульсу не тільки за величиною, але й напрямком.

Іонізаційні втрати визначаються електромагнітною взаємодією частинки з електронами речовини, внаслідок чого атоми іонізуються або збуджуються, а частинки втрачають свою енергію. Механізм іонізаційних втрат для електронів, таким чином, не відрізняється від такого для інших заряджених частинок.

Точний розрахунок іонізаційних втрат енергії електронами (β^- -частинками) при зіткненнях з електронами атомів речовини в **релятивістському** випадку був проведений Бете.

Радіаційні втрати. З електродинаміки відомо, що заряджені частинки, які рухаються прискорено, обов'язково випромінюють електромагнітні хвилі. Таке випромінювання називають гальмовим, а відповідні затрати енергії називають гальмовими.

Оскільки прискорення обернено пропорційно масі, зрозуміло, що радіаційні втрати можуть вигравати важливу роль тільки для електронів, але ніяк не для важких частинок. Наприклад, при рівних діючих силах радіаційне випромінювання протонів приблизно у $3 \cdot 10^6$ разів менше за випромінювання електронів, оскільки маса протона у 1836 разів більша за масу електрона.

Іонізаційні втрати енергії електрона, що рухається крізь речовину, в основному обумовлені його зіткненнями з електронами атомних оболонок. Радіаційні втрати, навпаки, зумовлені взаємодією електрона з атомними ядрами середовища. Дійсно, як ми бачили, іонізаційні втрати пропорційні кількості електронів Z в атомі середовища. Радіаційні втрати пропорційні квадрату кулонівської сили притягання між електроном і ядром, яка, в свою чергу, пропорційна Ze . Тому радіаційне випромінювання при зіткненні з ядром у Z^2 разів більше, ніж при зіткненні з електроном, а кількість електронів лише у Z разів більша за

кількість ядер.

ЛІТЕРАТУРА

1. Курятников В.В. Фізичні основи радіометрії та дозиметрії : Конспект лекцій. Одеса: ОДЕКУ, 2011. 57с.
2. Герасимов О.І., Кільян А.М. Елементи фізики довкілля: Радіоекологія (конспект лекцій). Одеса: ОДЕКУ, 2003. 134с.
3. Герасимов О.І. Радіоекологія за галузями. Підручник. Одеса: ТЕС, 2016. 100с.
4. Иванов В.И. Курс дозиметрии. М.: Атомиздат, 1988.
5. Шаров Ю.Н., Шубин Н.В. Дозиметрия и радиационная безопасность. М.: Энергоатомиздат, 1991.
6. Голубев Б.П. Дозиметрия и защита от ионизирующих излучений. М.: Атомиздат, 1986.

ПИТАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ

- 1.*Взаємодія важких заряджених частинок іонізуючого випромінювання з речовиною.
2. *Радіоактивність. Одиниці радіоактивності.
3. *Питома активність. Зв'язок між активністю та масою радіоактивної речовини.
4. *Взаємодія гамма-випромінювання з речовиною.
5. Проведення радіаційно-дозиметричного контролю при використанні джерел іонізуючого випромінювання в об'єктах навколишнього природного середовища.

(* - питання для самоперевірки базових результатів навчання - знань, вмінь, навичок).

Тема 1.2 Особливості взаємодії нейтронного випромінювання з речовиною

Процеси взаємодії нейтронів з речовиною визначаються як енергією нейтронів, так і атомним складом поглинаючої речовини.

Нейтрони не мають електричного заряду, тому практично ніяк не взаємодіють з атомними електронами. Втрати енергії нейтронних потоків при проходженні електронів через речовину пов'язані із зіткненнями нейтронів з атомними ядрами. Залежно від енергії нейтрона знаходиться механізм процесів взаємодій.

При енергії нейтрона:

1) більше 0,1 Мев (швидкі нейтрони) відбувається механізм пружного розсіяння. Нейтрони таких енергій можуть так сильно штовхнути ядро, що воно відірветься від своїх власних електронів і полетить вперед без електрона, як важка заряджена частинка, проводячи іонізацію і збудження атомів і молекул речовини;

2) механізм $E < 0,1$ Мев - це механізм розщеплювання атомного ядра;

3) механізм радіаційного захоплення нейтрона. При низьких енергіях нейтрона, він може бути захоплений ядром атома речовини, яка переходить в збуджений енергетичний стан. Виникає ядро нового ізотопу. Тут теж $E < 0,1$ МЕВ.

Процес проходження нейтронів через речовину можна описати експоненціальним законом. Вірогідність того, що один з нейтронів зачепить хоч би одне з ядер атомів, пропорційна довжині шляху нейтрона та ефективному перерізу розсіювання σ .

Приблизно хімічний склад м'якої живої тканини можна визначити формулою уявлюваної тканинної молекули $(C_5H_{40}O_{18}N)_x$. Для живої тканини характерно, що вона складається в основному з легких елементів. Перевага того чи іншого з перерахованих раніше процесів взаємодії нейтронів з речовиною визначеного хімічного складу цілком визначається енергією нейтронів.

Повільні нейтрони з енергіями від теплових до 1 кеВ. Для легких ядер основним видом взаємодії цієї групи нейтронів є пружне розсіювання. Перетворення енергії повільних нейтронів у живій тканині відбувається в результаті пружного розсіювання.

Теплові нейтрони, що утворилися в результаті уповільнення більш енергетичних нейтронів, потрапляють в тканину ззовні, захоплюються ядрами елементів тканини з утворенням нових ізотопів.

Швидкі нейтрони. Основний процес, що визначає поглинання енергії швидких нейтронів у тканини,—пружне розсіювання. Майже вся поглинена енергія розподіляється між ядрами віддачі водню (протони віддачі), вуглецю, азоту і кисню. Роль ядер віддачі інших елементів, що входять до складу тканини, незначна. Внесок у поглинену енергію нейтронів ядер віддачі вуглецю, азоту і кисню приблизно однаковий, на частку протонів віддачі припадає 70—80 % усієї поглиненої енергії швидких нейтронів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Курятников В.В. Фізичні основи радіометрії та дозиметрії : Конспект лекцій. Одеса: ОДЕКУ, 2011. 57с.
2. Герасимов О.І., Кільян А.М. Елементи фізики довкілля: Радіоекологія (конспект лекцій). Одеса: ОДЕКУ, 2003. 134с.
3. Герасимов О.І. Радіоекологія за галузями. Підручник. Одеса: ТЕС, 2016. 100с.
4. Иванов В.И. Курс дозиметрии. М.: Атомиздат, 1988.
5. Шаров Ю.Н., Шубин Н.В. Дозиметрия и радиационная безопасность. М.: Энергоатомиздат, 1991.
6. Голубев Б.П. Дозиметрия и защита от ионизирующих излучений. М.: Атомиздат, 1986.

ПИТАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ

1. *Захист від нейтронних потоків.
 2. *Захист від γ -випромінювання. Коефіцієнт послаблення.
 3. *Взаємодія нейтронів з речовиною.
 4. Проходження нейтронів через речовину.
 5. Взаємодія нейтронів з речовиною. Ефективний переріз розсіяння.
 6. Резонансне поглинання нейтронів.
- (* - питання для самоперевірки базових результатів навчання - знань, вмінь, навичок)

Тема 1.3 Захист від α і β -випромінювання.

Радіація - узагальнене поняття. Воно включає різні види випромінювань, частина яких зустрічається у природі, інші виходять штучним шляхом.

Перш за все слід розрізнити корпускулярне випромінювання, яке складається із частинок з масою відмінною від нуля, і електромагнітне випромінювання. Корпускулярне випромінювання може складатися як із заряджених, так і з нейтральних частинок. Розрізняють такі види корпускулярного випромінювання:

Альфа-випромінювання - є ядра гелію, які випускаються при радіоактивному розпаді елементів важче свинцю або утворюються в ядерних реакціях.

Бета-випромінювання - це електрони або позитрони, які утворюються при бета-розпаді різних елементів від найлегших (нейтрон) до найважчих.

Космічне випромінювання приходить на Землю з космосу. До його складу входять переважно протони і ядра гелію. Більш важкі елементи складають менше 1%. Проникаючи вглиб атмосфери, космічне випромінювання взаємодіє з ядрами, що входять до складу атмосфери, і утворюють потоки вторинних частинок (мезони, гамма-кванти, нейтрони).

Електромагнітне випромінювання має широкий спектр енергій і різні джерела: гамма-випромінювання атомних ядер і гальмівне випромінювання прискорених електронів, радіохвилі.

Альфа-випромінювання має малу довжину пробігу частинок і характеризується слабкою проникаючою здатністю. Воно не може проникнути крізь шкірні покриви. Пробіг альфа-частинок з енергією 4 МеВ в повітрі становить 2.5 см, а в біологічній тканині лише 31 мкм.

Альфа-випромінюючі нукліди становлять велику небезпеку при надходженні всередину організму через органи дихання і травлення, відкриті рани та опікові поверхні.

Бета-випромінювання має більшу проникаючу здатність.

Гамма-випромінювання має ще більш високу проникаючу здатність. Під його дією відбувається опромінення всього організму .

Час життя збудженого стану дуже малий, однак в деяких випадках збуджений стан ядра може існувати дуже довго. Такі ядерні

стани називаються метастабільними. Ядра, які мають метастабільні рівні, називаються ізомерами. Ядро - ізомер несе в собі властивість 2-ох ядер: його параметри (маса, спін, магнітний момент) в цих станах різні. Ізомерні стани часто бувають у важких ядрах.

ЛІТЕРАТУРА

1. Курятников В.В. Фізичні основи радіометрії та дозиметрії : Конспект лекцій. Одеса: ОДЕКУ, 2011. 57с.
2. Герасимов О.І., Кільян А.М. Елементи фізики довкілля: Радіоекологія (конспект лекцій). Одеса: ОДЕКУ, 2003. 134с.
3. Герасимов О.І. Радіоекологія за галузями. Підручник. Одеса: ТЕС, 2016. 100с.
4. Иванов В.И. Курс дозиметрии. М.: Атомиздат, 1988.
5. Шаров Ю.Н., Шубин Н.В. Дозиметрия и радиационная безопасность. М.: Энергоатомиздат, 1991.
6. Голубев Б.П. Дозиметрия и защита от ионизирующих излучений. М.: Атомиздат, 1986.

ПИТАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ

1. * Альфа-випромінювання
2. * Бета-випромінювання
3. Особливості β -розпаду.
4. * Поглинена доза. Одиниці дози.

(* - питання для самоперевірки базових результатів навчання - знань, вмінь, навичок)

Тема 1.4. Коефіцієнт послаблення та передачі енергії γ -випромінювання. Електрона рівновага. Середня енергія іоноутворення. Ефективний атомний номер речовини

Відзначено, що в елементарних актах взаємодії фотонів з речовиною частина енергії первинного випромінювання перетвориться в кінетичну енергію електронів, а частина - в енергію вторинного фотонного випромінювання. Це дозволяє повний коефіцієнт ослаблення представити у виді суми двох коефіцієнтів

$$\mu = \mu_k + \mu_s,$$

де μ_k і μ_s - відповідно частини коефіцієнта ослаблення, що визначають перетворення енергії фотонів у кінетичну енергію електронів і енергію вторинного фотонного випромінювання (характеристичне випромінювання, розсіяні фотони, анігіляційне випромінювання).

Коефіцієнт μ_k називається коефіцієнтом передачі енергії випромінювання. Як і коефіцієнт ослаблення, μ_k може масовим, атомним, електронним і лінійним.

Може статись, що сумарна кінетична енергія всіх електронів, що

входять у розглянутий об'єм, дорівнює сумарній кінетичній енергії електронів, що залишають його. Такий стан взаємодії фотонного випромінювання з речовиною, при якому енергія звільнених фотонами електронів, що внесена в деякий об'єм, дорівнює енергії, що виносять електрони з того ж об'єму, називається електронною рівновагою.

ЛІТЕРАТУРА

1. Курятников В.В. Фізичні основи радіометрії та дозиметрії : Конспект лекцій. Одеса: ОДЕКУ, 2011. 57с.
2. Герасимов О.І., Кільян А.М. Елементи фізики довкілля: Радіоекологія (конспект лекцій). Одеса: ОДЕКУ, 2003. 134с.
3. Герасимов О.І. Радіоекологія за галузями. Підручник. Одеса: ТЕС, 2016. 100с.
4. Иванов В.И. Курс дозиметрии. М.: Атомиздат, 1988.
5. Шаров Ю.Н., Шубин Н.В. Дозиметрия и радиационная безопасность. М.: Энергоатомиздат, 1991.
6. Голубев Б.П. Дозиметрия и защита от ионизирующих излучений. М.: Атомиздат, 1986.

ПИТАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ

1. * Коефіцієнт послаблення та передачі енергії γ - випромінювання..
2. * Коефіцієнт передачі енергії випромінювання.
3. Зв'язок між поглиненою дозою D і кермою K
(* - питання для самоперевірки базових результатів навчання -знань, вмінь, навичок)

Тема 1.5 Поглинена доза. Еквівалентна доза. Експозиційна доза. Потужність дози випромінювання. Одиниці доз. Захист від γ -випромінювання.

Поглинена доза

Основною фізичною величиною, прийнятої в дозиметрії для оцінки міри дії іонізуючого випромінювання, є поглинена доза, чи просто доза випромінювання.

Поглинена доза випромінювання — це поглинена енергія випромінювання, що розрахована на одиницю маси опроміненої речовини.

Якщо в елементі об'єму, що містить масу речовини dm , середня поглинена дорівнює dE , доза випромінювання D визначається формулою

$$D = dE / dm.$$

Доза D цілком визначається поглинанням енергії при взаємодії заряджених частинок з речовиною. Встановлена в системі СІ одиниця дози іонізуючого випромінювання (поглинена доза) — грей, її позначення Гр— по імені англійського вченого С. Грея, що зробив великий внесок у становлення радіаційної дозиметрії.

Експозиційна доза. Експозиційна доза - специфічна величина в дозиметрії, уведена для фотонного випромінювання. Вона дорівнює абсолютному значенню повного заряду іонів одного знака, що утворюються в повітрі при повному гальмуванні електронів і позитронів, звільнених фотонами в одиниці маси повітря.

Важливо розуміти, що заряд включає заряд всіх іонів одного знака, створених у результаті повного використання кінетичної енергії електронів і позитронів у повітрі незалежно від місця утворення цих іонів.

Встановлена в системі СІ одиниця експозиційної дози - кулон на кілограм, Кл/кг. Кулон на кілограм дорівнює експозиційній дозі, при якій всі електрони і позитрони, звільнені фотонами в повітрі масою 1 кг, утворюють іони, що несуть електричний заряд 1 Кл кожного знака. У практиці і науковій літературі поширена позасистемна одиниця експозиційної дози - рентген, позначення Р.

$$1 \text{ Р} = 2,58 \cdot 10^{-4} \text{ Кл/кг (точно);}$$

$$1 \text{ Кл/кг} = 3,88 \cdot 10^3 \text{ Р (приблизно).}$$

У випадку фотонного випромінювання визначається сумарна кінетична енергія електронів К, що виникають в одиниці маси речовини в результаті фотоэффекта, комптон-ефекту й ефекту утворення електрон-позитронних пар; визначається також енергія гальмового випромінювання.

У дозиметрії є величина К, яка має спеціальну назву керма. Від англійського *kerma* - скорочена форма *kinetic energy released in material*.

Керма дорівнює сумі кінетичної енергії всіх заряджених частинок, звільнених побічно іонізуючим випромінюванням в одиниці маси речовини, що опромінюється.

Доза випромінювання залежить від часу опромінення; з часом доза накопичується, зміна дози в одиницю часу називається потужністю дози.

ЛІТЕРАТУРА

1. Курятников В.В. Фізичні основи радіометрії та дозиметрії : Конспект лекцій. Одеса: ОДЕКУ, 2011. 57с.
2. Герасимов О.І., Кільян А.М. Елементи фізики довкілля: Радіоекологія (конспект лекцій). Одеса: ОДЕКУ, 2003. 134с.
3. Герасимов О.І. Радіоекологія за галузями. Підручник. Одеса: ТЕС, 2016. 100с.
4. Иванов В.И. Курс дозиметрии. М.: Атомиздат, 1988.
5. Шаров Ю.Н., Шубин Н.В. Дозиметрия и радиационная безопасность. М.: Энергоатомиздат, 1991.

6. Голубев Б.П. Дозиметрия и защита от ионизирующих излучений. М.: Атомиздат, 1986.

ПИТАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ

1. *Поглинена доза
 - 2.*Вимірювання щільності потоку бета-частинок дозиметром «Стора».
 3. *Потужність дози випромінювання.
 4. * Гамма-випромінювання.
- (* - питання для самоперевірки базових результатів навчання -знань, вмінь, навичок)

2. Модуль ЗМ-Л2 Методи дозиметричних вимірювань

Тема 2.1 Іонізаційні методи. Газорозрядні лічильники.

Для реєстрації ядерних частинок широко застосовуються лічильники Гейгера-Мюллера, який являє собою циліндричний конденсатор, розміщений у скляній трубці, що наповнена газом при тиску порядку 100 мм, рт. ст.. Одним електродом лічильника служить металева нитка, іншим – провідний шар, нанесений на внутрішню поверхню трубки. Оскільки газ у трубці є діелектриком, то при напрузі недостатньої для його пробою і відсутності радіоактивного випромінювання струму в ланцюзі лічильника немає. Частинка, що виникає в процесі радіоактивного розпаду, попадає в простір між електродами лічильника і викликає іонізацію атомів газу. Електрони, що утворилися, і іони під дією полю спрямовуються на електроди. У ланцюзі лічильника виникає короткочасний імпульс струму.

Максимальне значення струму в імпульсі не завжди пропорційно напрузі на лічильнику, тобто не визначається законом Ома, а залежить від режиму роботи лічильника.

ЛІТЕРАТУРА

1. Курятников В.В. Фізичні основи радіометрії та дозиметрії : Конспект лекцій. Одеса: ОДЕКУ, 2011. 57с.
2. Герасимов О.І., Кільян А.М. Елементи фізики довкілля: Радіоекологія (конспект лекцій). Одеса: ОДЕКУ, 2003. 134с.
3. Герасимов О.І. Радіоекологія за галузями. Підручник. Одеса: ТЕС, 2016. 100с.
4. Иванов В.И. Курс дозиметрии. М.: Атомиздат, 1988.
5. Шаров Ю.Н., Шубин Н.В. Дозиметрия и радиационная безопасность. М.: Энергоатомиздат, 1991.

ПИТАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ

- 1.*Іонізаційні методи.
 2. *Газорозрядні лічильники.
 3. *Зони роботи газорозрядного лічильника
 4. *Лічильник Гейгера-Мюллера.
- (* - питання для самоперевірки базових результатів навчання -знань, вмінь, навичок)

Тема 2.2 Напівпровідникові лічильники. Особливості взаємодії іонізуючого випромінювання з напівпровідниковими матеріалами.

Застосування напівпровідників як дозиметричних детекторів засновано на їх здатності реєструвати іонізуючі частинки. Напівпровідник як лічильник елементарних частинок виступає як аналог імпульсної іонізаційної камери, але в основі роботи лічильника лежить іонізація атомів твердого тіла. У порівнянні з газовими іонізаційними детекторами напівпровідникові лічильники мають особливості, що визначають їхні переваги і недоліки і можливість використання для дозиметрії.

Результатом іонізації в напівпровіднику є поява вільних електронів у зоні провідності і дірок у валентній зоні. Ширина забороненої зони не перевершує декількох електрон-вольтів, тому й енергія, що необхідна для утворення пари “електрон-дірка”, є величиною того ж порядку.

Іонізаційний ефект у напівпровідниковому детекторі буде на кілька порядків вище, ніж в іонізаційній камері. Інша важлива особливість напівпровідникових детекторів у порівнянні з газовими - висока рухливість носіїв. Висока рухливість носіїв зарядів визначає малий час збирання електричних зарядів на електроди і як наслідок велику розрізнявальну здатність детектора при лічильно-імпульсному режимі роботи (мертвий час),

Малий час збирання істотно знижує імовірність рекомбінації позитивних і негативних зарядів. Крім того, велика рухливість носіїв зарядів за інших рівних умов забезпечує більший іонізаційний струм. У розрахунку на однаковий іонізаційний ефект напівпровідниковий детектор вимагає на кілька порядків меншої електричної напруги, ніж газовий. Це ще одна перевага напівпровідників.

Порівняно мала ширина забороненої зони обумовлює появу вільних електричних зарядів у результаті флуктуації енергії теплового руху. Це приводить до того, що порівняно висока «фонова» провідність напівпровідника істотно залежить від температури. Тут ми маємо справу з однією з найбільш серйозних труднощів при використанні напівпровідників як дозиметричних детекторів.

Дозиметричні характеристики напівпровідникових детекторів.

Переваги напівпровідників повною мірою очевидні, коли вони служать лічильниками і спектрометричними детекторами. Використання напівпровідникових детекторів в дозиметрії для виміру експозиційної і поглиненої доз обмежено помітною залежністю дозової чутливості від енергії випромінювання. Незважаючи на аналогію з іонізаційною камерою по механізму дії, у дозиметричному відношенні напівпровідникові детектори, скоріше, схожі на сцинтиляційні детектори.

Малі габарити, можливість створення практично точкових дозиметрів з малою напругою живлення роблять напівпровідникові детектори

незамінними в клінічній дозиметрії і радіобіологічних дослідженнях.

Принциповий недолік напівпровідникових дозиметрів — невизначеність у величині чуттєвого об'єму.

Щоб бути зареєстрованою, іонізуюча частинка не обов'язково повинна створювати заряди безпосередньо в чуттєвому об'ємі.

Радіаційні ушкодження викликають зміни електричних властивостей напівпровідника, приводячи до росту питомого опору. Необоротні радіаційно-індуцйовані зміни електричної провідності напівпровідникових детекторів самі по собі можуть бути використані для виміру дози іонізуючого випромінювання

ЛІТЕРАТУРА

1. Курятников В.В. Фізичні основи радіометрії та дозиметрії : Конспект лекцій. Одеса: ОДЕКУ, 2011. 57с.
2. Герасимов О.І., Кільян А.М. Елементи фізики довкілля: Радіоекологія (конспект лекцій). Одеса: ОДЕКУ, 2003. 134с.
3. Герасимов О.І. Радіоекологія за галузями. Підручник. Одеса: ТЕС, 2016. 100с.
4. Иванов В.И. Курс дозиметрии. М.: Атомиздат, 1988.
5. Шаров Ю.Н., Шубин Н.В. Дозиметрия и радиационная безопасность. М.: Энергоатомиздат, 1991.
6. Голубев Б.П. Дозиметрия и защита от ионизирующих излучений. М.: Атомиздат, 1986.

ПИТАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ

1. *Дозиметричні характеристики напівпровідникових детекторів
*Захист від нейтронних потоків.
2. * Експозиційна доза випромінювання. Потужність експозиційної дози випромінювання.
3. Переваги напівпровідників
(* - питання для самоперевірки базових результатів навчання -знань, вмінь, навичок)

Тема 2.3 Сцинтиляційні детектори. Термолюмінісцентні дозиметри. Дозова чутливість.

Випромінювання, взаємодіючи з речовиною сцинтилятора, утворює у ньому електрони, що, поглинаючи в сцинтиляторі, створюють спалахи. Світло від спалахів падає на фотокатод фотоелектронного помножувача (ФЕП). З фотокатода вибиваються фотоелектрони, і посиленій електронний струм попадає на анод. Кожному електрону, поглиненому в сцинтиляторі, відповідає імпульс струму в анодному ланцюзі ФЕП, отже, виміру може підлягати як середнє значення анодного струму, так і число імпульсів струму в одиницю часу. Відповідно до цього розрізняють струмовий і лічильний режими сцинтиляційного дозиметра.

Різний механізм висвітлювання органічних і неорганічних сцинтиляторів визначає розходження їхніх основних характеристик:

конверсійної ефективності, залежності конверсійної ефективності від енергії заряджених частинок, спектрального складу і тривалості сцинтиляцій; для дозиметрії також важливий ефективний атомний номер речовини сцинтилятора.

Конверсійна ефективність визначає ту частину загубленої в сцинтиляторі зарядженою частинкою енергії, що перетворюється в енергію світлових фотонів.

У кожній сцинтиляції виникають фотони, що мають різну енергію. Оптичний спектр сцинтиляцій практично не залежить від енергії зарядженої частинки і визначається складом речовини сцинтилятора.

Не усі фотони, що виникають у сцинтиляційному процесі, досягають фотокатода помножувача. Взаємодія світлових фотонів з речовиною сцинтилятора приводить до зменшення їхнього числа і зміни їхньої середньої енергії. Вихід фотоелектронів з фотокатода істотно залежить від спектрального складу світла, тому завжди бажано, щоб спектр сцинтиляційних фотонів відповідав максимуму спектральної чутливості фотокатода. Експериментально отримані значення виходу фотоелектронів на один випущений сцинтилятором світловий фотон 0,025—0,05. Ці значення, що включають утрати світла в сцинтиляторі, отримані при відповідності спектра сцинтиляцій чутливості фотокатода.

По світловиходу і сталості конверсійної ефективності неорганічні сцинтилятори мають перевагу перед органічними. Однак у дозиметрії важливу роль грає ефективний атомний номер речовини сцинтилятора, і тому переваги залишаються за органічними сцинтиляторами.

ЛІТЕРАТУРА

1. Курятников В.В. Фізичні основи радіометрії та дозиметрії : Конспект лекцій. Одеса: ОДЕКУ, 2011. 57с.
2. Герасимов О.І., Кільян А.М. Елементи фізики довкілля: Радіоекологія (конспект лекцій). Одеса: ОДЕКУ, 2003. 134с.
3. Герасимов О.І. Радіоекологія за галузями. Підручник. Одеса: ТЕС, 2016. 100с.
4. Иванов В.И. Курс дозиметрии. М.: Атомиздат, 1988.
5. Шаров Ю.Н., Шубин Н.В. Дозиметрия и радиационная безопасность. М.: Энергоатомиздат, 1991.
6. Голубев Б.П. Дозиметрия и защита от ионизирующих излучений. М.: Атомиздат, 1986.

ПИТАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ

1. * Механізм висвітлювання органічних і неорганічних сцинтиляторів.
 2. Оптичний спектр сцинтиляцій.
 3. *Принцип роботи фотоелектронного помножувача.
 4. *Фотоелектронний ефект.
 5. Диноди. Динотронний ефект.
- (* - питання для самоперевірки базових результатів навчання -знань, вмінь, навичок)

Тема 2.4 Рідинноіонізаційні камери. Комптоновський дозиметр. Застосування електретів у дозиметрії. Черенковські лічильники. Фотографічний та тепловий метод дозиметрії.

Радіофотолюмінесцентні дозиметри. Два види люмінесценції одержали визнання в дозиметрії: радіофотолюмінесценція і радіотермолюмінесценція. У якості радіофотолюмінесцентних детекторів практичне значення для дозиметрії мають тільки неорганічні матеріали, активовані сріблом. Однак застосування неорганічних кристалів зв'язано зі труднощами, що виникають при їхньому виготовленні. У СРСР був запропонований радіофотолюмінесцентний дозиметр на основі хлористого натрію $\text{NaCl}(\text{Ag})$, активованого сріблом. Найбільше поширення одержали, однак, метафосфатні скла. Їх склад визначає основні дозиметричні якості: ефективний атомний номер, фонову люмінесценцію, відносну чутливість, енергетичну залежність.

ЛІТЕРАТУРА

1. Курятников В.В. Фізичні основи радіометрії та дозиметрії : Конспект лекцій. Одеса: ОДЕКУ, 2011. 57с.
2. Герасимов О.І., Кільян А.М. Елементи фізики довкілля: Радіоекологія (конспект лекцій). Одеса: ОДЕКУ, 2003. 134с.
3. Герасимов О.І. Радіоекологія за галузями. Підручник. Одеса: ТЕС, 2016. 100с.
4. Иванов В.И. Курс дозиметрии. М.: Атомиздат, 1988. 459с.
5. Шаров Ю.Н., Шубин Н.В. Дозиметрия и радиационная безопасность. М.: Энергоатомиздат, 1991.
6. Голубев Б.П. Дозиметрия и защита от ионизирующих излучений. М.: Атомиздат, 1986.

ПИТАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ

1. *Рідинно іонізаційні камери.
 2. *Комптоновський дозиметр.
 3. Застосування електретів у дозиметрії.
 4. Черенковські лічильники.
 5. *Фотографічний та тепловий метод дозиметрії..
- (* - питання для самоперевірки базових результатів навчання - знань, вмінь, навичок)

Тема 2.5 Вивчення радіоекологічного лабораторного комплексу “ГАММАЛАБ”

Радіаційний моніторинг — це інформаційно-технічна система спостережень, оцінювання та прогнозу радіаційного стану біосфери. Основними і потенційними джерелами радіаційного забруднення в мирний час є атомні електростанції, підприємства з виробництва ядерного палива, склади ядерної зброї, підприємства з переробки ядерних відходів, місця

захоронення відходів тощо. Незважаючи на великі зусилля для підвищення безпеки експлуатації ядерних реакторів та інших ядерних об'єктів, усі вони є джерелами ядерної небезпеки й потенційними джерелами радіаційного забруднення навколишнього середовища. Основними забруднюючими факторами при радіаційному забрудненні є внутрішнє опромінення радіонуклідами, що попадають в організм людини з продуктами харчування і водою.

Дози довгострокового опромінення населення за рахунок Cs-137 та Sr-90 у продуктах харчування залежать від різної хімічної поведінки радіонуклідів у ґрунті. Після випадання на ґрунт цезій фіксується в мінеральних фракціях ґрунту і стає менш доступним для рослин. Уважається, що такий процес фіксації в мінеральних фракціях ґрунтів завершується протягом перших кількох років, хоча значна частина Cs-137 залишається в хімічних формах, які цілком доступні для рослин. Методи радіаційного моніторингу повинні включати в себе як оцінку стану джерела забруднення, так і оцінку забруднення навколишнього середовища в близькій зоні (до 5 км) та дальній зоні (до 100 км). Повинні бути розроблені конкретні часові рамки, формати даних моніторингу, процедури їх передачі й використання для прогнозу доз опромінення і вироблення рекомендацій для прийняття рішень.

ЛІТЕРАТУРА

1. Курятников В.В. Фізичні основи радіометрії та дозиметрії : Конспект лекцій. Одеса: ОДЕКУ, 2011. 57с.
2. Герасимов О.І., Кільян А.М. Елементи фізики довкілля: Радіоекологія (конспект лекцій). Одеса: ОДЕКУ, 2003. 134с.
3. Герасимов О.І. Радіоекологія за галузями. Підручник. Одеса: ТЕС, 2016. 100с.
4. Иванов В.И. Курс дозиметрии. М.: Атомиздат, 1988.

ПИТАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ

1. *Визначення еквівалентної дози методом дозових коефіцієнтів.
2. *Гранично допустима доза випромінювання за нормами НРБУ.
3. Визначення пробігу заряджених частинок у речовині..
4. Сцинтиляційний метод реєстрації іонізуючого випромінювання.
(* - питання для самоперевірки базових результатів навчання -знань, вмінь, навичок)

Модуль ЗМ-П1 Методика проведення лабораторного модуля ЗМП-1 Лабораторна робота №1 Вивчення роботи детекторів іонізуючого випромінювання.

Для виконання лабораторної роботи береться лічильник Гейгера-Мюллера, який являє собою циліндричний конденсатор, розміщений у

скляній трубці, що наповнена газом. Частинка, що виникає в процесі радіоактивного розпаду, попадає в простір між електродами лічильника і викликає іонізацію атомів газу. Електрони, що утворилися, і іони під дією поля спрямовуються на електроди. У ланцюзі лічильника виникає короткочасний імпульс струму; Суть роботи: Визначення енергетичного розділення, визначення мертвого часу, визначення чутливості.

Лабораторне обладнання забезпечено лабораторіями кафедри загальної та теоретичної фізики.

Лабораторні вимірювання:

Вправа 1: вимірювання основних характеристик детекторів іонізуючого випромінювання

Вправа 2: вимірювання радіаційного фону у лабораторії.

Вимірювання провести згідно методичних вказівок до виконання відповідної роботи.

ЛІТЕРАТУРА

1. Курятников В.В., Співак А.Я., Кільян А.М. Фізичні основи радіометрії та дозиметрії : Збірник методичних вказівок до лабораторних робіт. Одеса: ОДЕКУ, 2008. 34 с.
2. Курятников В.В. Методичні вказівки до лабораторних робіт з дисципліни “Основи технологій захисту навколишнього середовища” ч.2. Одеса: ОДЕКУ , 2021. 36с.
3. Курятников В.В., Кільян А.М. Радіоекологія : Методичні вказівки до лабораторних робіт. Одеса: ОДЕКУ, 2002. 35 с.
4. Курятников В.В. Фізичні основи радіометрії та дозиметрії : Конспект лекцій. Одеса: ОДЕКУ, 2011. 57с.

ПИТАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ

1. *Принцип роботи детектора Гейгера-Мюллера.
 2. Визначення мертвого часу детектора методом 2-х препаратів.
 3. *Сцинтиляційний метод реєстрації іонізуючого випромінювання.
 - 4*. Сцинтиляційний детектор.
- (* - питання для самоперевірки базових результатів навчання -знань, вмінь, навичок)

Лабораторна робота № 2 Визначення сумарної бета - активності препаратів за допомогою радіометрів РУБ-01П. Розрахунки питомої активності.

Для будь-якого нукліда можна розрахувати його питому активність q (Бк/кг) користуючись двома як правило відомими показниками: масовим числом A та періодом напіврозпаду $T_{1/2}$ (с). Для виконання роботи потрібно засвоїти поняття питомої активності та та періоду напіврозпаду. Процедура вимірювань описується у роботі1 [1].

Лабораторне обладнання забезпечено лабораторіями кафедри загальної та теоретичної фізики.

Лабораторні вимірювання:

Вправа 1:

Вимірювання провести згідно методичних вказівок до виконання відповідної роботи.

Практична частина:

Вправа 1: Розрахувати питому активність ізотопу ^{40}K у KCl та K_2CO_3 .

Вправа 2: Розрахувати питому активність ізотопу ^{137}Cs у матеріалі ($m_0 = 10\text{кг}$), з якого отримали після концентрування ($C = 10^5$) точкову пробу, швидкість лічби ($n = 10\text{імп/с}$), вимір - сцинтиляційним детектором NaI(Tl) стандартних розмірів ($40 \times 40\text{мм}$) на відстані $d=R/2$.

* Примітка: ядерно-фізичні характеристики ізотопів отримати за допомогою віртуальної гамма-лабораторії GAMMALAB.

ЛІТЕРАТУРА

1. Курятников В.В., Співак А.Я., Кільян А.М. Фізичні основи радіометрії та дозиметрії : Збірник методичних вказівок до лабораторних робіт. Одеса: ОДЕКУ, 2008. 34 с.
2. Курятников В.В. Методичні вказівки до лабораторних робіт з дисципліни “Основи технологій захисту навколишнього середовища” ч.2. Одеса: ОДЕКУ , 2021. 36с.
3. Курятников В.В., Кільян А.М. Радіоекологія : Методичні вказівки до лабораторних робіт. Одеса: ОДЕКУ, 2002. 35 с.
4. Курятников В.В. Фізичні основи радіометрії та дозиметрії : Конспект лекцій. Одеса: ОДЕКУ, 2011. 57с.

ПИТАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ

1. *Перелічити методи концентрування.
2. *Дати визначення швидкості лічби.
3. *Дати визначення чутливості, від чого вона залежить?
4. Пояснити вплив геометрії проби та детектора на чутливість.
5. *Дати визначення ефективності реєстрації.
6. У чому полягає метод тонких проб?

(* - питання для самоперевірки базових результатів навчання - знань, вмінь, навичок)

Лабораторна робота № 3 Визначення пробігу бета-частинок

Мета роботи: ознайомитися з механізмами проходження бета-випромінювання крізь речовину, визначити лінійний та масовий пробіги бета-частинок в речовині та їх максимальну енергію.

У результаті виконання роботи студент повинен знати механізми проходження бета-випромінювання крізь речовину та вміти визначити лінійний та масовий пробіги бета-частинок в речовині та їх максимальну енергію.

Проходження бета-частинок через речовину супроводжується пружними і непружними співудараннями бета-частинок з ядрами і електронами середовища.

Пружне розсіяння на ядрах здійснюється при відносно низьких енергіях ($E < 0,5$ MeV) бета-частинок. При енергії бета-частинок більше енергії зв'язку електронів і до 1 MeV основним механізмом втрат енергії є непружне розсіяння на зв'язаних електронах, що веде до іонізації і збудження атомів речовини.

Між енергією випромінювання і коефіцієнтом поглинання існує певна залежність, маючи яку, можна знайти енергію випромінювання. З цією метою користуються емпіричними формулами і графіками, що виражають максимальну енергію бета-випромінювання як функцію масового коефіцієнта поглинання μ/ρ чи товщини $X_{1/2}$ шару напівпоглинання.

Для визначення μ/ρ чи $X_{1/2}$ спостерігають зменшення інтенсивності випромінювання в міру збільшення шару речовини, що поміщається між джерелом випромінювання і детектором вимірювального приладу.

Результати вимірів наносять на напівлогарифмічний графік. По осі абсцис відкладають товщину шару, а по осі ординат – логарифм інтенсивності випромінювання. Для інтервалу зміни активності, рівним 2-3 порядкам, виходить близька до прямої лінія, тангенс кута нахилу якої відповідає коефіцієнту поглинання випромінювання. З графіка можна знайти значення величин μ/ρ і $X_{1/2}$.

Порядок роботи наведений у роботі 2 методичних вказівок [1].

Лабораторне устаткування – радіометр РУБ-01, мікромметр. Лабораторне обладнання забезпечено лабораторією радіоекології кафедри загальної та теоретичної фізики.

Вимірювання провести згідно методичних вказівок [1] до виконання відповідної роботи.

ЛІТЕРАТУРА

1. Курятников В.В., Співак А.Я., Кільян А.М. Фізичні основи радіометрії та дозиметрії : Збірник методичних вказівок до лабораторних робіт. Одеса: ОДЕКУ, 2008. 34 с.
2. Курятников В.В. Методичні вказівки до лабораторних робіт з дисципліни “Основи технологій захисту навколишнього середовища” ч.2. Одеса: ОДЕКУ, 2021. 36с.
3. Курятников В.В., Кільян А.М. Радіоекологія : Методичні вказівки до лабораторних робіт. Одеса: ОДЕКУ, 2002. 35 с.
4. Курятников В.В. Фізичні основи радіометрії та дозиметрії : Конспект лекцій. Одеса: ОДЕКУ, 2011. 57с.

ПИТАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ

1. *Дати оцінку кінетичної енергії електронів, при якій у свинці йонізаційні та радіаційні втрати однакові..
2. *Яка товщина шару половинного поглинення β -частинок з енергією 0.3 Мев у свинці?
3. *Яка радіаційна довжина для електрона з енергією 0.5MeV у воді.
4. Визначити радіаційну довжину електрона з енергією 0,8 MeV у повітрі при нормальних умовах.
5. При проходженні шару деякої речовини товщиною 0.40 см енергія швидких електронів зменшилась у середньому на 25%.Знайти радіаційну довжину електрона, якщо відомо, що втрати енергії електрона при цьому в основному радіаційні.
6. Оцінити початкову енергію електронів, якщо після проходження свинцевої пластинки завтовшки 5.0 мм енергія електронів у середньому дорівнює 42 MeV.

(* - питання для самоперевірки базових результатів навчання -знань, вмінь, навичок)

Лабораторна робота № 4 Вивчення сцинтиляційних методів реєстрації іонізуючого випромінювання.

Сцинтиляційні методи реєстрації іонізуючого випромінювання засновані на здатності іонізуючого випромінювання збуджувати атоми і молекули середовища. Перехід атомів і молекул зі збудженого стану в основний супроводжується випускненням світла (видимого, ультрафіолетового). У сцинтиляційних детекторах відбувається перетворення енергії випромінювання у світловий спалах.

Основою для лабораторної установки служить сцинтиляційний прилад СРП-68-01, призначений для пошуку радіоактивних джерел по їх гамма-випромінюванню.

Вимірювання провести згідно методичних вказівок до виконання відповідної роботи.

Лабораторне обладнання забезпечено лабораторією радіоекології кафедри загальної та теоретичної фізики.

Вимірювання провести згідно методичних вказівок [1] до виконання відповідної роботи.

ЛІТЕРАТУРА

1. Курятников В.В., Співак А.Я., Кільян А.М. Фізичні основи радіометрії та дозиметрії : Збірник методичних вказівок до лабораторних робіт. Одеса: ОДЕКУ, 2008. 34 с.
2. Курятников В.В. Методичні вказівки до лабораторних робіт з дисципліни “Основи технологій захисту навколишнього середовища” ч.2. Одеса: ОДЕКУ , 2021. 36с.
3. Курятников В.В., Кільян А.М. Радіоекологія : Методичні вказівки до лабораторних робіт. Одеса: ОДЕКУ, 2002. 35 с.

4. Курятников В.В. Фізичні основи радіометрії та дозиметрії : Конспект лекцій. Одеса: ОДЕКУ, 2011. 57с.

ПИТАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ

1. * На чому заснований принцип роботи сцинтиляційних детекторів?
 2. *Які вимоги пред"являються до характеристик сцинтиляційних детекторів?
 3. *Які переваги і недоліки сцинтиляційних детекторів?
 4. *Класифікація сцинтиляційних детекторів.
 5. Що таке активатори?
 6. *Принцип роботи ФЕП.
 7. *Які одиниці виміру активності?
- (* - питання для самоперевірки базових результатів навчання - знань, вмінь, навичок)

Модуль ЗМ-П2. Методика проведення модуля ЗМП-2

Тема 2.1 Визначення лінійного та масового пробігу бета-частинок

Опрацювання теми заняття здійснюється шляхом виявлення фізичних механізмів взаємодії іонізуючого випромінювання з речовиною та розв'язування задач.

Поглинаючу дію речовини характеризують лінійним та масовим пробігами, а також величиною шару половинного послаблення. Лінійний пробіг R – шлях, що проходить частинка до повної зупинки, чи мінімальна товщина поглинача, яка потрібна для повного поглинання іонізуючого випромінювання. Вона залежить від природи поглинача та його стану, а також від типу та енергії випромінювання. Пробіг збільшується із зростанням енергії іонізуючих частинок, він пропорційний їх масі та обернено пропорційний квадрату її заряду. Масовий пробіг – пробіг частинки в одиниці маси, він вимірюється в грамах на квадратний сантиметр і пов'язаний лінійним співвідношенням:

$$R_m = \rho R.$$

На практиці часто користуються емпіричними формулами для пробігу іонізуючих частинок у речовині.

Наприклад, пробіг α -частинки в повітрі можна розрахувати за емпіричною наближеною формулою

$$R_{\alpha}^{\text{пов}} = 0.31 \cdot E^{3/2} (\text{см})$$

Для пробігу у речовині з масовим числом A інша відома емпірична формула дає

$$R_m = 0.56 R^{\text{пов}} A^{1/3} \text{ (в одиницях мг/см}^2\text{)}.$$

Для протонів

$$R_p = (R_{\alpha} (4E) - 0.2) \text{ см} \quad (E > 0.5 \text{ Мев}).$$

Для легких заряджених частинок не можливо ввести поняття пробігу. Тому, наприклад, для електронів (тобто β -частинок) введені три величини: максимальний пробіг, середній пробіг та радіаційна довжина.

Максимальним (чи екстрапольованим) пробігом зветься мінімальна товщина шару речовини, в якій поглинаються всі електрони.

Максимальний масовий пробіг β - частинок в алюмінії можна розрахувати за формулами

$$R_m = \begin{cases} 0.407 E_\beta^{1.38}, & (0.15 \text{ MeV} < E < 0.8 \text{ MeV}) \\ 0.542 E_\beta - 0.133, & (0.8 \text{ MeV} < E < 3 \text{ MeV}) \end{cases}$$

де E_β - максимальна енергія β -спектра виражена в MeV.

Ці формули з непоганою точністю описують пробіг і в інших речовинах, якщо втрати енергії електрона в основному іонізаційні

$$R_x = R_{Al}(Z/A)_{Al}/(Z/A)_x \text{ (г/см}^2\text{)}.$$

Пробіг моноенергетичних β -частинок у будь-якій речовині пов'язаний з пробігом у повітрі через густину повітря та речовини наближеним виразом

$$R_x/R_{пов.} = \rho_x/\rho_{пов.} \cdot R_{пов.} = 400E_\beta, \text{ см}$$

ЛІТЕРАТУРА

1. Курятников В.В., Співак А.Я., Кільян А.М. Фізичні основи радіометрії та дозиметрії : Збірник методичних вказівок до лабораторних робіт. Одеса: ОДЕКУ, 2008. 34 с.
2. Курятников В.В. Методичні вказівки до лабораторних робіт з дисципліни “Основи технологій захисту навколишнього середовища” ч.2. Одеса: ОДЕКУ, 2021. 36с.
3. Курятников В.В., Кільян А.М. Радіоекологія : Методичні вказівки до лабораторних робіт. Одеса: ОДЕКУ, 2002. 35 с.
4. Курятников В.В. Фізичні основи радіометрії та дозиметрії : Конспект лекцій. Одеса: ОДЕКУ, 2011. 57с.
5. Иванов В.И., Климанов В.А., Машкович В.П. Сборник задач по дозиметрии и защите от ионизирующих излучений. М.: Энергоатомиздат, 1991. 154 с.
6. Герасимов О.І., Андріанова І.С., Затовська А.О., Співак А.Я. Радіоекологія : Методичні вказівки до розв'язання задач / Одеськ. держ. еколог. ун-т. Одеса: Екологія, 2012. 60 с.

ПИТАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ

1. * Що називається лінійним пробігом?
2. * Що таке радіаційна довжина?
3. Що називається масовим пробігом?
4. Від чого залежить пробіг частинок іонізуючого випромінювання?
(* - питання для самоперевірки базових результатів навчання - знань, вмінь, навичок)

Тема 2.2 Багатоканальний аналізатор імпульсів. Сцинтиляційний γ - спектрометр

Реєстрація ядерних випромінювань, засновується на вторинних процесах, що супроводжують взаємодію випромінювання з речовиною. Ядерні частинки збуджують і іонізують атоми речовини. Рекомбінація

іонів, перехід із збудженого стану в основний супроводжується висиланням квантів світлу.

Спалахи світлу або електричний розряд в газі при його іонізації можна зареєструвати. Спалахи світлу реєструються за допомогою сцинтиляційних лічильників. Сцинтиляційний лічильник являє собою сукупність сцинтиляційного детектора з фотоелектронним помножувачем (ФЕП). ФЕП призначений для перетворення спалахів світлу, що виникають у сцинтиляторі, в електричний сигнал.

Алгоритм роботи спектрометра полягає в тому, що він сортує імпульси за інтенсивністю і пропорційно інтенсивності записує їх у відповідний канал аналізатора. У міру надходження інформації на екрані спектрометра з'являється спектр. У більшості випадків апаратурний спектр є перекрученим відображенням дійсного обумовленого схемою розпаду ізотопу спектра випромінювання.

Спектрометр іонізуючого випромінювання - це прилад, за допомогою якого можна визначити енергетичний або будь-який інший (наприклад розподіл імпульсів за часом) спектр іонізуючого випромінювання. Знаючи спектр іонізуючого випромінювання, можна визначити радіонукліди, яким він належить і їх концентрацію. У склад гамма-спектрометра входить детектор гамма-випромінювання, який перетворює спектр гамма-випромінювання в спектр амплітуд імпульсів напруги, і аналізатор імпульсів.

Одноканальний амплітудний аналізатор - це пристрій, що дозволяє визначити кількість імпульсів, амплітуда яких лежить в границях вузького інтервалу $A_i - A_{i+1}$. Такий інтервал амплітуд називається каналом. Багатоканальний амплітудний аналізатор уявляє собою набір зібраних в одному блоці одноканальних аналізаторів, кожний з яких настроюється на свій канал. Один канал, наприклад, реєструє імпульси від 0 до 10 В, другий - від 10 до 20 В і т.д.

Студенти мають засвоїти основні характеристики приладів, що реєструють іонізуючі випромінювання:

1. Функція відгуку, яка визначає зв'язок між властивостями частинок, що реєструються, і характеристиками сигналу. Якщо функція $\Phi(E)$ описує енергетичний спектр частинок іонізуючого випромінювання, то функція $N(U)$, яка описує апаратурний спектр сигналів (імпульсів), що утворюються в приладі в результаті реєстрації ядерних частинок, не обов'язково повинна бути ідентичною до функції $\Phi(E)$. Тут E - це енергія ядерних частинок, а U - це амплітуда напруги імпульсів. Зв'язок між апаратурним спектром імпульсів і дійсним енергетичним спектром ядерних частинок можна описати інтегральним рівнянням Фредгольма першого роду за допомогою функції відгуку $G(E,U)$.

$$N(U) = \int \Phi(E) \cdot G(E,U) dE .$$

2. Ефективність (чутливість) приладу визначається мінімальним вторинним ефектом, який може бути зареєстрованим. Чутливістю називається відношення кількості зареєстрованих частинок до кількості частинок, що входять в чутливий об'єм приладу.
3. Енергетичне розділення - це мінімальна різниця в енергіях двох груп частинок, при якій прилад реєструє їх як частинки з різними енергіями.
4. Часове розділення - це мінімальний час між послідовними влученнями в детектор двох частинок, при якому вони реєструються окремо. Цей час називається "мертвим" часом.

Знаючи спектральний склад і апаратний спектр, будують калібровану пряму, де на осі абсцис відкладаються номери каналів, а на осі ординат - відповідні їм енергії спектральних ліній. Пряма описується вираженням типу:

$$Y = KX + B,$$

де Y - енергія γ -квантів зразкового джерела;

X - номер каналу, в якому знаходиться ЦВП відповідного фотопіка,

B - поправочний коефіцієнт.

Інтенсивність ("площа") піка повного поглинання S (імп/с), що відповідає γ -квантам з енергією E (і), однозначно зв'язана з активністю A , (расп/с) даного ізотопу співвідношенням.

$$S = K_{\gamma} \cdot K_{ef} \cdot A,$$

де S - площа фотопіка, K_{γ} - коефіцієнт гамма виходу ізотопу зразкового джерела, A - активність зразкового джерела на день виміру.

Площа фотопіка визначається зі спектра як відношення суми імпульсів у кожному каналі фотопіка, за винятком фона, до часу експозиції.

Розрахувавши площу фотопіка, можна визначити ефективність реєстрації спектрометра:

$$K_{ef} = \frac{S}{K_{\gamma} \cdot A}.$$

Ефективність реєстрації спектрометра - це відношення кількості зареєстрованих частинок до числа частинок, випущених джерелом.

Ще одна важлива характеристика спектрометра - енергетичне розділення, яке визначається в процесі калібрування за формулою:

$$R = \frac{N_{1/2}}{N_{цтп}} \cdot 100 \% ,$$

де $N_{1/2}$ - ширина фотопіку на половині висоти піку,

$N_{цтп}$ - номер каналу, у якому знаходиться центр тяжіння даного фотопіку.

ЛІТЕРАТУРА

1. Курятников В.В., Співак А.Я., Кільян А.М. Фізичні основи радіометрії

та дозиметрії : Збірник методичних вказівок до лабораторних робіт. Одеса: ОДЕКУ, 2008. 34 с.

2. Курятников В.В. Методичні вказівки до лабораторних робіт з дисципліни “Основи технологій захисту навколишнього середовища” ч.2. Одеса: ОДЕКУ , 2021. 36с.

3. Курятников В.В., Кільян А.М. Радіоекологія : Методичні вказівки до лабораторних робіт. Одеса: ОДЕКУ, 2002. 35 с.

4. Курятников В.В. Фізичні основи радіометрії та дозиметрії : Конспект лекцій. Одеса: ОДЕКУ, 2011. 57с.

5. Герасимов О.І., Андріанова І.С., Затовська А.О., Співак А.Я. Радіоекологія : Методичні вказівки до розв’язання задач / Одеськ. держ. еколог. ун-т. Одеса: Екологія, 2012. 60 с.

6. Иванов В.И. Иванов В.И., Климанов В.А., Машкович В.П., Сборник задач по дозиметрии и защите от ионизирующих излучений. М.: Энергоатомиздат, 1991.154 с.

ПИТАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ

1. * На чому заснований принцип роботи сцинтиляційних детекторів?

2. *Які вимоги пред"являються до характеристик сцинтиляційних детекторів?

3. *Які переваги і недоліки сцинтиляційних детекторів?

4. *Класифікація сцинтиляційних детекторів.

(* - питання для самоперевірки базових результатів навчання -знань, вмінь, навичок)

Тема 2.3 Емуляція апаратурних гамма –спектрів в реальному часі.

Вивчення програмного комплексу GAMMALAB

GammaLab: програмний комплекс для емуляції апаратурних гамма-спектрів. Програмний комплекс GammaLab, призначений для моделювання в реальному часі апаратурних гамма-спектрів напівпровідникових та сцинтиляційних детекторів під час вимірювань широкого кола джерел, довільної просторової конфігурації та радіонуклідного складу.

Студенти мають знати структуру програмного комплексу GammaLab та його можливості, вміти відбирати задачі, які можуть бути вирішені за допомогою програмного комплексу GammaLab

Спектрометричні методи аналізу складу речовини як по радіонуклідному складу, так і за ізотопним вмістом з появою приладів високого розділення знаходять все нові застосування на практиці в таких областях, як екологія і охорона довкілля, сертифікація продукції, митний контроль і так далі. Достовірність і точність таких вимірів визначається як якістю апаратури, так і методичним та програмним забезпеченням.

Віртуальна гамма-спектрометрична лабораторія GammaLab, яку розроблено відомою у своїй галузі компанією ЛСРМ [7], дозволяє моделювати спектри точкових і об'ємних джерел довільного

радіонуклідного складу, отриманих за допомогою напівпровідникових і сцинтиляційних детекторів.

Вміння проводити спектральні дослідження, здійснювати обробку спектрів іонізуючого випромінювання необхідні студентам-радіоекологам для адекватного аналізу радіоекологічних ситуацій та побудування достовірного радіоекологічного прогнозу.

У рамках навчальної дисципліни “Спектроскопія іонізуючого випромінювання”, яка є професійно орієнтованою для спеціальності “Екологія навколишнього середовища”, спеціалізації “Радіоекологія”, розглядаються питання методів визначення гамма-спектрів іонізуючого випромінювання, вивчення порядку роботи на гамма-спектрометрах іонізуючого випромінювання.

Мета практичних робіт у рамках цієї дисципліни - ознайомитися з програмним комплексом GammaLab, навчитися створювати джерела іонізуючого випромінювання довільного ізотопного складу, провести калібрування спектрометра та визначити за його допомогою спектр джерела та його ізотопний склад.

В результаті виконання практичних робіт студент повинен знати – основи гамма-спектрометричних методів дослідження іонізуючого випромінювання та відповідні методи щодо інтерпретації отриманих спектрів, знати алгоритм розрахунку ефективності реєстрації; знати алгоритм створення шаблонів джерел в програмному комплексі GammaLab; вміти – проводити спектральні дослідження, які необхідні для адекватного аналізу радіоекологічних ситуацій та побудування достовірного прогнозу, калібрувати спектрометр за ефективністю реєстрації, створювати шаблони джерел в програмному комплексі GammaLab, визначити те або інше джерело (радіоактивний елемент) за допомогою програмного комплексу GammaLab.

За допомогою GammaLab можна імітувати підготовку приладів до вимірів, набір спектрів режимі реального часу і їх обробку, визначення по них фізичних характеристик джерел іонізуючого випромінювання (ідентифікація, активність, міра збагачення урану, ізотопний склад плутонію і так далі).

Реалістичний тривимірний інтерфейс дозволяє емулювати дії спектрометриста на робочому місці при проведенні вимірів: переміщати детектор і джерела; управляти параметрами спектрометра (включення, виключення, підняття високої напруги, видача приладом повідомлень про помилки); працювати із штатною програмою спектрометра.

Окрім спецкурсу, GammaLab широко використовується під час проведення занять з Радіоекології із студентами III курсу екологічних факультетів. GammaLab також задіяно при проведенні навчальних практик, написанні курсових та дипломних робіт.

До переваг програмного комплексу GammaLab, можна віднести

можливість навчання роботи із спектрометричними пристроями уникаючи витрат на купівлю дорогого устаткування і організацію робіт з джерелами іонізуючого випромінювання. За його допомогою можуть вирішуватися завдання калібрування апаратури, а також тестування програмного забезпечення і методик виміру у випадках, коли атестовані джерела випромінювання із заданими властивостями (розмірами, фізико-хімічними характеристиками, радіонуклідним складом) відсутні, або їх виготовлення вимагає значних витрат.

ЛІТЕРАТУРА

1. Курятников В.В., Співак А.Я., Кільян А.М. Фізичні основи радіометрії та дозиметрії : Збірник методичних вказівок до лабораторних робіт. Одеса: ОДЕКУ, 2008. 34 с.
2. Курятников В.В. Методичні вказівки до лабораторних робіт з дисципліни “Основи технологій захисту навколишнього середовища” ч.2. Одеса: ОДЕКУ , 2021. 36с.
3. Курятников В.В., Кільян А.М. Радіоекологія : Методичні вказівки до лабораторних робіт. Одеса: ОДЕКУ, 2002. 35 с.
4. Курятников В.В. Фізичні основи радіометрії та дозиметрії : Конспект лекцій. Одеса: ОДЕКУ, 2011. 57с.
5. Герасимов О.І., Андріанова І.С., Затовська А.О., Співак А.Я. Радіоекологія : Методичні вказівки до розв’язання задач / Одеськ. держ. еколог. ун-т. Одеса: Екологія, 2012. 60 с.
6. Иванов В.И. и др. Сборник задач по дозиметрии и защите от ионизирующих излучений. М.: Энергоатомиздат, 1991. 154 с.
7. Даниленко В.Н., Ковальский Е.А., Федоровский С.Ю., Юферов А.Ю., «LSRM» – пакет прикладных программ для спектрометрического анализа. Состояние и перспективы. Тезисы V Международного совещания «Проблемы прикладной спектрометрии и радиометрии», Дубна, 2001.

ПИТАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ

1. * На чому заснований принцип роботи сцинтиляційних спектрометрів?
2. *Що являє собою одноканальний аналізатор імпульсів?
3. * Що являє собою багатоканальний аналізатор імпульсів?
4. Основні характеристики спектрометра.
5. Що описує функція відгуку?

(* - питання для самоперевірки базових результатів навчання -знань, вмінь, навичок)

4. ПИТАННЯ ДО ЗАХОДІВ ПОТОЧНОГО, ПІДСУМКОВОГО ТА СЕМЕСТРОВОГО КОНТРОЛЮ

4.1 Тестові завдання до модульної контрольної роботи модуля ЗМЛ-1

1. Особливості β -розпаду.

- Література:* [1]- с.6-10; [2]- с.29-68; [3]- с.26-34.
2. Гранично допустима доза випромінювання.
Література: [1]- с.26-34; [2]- с.74-82 ; [3]- с.36-44 .
3. Рентгенівське випромінювання.
Література: [1]- с.6-10; [2]- с. с.29-68; [3]- с.26-34.
4. Поглинена доза. Одиниці дози.
Література: [1]- с.26-34; [2]- с.74-82 ; [3]- с.36-44 .
- 5.Втрати енергії важкими зарядженими частинками
Література: [1]- с.16; [2]- с.74-82 ; [3]- с.48-62 .
6. Експозиційна доза випромінювання. Потужність експозиційної дози випромінювання.
Література: [1]- с.26-34; [2]- с.74-82 ; [3]- с.36-44 .
7. Радіоактивність. Питома радіоактивність.
Література: [1]- с.6-10; [2]- с.29-68; [3]- с.26-34.
8. Для якого виду ядерного випромінювання захист від радіації потребує найбільш товсті екрани?
Література: [1]- с.6-10; [2]- с. с.29-68; [3]- с.26-34
9. Проходження нейтронів через речовину.
Література: [1]- с.47; [2]- с.29-68; [3]- с.26-34.
10. Особливості альфа-розпаду.
Література: [1]- с.6-10; [2]- с.29-68; [3]- с.26-34.
11. Скільки шарів половинного послаблення потрібно для зменшення рентгенівських променів в 4 рази?
Література: [1]- с.6-10; [2]- с. с.29-68; [3]- с.26-34.
12. В яких одиницях вимірюється потужність експозиційної дози?
Література: [1]- с.26-34; [2]- с.74-82 ; [3]- с.36-44 .
- 13.Еквівалентна доза. Одиниці дози.
Література: [1]- с.26-34; [2]- с.74-82 ; [3]- с.36-44 .
- 14.Визначення еквівалентної дози методом дозових коефіцієнтів.
Література: [1]- с.26-34; [2]- с.74-82 ; [3]- с.36-44 .
15. Гранично допустима доза випромінювання за нормами НРБУ.
Література: [1]- с.26-34; [2]- с.74-82 ; [3]- с.36-44 .
16. Визначення пробігу заряджених частинок у речовині.
Література: [1]- с.6-10; [2]- с.29-68; [3]- с.26-34.
17. Лінійна передача енергії.
Література: [1]- с.38; [2]- с.97 ; [3]- с.36-44 .
18. Поглинена доза випромінювання.
Література: [1]- с.26-34; [2]- с.74-82 ; [3]- с.36-44 .
19. Рентгенівське випромінювання. Рентгенівські трубки.
Література: [1]- с.6-10; [2]- с. с.29-68; [3]- с.26-34.
20. Джерела іонізуючого випромінювання в об'єктах навколишнього

природного середовища.

Література: [1]- с.5-6; [2]- с.7-13; [3]- с.6-10.

21. Пробіг легких заряджених частинок у речовині..

Література: [1]- с.6-10; [2]- с.29-68; [3]- с.26-34.

22. Взаємодія важких заряджених частинок іонізуючого випромінювання з речовиною.

Література: [1]- с.6-10; [2]- с.29-68; [3]- с.26-34.

23. Скільки шарів половинного послаблення потрібно для зменшення рентгенівських променів в 4 рази?

Література: [1]- с.6-10; [2]- с.97; [3]- с.26-34.

24. Лінійна передача енергії.

Література: [1]- с.24-26; [2]- с.29-68; [3]- с.26-34.

25. Потужність експозиційної дози?

Література: [1]- с.26-34; [2]- с.74-82 ; [3]- с.36-44 .

26. Еквівалентом якої одиниці є одиниця 1 бер?

Література: [1]- с.26-34; [2]- с.74-82 ; [3]- с.36-44 .

27. Яка одиниця поглинутої дози випромінювання відповідає одиниці експозиційної дози 1 Рентген ?

Література: [1]- с.26-34; [2]- с.74-82 ; [3]- с.36-44 .

28. Як співвідносяться між собою одиниці поглинутої дози випромінювання 1 Грей і 1 рад?

Література: [1]- с.26-34; [2]- с.74-82 ; [3]- с.36-44 .

29. Для якого з видів іонізуючого випромінювання є характерним механізм гальмівного випромінювання?

Література: [1]- с.6-10; [2]- с.29-68; [3]- с.26-34.

30. Одиницею якої дози є 1 бер?

Література: [1]- с.26-34; [2]- с.74-82 ; [3]- с.36-44 .

31. Класифікація нейтронів.

Література: [1]- с.47; [2]- с.29-68; [3]- с.26-34.

32. Теплові та швидкі нейтрони.

Література: [1]- с.47; [2]- с.29-68; [3]- с.26-34.

33. Біологічна дія іонізуючого випромінювання.

Література: [1]- с.47; [2]- с. 68-69; [3]- с.26-34.

34. Взаємодія легких заряджених частинок іонізуючого випромінювання з речовиною

Література: [1]- с.6-10; [2]- с.29-68; [3]- с.26-34.

35. У яких одиницях вимірюється потужність еквівалентної дози?

Література: [1]- с.26-34; [2]- с.74-82 ; [3]- с.36-44 .

36. Одиниці радіоактивності.

Література: [1]- с.6-10; [2]- с.29-68; [3]- с.26-34.

37. Гамма-випромінювання

Література: [1]- с.6-10; [2]- с.29-68; [3]- с.26-34.

38. Захист від нейтронних потоків.

Література: [1]- с.47; [2]- с.29-68; [3]- с.26-34.

39. Захист від гамма-випромінювання.

Література: [1]- с.47; [2]- с.29-68; [3]- с.26-34.

40. Наведена радіоактивність

Література: [1]- с.6-10; [2]- с.52-53; [3]- с.27.

41. Механізми взаємодії заряджених частинок іонізуючого випромінювання з речовиною

Література: [1]- с.6-10; [2]- с.29-68; [3]- с.26-34.

42. Одиниці вимірювання потужності експозиційної дози.

Література: [1]- с.26-34; [2]- с.74-82 ; [3]- с.36-44 .

43. Одиниці радіоактивності.

Література: [1]- с.6-10; [2]- с.29-68; [3]- с.26-34.

44. Проходження гамма-випромінювання крізь речовину

Література: [1]- с.6-10; [2]- с.29-68; [3]- с.26-34.

45. Взаємодія нейтронів з речовиною.

Література: [1]- с.47; [2]- с.29-68; [3]- с.26-34.

46. Гальмівне випромінювання електронів.

Література: [1]- с.6-10; [2]- с.29-68; [3]- с.26-34.

47. Види радіоактивності

Література: [1]- с.6-10; [2]- с.29-68; [3]- с.26-34.

48. Як впливає іонізуюче випромінювання на живу клітину?

Література: [1]- с.47; [2]- с. 68-69; [3]- с.26-34.

49. Вплив малих доз іонізуюче випромінювання на живі організми.

Література: [1]- с.47; [2]- с. 68-69; [3]- с.26-34.

50. Доза випромінювання на АЕС за нормами НРБУ.

Література: [1]- с.26-34; [2]- с.74-82 ; [3]- с.36-44 .

4.2 Тестові завдання до модульної контрольної роботи модуля ЗМЛ-2

1. За допомогою яких приладів перетворюють сцинтиляції в електричний імпульс ?

Література: [1]- с.50-57; [2]- с.74-82 ; [3]- с.48-62 .

2. Що називається “мертвим часом” лічильника Гейгера- Мюллера ?

Література: [1]- с.50-57; [2]- с.74-82 ; [3]- с.48-62 .

3. На якому з ефектів заснований іонізаційний метод реєстрації радіації?

Література: [1]- с.50-57; [2]- с.74-82 ; [3]- с.48-62 .

4. За допомогою яких приладів визначають радіоактивність?

Література: [1]- с.50-57; [2]- с.74-82 ; [3]- с.48-62 .

5. Які з методів індикації іонізуючого випромінювання не є одним з

основних?

Література: [1]- с.50-57; [2]- с.74-82 ; [3]- с.48-62 .

6. На якому з ефектів заснований сцинтиляційний метод реєстрації радіації?

Література: [1]- с.50-57; [2]- с.74-82 ; [3]- с.48-62 .

7. Проведення радіаційно-дозиметричного контролю при використанні джерел іонізуючого випромінювання в об'єктах навколишнього природного середовища.

Література: [1]- с.50-57; [2]- с.74-82 ; [3]- с.48-62 .

8.Сцинтиляційний метод реєстрації іонізуючого випромінювання.

Література: [1]- с.50-57; [2]- с.74-82 ; [3]- с.48-62 .

9. Лічильники Гейгера-Мюллера.

Література: [1]- с.50-57; [2]- с.74-82 ; [3]- с.48-62 .

10.Проведення організаційних та технічних заходів по зниженню рівня дії іонізуючого випромінюванні в разі перевищення нормативних показників.

Література: [1]- с.50-57; [2]- с.100-102 ; [3]- с.48-62 .

11.Іонізаційні дозиметри: стисла характеристика.

Література: [1]- с.50-57; [2]- с.74-82 ; [3]- с.48-62 .

12. Визначення еквівалентної дози методом дозових коефіцієнтів.

Література: [1]- с.50-57; [2]- с.74-82 ; [3]- с.48-62 .

13.Сцинтиляційні методи вимірювань радіації.

Література: [1]- с.50-57; [2]- с.74-82 ; [3]- с.48-62 .

14. Основні методи індикації іонізуючого випромінювання (іонізаційний, напівпровідниковий, сцинтиляційний, люмінесцентний)

Література: [1]- с.50-57; [2]- с.74-82 ; [3]- с.48-62 .

15. Прилади та обладнання для вимірів параметрів іонізуючого випромінювання.

Література: [1]- с.50-57; [2]- с.74-82 ; [3]- с.48-62 .

16. Як називаються прилади для вимірювання та аналізу спектрів гамма-випромінювання?

Література: [1]- с.50-57; [2]- с.74-82 ; [3]- с.48-62 .

17. Напівпровідниковий метод реєстрації іонізуючого випромінювання.

Література: [1]- с.50-57; [2]- с.74-82 ; [3]- с.48-62 .

18. Принцип дії фотоелектронного помножувача.

Література: [1]- с.50-57; [2]- с.74-82 ; [3]- с.48-62 .

19. На якому з ефектів заснований сцинтиляційний метод реєстрації радіації?

Література: [1]- с.50-57; [2]- с.74-82 ; [3]- с.48-62 .

20. За допомогою яких приладів визначають потужність експозиційної дози випромінювання?

Література: [1]- с.50-57; [2]- с.74-82 ; [3]- с.48-62 .

21. На якому з ефектів заснований іонізаційний метод реєстрації радіації?
Література: [1]- с.50-57; [2]- с.74-82 ; [3]- с.48-62 .
22. Методи визначення радіоактивності.
Література: [1]- с.50-57; [2]- с.74-82 ; [3]- с. 62 .
23. Сцинтиляційні детектори
Література: [1]- с.50-57; [2]- с.74-82 ; [3]- с.48-62 .
24. Гамма-спектрометрія
Література: [1]- с.50-57; [2]- с.74-82 ; [3]- с.48-62 .
25. Принцип роботи аналізатора імпульсів.
Література: [1]- с.50-57; [2]- с.74-82 ; [3]- с.48-62 .
26. Що являє собою програмний комплекс GammaLab?
Література: [1]- с.50-57; [2]- с.74-82 ; [3]- с.48-62 .
27. Багатоканальний аналізатор імпульсів.
Література: [1]- с.50-57; [2]- с.74-82 ; [3]- с.48-62 .
28. Сцинтиляційний гамма-спектрометр.
Література: [1]- с.50-57; [2]- с.74-82 ; [3]- с.48-62 .
29. Пояснити вплив геометрії проби та детектора на чутливість.
Література: [1]- с.50-57; [2]- с.74-82 ; [3]- с.48-62 .
30. Дати визначення ефективності реєстрації.
Література: [1]- с.50-57; [2]- с.74-82 ; [3]- с.48-62 .
31. У чому полягає метод тонких проб?
Література: [1]- с.50-57; [2]- с.74-82 ; [3]- с.48-62 .
32. У чому полягає метод товстих проб?
Література: [1]- с.50-57; [2]- с.74-82 ; [3]- с.48-62 .
33. Як працює фотоелектронний помножувач?
Література: [1]- с.50-57; [2]- с.74-82 ; [3]- с.48-62 .
34. Диноди. Динотронний ефект.
Література: [1]- с.50-57; [2]- с.74-82 ; [3]- с.48-62
35. Фотоелектричний ефект у роботі ФЕП.
Література: [1]- с.50-57; [2]- с.74-82 ; [3]- с.48-62 .
36. Радіаційно-дозиметричний контроль параметрів довкілля.
Література: [1]- с.50-57; [2]- с.74-82 ; [3]- с.48-62 .
37. За допомогою яких приладів визначають дози випромінювання?
Література: [1]- с.50-57; [2]- с.74-82 ; [3]- с.48-62 .
38. Яка величина вимірюється за допомогою радіометра?
Література: [1]- с.50-57; [2]- с.74-82 ; [3]- с.48-62 .
39. Захист від нейтронних потоків.
Література: [1]- с.47; [2]- с.29-68; [3]- с.26-34.
40. Екранування важких заряджених частинок.
Література: [1]- с.16; [2]- с.74-82 ; [3]- с.48-62 .
41. Детектори іонізуючого випромінювання.

Література: [1]- с.50-57; [2]- с.74-82 ; [3]- с.48-62 .

42. Амплітудний аналізатор імпульсів.

Література: [1]- с.50-57; [2]- с.74-82 ; [3]- с.48-62 .

43. Що являє собою програмний комплекс GammaLab?

Література: [1]- с.50-57; [2]- с.74-82 ; [3]- с.48-62 .

44. Гамма-спектрометри.

Література: [1]- с.50-57; [2]- с.74-82 ; [3]- с.48-62 .

45. Що називається “чутливістю ” лічильника Гейгера- Мюллера ?

Література: [1]- с.50-57; [2]- с.74-82 ; [3]- с.48-62 .

46. Екранування легких заряджених частинок.

Література: [1]- с.16; [2]- с.74-82 ; [3]- с.48-62 .

47. Методи визначення доз випромінювання.

Література: [1]- с.50-57; [2]- с.74-82 ; [3]- с. 62 .

48. Принцип роботи дозиметра

Література: [1]- с.50-57; [2]- с.74-82 ; [3]- с.48-62 .

49. Одиниці питомої радіоактивності

Література: [1]- с.6-10; [2]- с.29-68; [3]- с.26-34.

50. Методи радіометрії

Література: [1]- с.50-57; [2]- с.74-82 ; [3]- с. 62 .

Приклади лабораторних робіт модуля ЗМП-1

Приклади лабораторних робіт наведені з методичних вказівок до лабораторних робіт з дисципліни Фізичні основи радіометрії та дозиметрії [4].

Лабораторна робота №1

РОЗРАХУНОК ПИТОМОЇ АКТИВНОСТІ ПРОБИ

Вступ

На сьогоднішній час головним нормативним документом, який визначає граничні межі дозових навантажень є НРБУ-97. Доза опромінення знаходиться у прямій залежності від концентрації радіонуклідів у об'єкті дослідження. Спеціальні служби здійснюють контроль вмісту радіоактивних ізотопів у продуктах харчування, будівельних матеріалах, та об'єктах навколишнього середовища. Їхні концентрації у об'єктах досліджень набагато порядків менші ніж ми звикли бачити у випадку скажімо шкідливих хімічних домішок у ґрунті, повітрі, воді, та інших типових об'єктах довкілля.

Мета роботи: навчитись розраховувати питому активність проби.

Після виконання роботи студенти повинні:

знати визначення питомої активності та одиниці виміру цієї величини, приклади її розрахунку для простих геометрій проби та детектора.

вміти застосовувати знання про розрахунок питомої активності у радіоекологічній практиці.

Теоретична частина

Для будь-якого нукліда можна розрахувати його питому активність q (Бк/кг) користуючись двома як правило відомими показниками: масовим числом A та періодом напіврозпаду $T_{1/2}$ (с). Процедура виглядає як наступне.

За визначенням, питома активність – це відношення активності проби a (Бк) до її маси m (кг):

$$q = \frac{a}{m}. \quad (1)$$

Якщо маса проби дорівнює молярній M (кг/моль), $m = M$, отримуємо

$$q = \frac{a_M}{M}, \quad (2)$$

де a_M - активність 1 моля речовини (Бк/моль) (тобто активність $N_A = 6,02 \cdot 10^{23}$ ядер ізотопу). Зауважимо, що у загальному випадку для активності проби a довільної маси m , виконуються наступні співвідношення

$$a = a_M \nu, \quad m = M \nu, \quad (3)$$

де ν - кількість речовини у пробі (моль).

Користуючись законом радіоактивного розпаду, запишемо:

$$\frac{dN}{dt} = -\lambda N,$$

де $\lambda = \frac{\ln 2}{T_{1/2}}$ – стала радіоактивного розпаду (s^{-1}), а N - число

радіоактивних ядер одного сорту (шт), отримуємо

$$a = \lambda N \quad (4)$$

(за визначенням $\left| \frac{dN}{dt} \right| = a$). З (4) випливає

$$a_M = \lambda N_A. \quad (5)$$

Таким чином

$$q = \frac{N_A \ln 2}{T_{1/2} M}. \quad (6)$$

Враховуючи $A \approx M$, остаточно отримуємо

$$q = \frac{N_A \ln 2}{T_{1/2} A}. \quad (7)$$

Співвідношення (7) дозволяє знайти питому активність хімічного елементу, який складається із суміші ізотопів:

$$q_e = \frac{\sum_i \omega_i q_i}{100}, \quad (8)$$

де ω_i - вміст i -го ізотопу у суміші (%). У найпростішому випадку хімічний елемент має лише один радіоактивний ізотоп. Тоді вираз (8) суттєво спрощується

$$q_e = \frac{\omega_1 q_1}{100}. \quad (9)$$

Прикладом елемента, що містить у природній суміші ізотопів один радіоактивний - є калій. А саме, вагова частка радіоактивного калію-40 (^{40}K) складає 0,01%. У деяких елементів радіоізоотопу значно більше ніж стабільних: ^{115}In міститься близько 95% у природній суміші! Але внаслідок великого періоду напіврозпаду їх питома активність дуже мала і тому розташована за межами чутливості приладів.

Якщо проба складається із суміші різних речовин, для розрахунку питомої активності такої проби q_0 (Бк/кг) треба ще врахувати частку елемента c (%) у ній:

$$q_0 = \frac{c q_e}{100}. \quad (10)$$

Якщо у пробі вміст радіоактивного ізотопу менше за мінімальну детектуєму активність (МДА), використовують різноманітні методи концентрування: упарювання, спалювання, спільне осадкоутворення, сорбція, та інші. У такому разі (10) набуває наступного вигляду

$$q_0 = C Q, \quad (11)$$

де Q - питома активність матеріалу (Бк/кг), а C - коефіцієнт концентрування. Останній визначається як

$$C = \frac{m_0}{m} \geq 1, \quad (12)$$

де m_0 - це маса початково взятого матеріалу для концентрування, а m - маса проби яка вимірюється (радіометрується).

Радіометром вимірюється безпосередньо не активність (тобто кількість актів розпаду у пробі за одиницю часу), а швидкість лічби n (імп/с):

$$n = \frac{N}{t}, \quad (13)$$

де N - кількість частинок, що потрапили до робочого об'єму детектора за час експозиції t (с) та були при цьому зареєстровані приладом. Тому для знаходження активності проби a користуються наступним виразом

$$a = \frac{n}{P}, \quad (14)$$

де P - чутливість приладу.

Співвідношення (14) вказує на пропорційність a та n , коефіцієнт якої $K = \frac{1}{P}$ залежить у значній мірі від наступних чинників:

- геометрії проби та детектора, типу детектора,
- ефективності реєстрації випромінювань детектором в залежності від їх енергії,
- типу проби (товста чи тонка),
- густини проби (особливо для товстих проб),
- радіонуклідного складу проби.

Внаслідок складної процедури врахування вищеперелічених чинників, визначення коефіцієнта перерахування K майже завжди виконується експериментально (феноменологічно). Значно простіше можна оцінити K у випадку однорідної мононуклідної проби у простій геометрії, якщо відома така характеристика детектора як ефективності реєстрації ε (%), яка визначається наступним чином

$$\varepsilon = \frac{N_2}{N_1} \cdot 100, \quad (15)$$

де N_1, N_2 - відповідно кількість частинок, що потрапили до робочого об'єму детектора, та кількість з них зареєстрованих, на протязі проміжку часу t .

Стосовно визначення геометрії проби, зауважимо, що найпростішою є так звана точкова. У цьому випадку кількість частинок які, потрапляють у створ детектора, дорівнює

$$N_1 = N_0 \frac{\Omega}{4\pi}, \quad (16)$$

де Ω - тілесний кут (вершина якого знаходиться у точковій пробі), що відсікає детектор (у стерadianах), а N_0 та N_1 - кількість частинок, які випромінюються пробою та потрапляють до детектора, відповідно.

Розглянемо декілька найпростіших конфігурацій детектора та точкової проби:

Окремо відзначимо, що для точкової проби приймається наступне припущення: всі частинки, що утворюються під час розпаду ядер, випромінюються у зовнішній простір без поглинання у самій пробі. Взявши до уваги останнє зауваження, можемо пов'язати між собою активність проби q_0 та N_0 :

$$n_0 = \frac{N_0}{t} = xq_0,$$

де n_0 - кількість частинок, що випромінює точкова проба за одиницю часу (част/с), а x - величина, яка залежить від ядерно-фізичних властивостей ізотопу та характеризує середню кількість випромінених частинок на один акт розпаду.

Значного поширення у радіометрії набуло використання методу товстих проб. Це пов'язано, насамперед, з меншими витратами часу на підготовку проби у порівнянні з альтернативним методом тонких проб. Останній метод набув поширення для визначення вмісту нуклідів вже після збагачення проби методами концентрування, або для спектральних досліджень випромінювань з малою здатністю проникнення (α - та β -частинок). Швидкість підготовки проби, дозволяє скористатися методом товстих проб для експрес-аналізу (наприклад у польових умовах).

У пробі значної товщини частина випромінювання поглинається. Починаючи з деякого значення (h - товщини насичення), із збільшенням шару радіометруємої речовини, зміни швидкості лічби від проби вже не спостерігаються.

Вплив густини проби ρ на h полягає у зменшенні товщини насичення (для певного сорту випромінювання). В методі товстих проб використовують стандартні кювети, які заповнюють пробую до деякої мітки. Це гарантує насиченість шару речовини за завданням випромінюванням. Тому для речовин різної густини чутливість P приладу буде різною. Існують таблиці, де вказуються перерахункові коефіцієнти для різних (за густиною ρ) типів проби (овочі, м'ясо, молоко, сухі ягоди, крупи, і т.ін.). Ці коефіцієнти також відрізняються для різних приладів.

Практична частина

- 1) Розрахувати питому активність ізотопу ^{40}K у KCl та K_2CO_3 .
- 2) Розрахувати питому активність ізотопу ^{137}Cs у матеріалі ($m_0 = 10\text{ кг}$), з якого отримали після концентрування ($C = 10^5$) точкову пробу, швидкість лічби ($n = 10\text{ імпл/с}$), вимір - сцинтиляційним детектором NaI(Tl) стандартних розмірів ($40 \times 40\text{ мм}$) на відстані $d = R/2$.

Контрольні запитання

- 1) Перелічити методи концентрування.
- 2) Дати визначення швидкості лічби.
- 3) Дати визначення чутливості, від чого вона залежить?
- 4) Пояснити вплив геометрії проби та детектора на чутливість.
- 5) Дати визначення ефективності реєстрації.
- 6) У чому полягає метод тонких проб?
- 7) У чому полягає метод товстих проб?

* Примітка: ядерно-фізичні характеристики ізотопів отримати за допомогою віртуальної гамма-лабораторії GAMMALAB.

ЛІТЕРАТУРА

1. Герасимов О.І. Елементи фізики довкілля : Навчальний посібник. Одеса: Вид-во "ТЭС", 2004. 144 с.
2. Герасимов О.І., Кільян А.М. Елементи фізики довкілля: Радіоекологія (конспект лекцій). Одеса: ОДЕКУ, 2003. 134 с.

3. Бударков В.А., Киршин В.А., Антоненко А.Е. Радиобиологический справочник. Мн.: Ураджай, 1992. 336 с.
4. Демура Г.В., Савченко Е.И. Практические и лабораторные работы по радиометрическим и ядерно-физическим методам. Киев: Вища школа. Головное изд-во, 1984. 224 с.
5. Помощь по использованию программного комплекса «Виртуальная гамма-лаборатория: GAMMALAB». //ФГУП «ВНИИФТРИ», ООО «ЛСРМ», Менделеево, 2007.

Лабораторна робота № 2

GAMMALAB: ПРОГРАМНИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ЕМУЛЯЦІЇ АПАРАТУРНИХ ГАММА-СПЕКТРІВ В РЕАЛЬНОМУ ЧАСІ

Вступ

Програмний комплекс GammaLab, призначений для моделювання в реальному часі апаратурних гамма-спектрів напівпровідникових та сцинтиляційних детекторів під час вимірювань широкого кола джерел, довільної просторової конфігурації та радіонуклідного складу. Комплекс може бути використаним у якості симулятора для навчання роботі із спектрометричним устаткуванням та програмним забезпеченням за відсутності дорогого обладнання та з метою запобігання робіт з реальними джерелами іонізуючого випромінювання. GammaLab дозволяє створювати "гамма-спектрометричну лабораторію" з віртуальними детекторами та джерелами. Комплекс інтегровано до спектрометричного програмного забезпечення, яке постачається під маркою «ЛСРМ» - відомого виробника програмних продуктів у галузі спектрометрії та радіометрії.

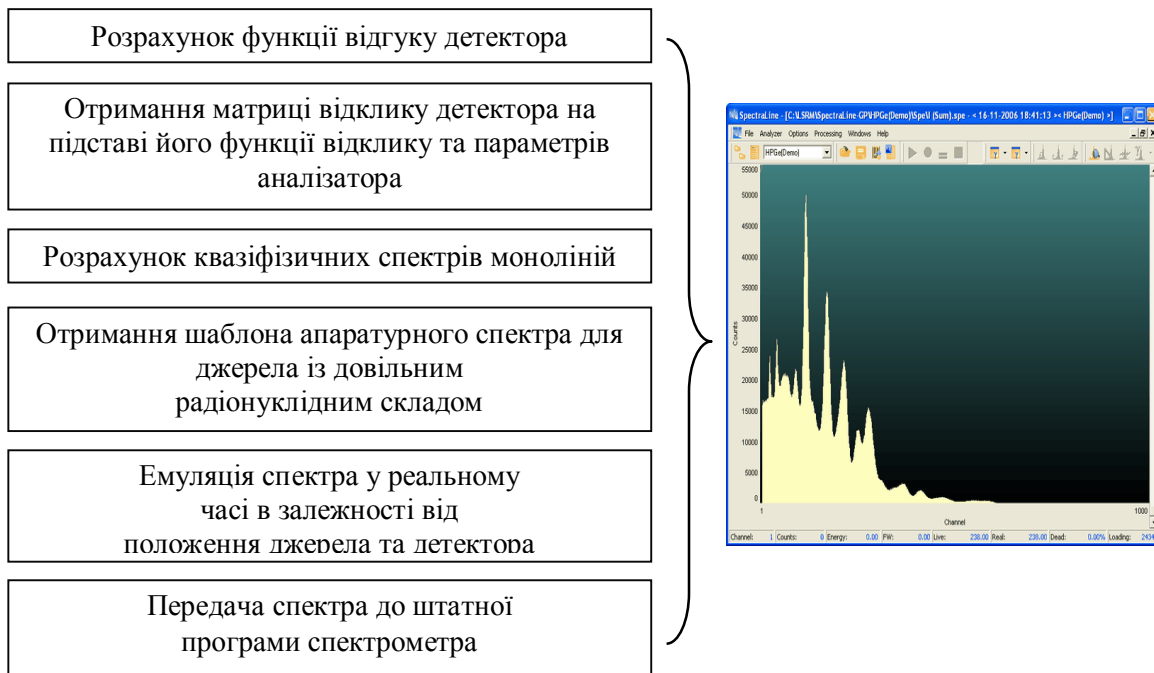
Мета роботи: ознайомитись із структурою програмного комплексу GammaLab та його можливостями.

Після проведення роботи студент має знати структуру програмного комплексу GammaLab та його можливості, вміти відбирати задачі, які можуть бути вирішені за допомогою програмного комплексу GammaLab.

Теоретична частина

Структура та можливості програмного комплексу

Комплекс GammaLab це набір програмних модулів та баз даних, які працюють під керуванням єдиної графічної оболонки. На Рис.1 зображена функціональна схема GammaLab із зазначенням призначення базових програмних одиниць, що входять до його складу.



Функціональна схема комплексу GammaLab.

За допомогою GammaLab можуть проводитись розрахунки модельних гамма-спектрів, як для точкових, так і об'ємних циліндричних джерел випромінювання. Є можливість розгляду важливих з точки зору практики ситуацій розташування джерела у багат шаровому захисному контейнері. Як і у випадку детектора та коліматора, спеціальна графічна оболонка дозволяє специфікувати геометричні розміри та матеріали джерела та оболонок контейнера.

Процес моделювання гамма-спектрів за допомогою GammaLab складається з двох етапів. На першому етапі генеруються так звані шаблони спектрів - набір гамма-спектрів, розрахованих для даного радіонуклідного складу джерела випромінювання та даної геометрії вимірювання, вміщуючи геометрію джерела, контейнера, детектора та коліматора.

У режимі адміністратора WorkMaster дозволяє створювати нові завдання, доповнюючи або змінюючи базу шаблонів гамма-спектрів. У режимі оператора з пропонуємого списку вибирається існуюче завдання, після чого відображається робочий стіл та запускається штатна програма спектрометра. Після запуску аналізатора у режимі реального часу емулюється набір спектра.

Практична частина

- 1) Ознайомитись з роботою спектрометричного комплексу за допомогою демонстраційних відеороликів.
- 2) Провести калібрування спектрометра.
- 3) Виміряти активність невідомої суміші ізотопів.
- 4) Скласти звіт спектрометричних досліджень.

Контрольні питання

1. Дати визначення γ -спектру.
2. Схематично зобразити γ -спектри ^{137}Cs та ^{60}Co .
3. Порівняти сцинтиляційні та напівпровідникові γ -спектрометри?
4. За який час до початку вимірів відбувається заправлення напівпровідникового детектора рідким азотом?
5. Як відбувається підключення та зняття високої напруги з напівпровідникового детектора?

ЛІТЕРАТУРА

1. Даниленко В.Н. и др. “LSRM” – пакет прикладных программ для спектрометрического анализа. Состояние и перспективы. Тезисы V Международного совещания «Проблемы прикладной спектрометрии и радиометрии», Дубна, 2001, см. также <http://www.lsrn.ru>.
2. Гусев Н.Г. и др. Защита от ионизирующих излучений, т.1, Физические основы защиты от злучений / под ред. Н.Г. Гусева. М.: Энергоатомиздат, 1989, 512 с.
3. Tickner J., On the choice of estimators for the use with universal detector response functions, presented at Conference "Monte Carlo Method: Versatility Unbounded in a Dynamic World", Chattanooga, Tennessee, April 17-21, 2005, on CD-ROM, American Nuclear Society, LaGrange Park, IL (2005).
4. Пакет программ LSRM-2000. Руководство пользователя. – п. Менделеево Солнечногорского р-на Московской обл.: ГП “ВНИИФТРИ”, ООО “ЛСРМ”, см. также <http://www.lsrn.ru>.

Приклади розв’язання задач за модулем ЗМП-2

Тема 2.1 Задача 1 Визначити довжину R пробігу α -частинок, що випромінюються $^{236}_{94}\text{Pu}$, у повітрі при нормальних умовах.

α -частинка

$$Z = 94$$

$$P = 10^5 \text{Pa}$$

$$T = 273^\circ\text{K}$$

$$R = ?$$

Для розв’язування задачі можна скористуватися емпіричною формулою для середньої довжини пробігу α -частинки з кінетичною енергією E (в МеВ) у повітрі при нормальних умовах $R_\alpha = 0.31 E^{3/2}$ см ($4 \text{ MeV} < E < 7 \text{ MeV}$).

Для визначення енергії альфа-частинки, що випромінюється $^{236}_{94}\text{Pu}$, скористуємось формулою Гейгера- Неттола, що пов’язує енергію частинки з періодом напіврозпаду $T_{1/2}$:

$$E = \left(\frac{D}{\lg T_{1/2} - C} \right)^2$$

$T_{1/2} = 2.7 \text{ г} = 365 \cdot 24 \cdot 3600 \text{ сек} = 0.851 \cdot 10^9 \text{ сек.}, \lg 0.851 \cdot 10^9 = 8.26,$

$C = -53.35,$

$D = 147.4.$

Після розрахунку маємо $E = (147 / (8.26 + 53.5))^2 = 5.62 \text{ MeV}.$

Середня довжина пробігу частинки з такою енергією:

$R = 0.31 \cdot 5.62^{3/2} \text{ см} = 4.13 \text{ см}.$

Таким чином, довжина пробігу α -частинки, що випромінюється ${}^{236}_{94}\text{Pu}$ у повітрі при нормальних умовах, дорівнює 4.13 см.

Відповідь: $R = 4.13 \text{ см}.$

Тема 2.2 Задача 2. Знайти часове розділення детектора сцинтиляційного γ -спектрометра методом двох препаратів, якщо відомо, що $N_1 = 50 \text{ імп/с}$, $N_2 = 60 \text{ імп/с}$, $N_{12} = 85 \text{ імп/с}$

Розв'язання:

Часове розділення визначається за формулою:

$$\tau = \frac{N_{1\text{вим}} + N_{2\text{вим}} - N_{12\text{вим}}}{2 \cdot N_{1\text{вим}} \cdot N_{2\text{вим}}}$$

Підставляючи дані з умови задачі, отримуємо

$$\tau = \frac{50 + 60 - 85}{2 \cdot 50 \cdot 60} = 0,004 \text{ с}.$$

Відповідь: 4 с.

Тема 2.3 Задача 3. Знайти енергетичне розділення спектрометра по Cs-137, якщо відомо, що ширина фотопіку на половині його висоти дорівнює 6 кеВ.

Розв'язання:

Енергетичне розділення визначається за формулою

$$R = \frac{N_{1/2}}{N_{\text{цпн}}} \cdot 100 \%,$$

де $N_{1/2}$ - ширина фотопіку на половині висоти піка,

$N_{\text{цпн}}$ - номер каналу, в якому знаходиться центр ваги даного фотопіка.

Знаходимо номер каналу та підставляючи дані з умови задачі та номер каналу, отримуємо

$$R = 6 \cdot 100 / 661 = 1 \%$$

Відповідь: 1 %

Приклади тестових завдань екзаменаційної роботи

1. Що показує характеристика поглинання іонізуючого випромінювання захисними екранами I_{10} ?

Література: [1]- с.6-10; [2]- с.29-68; [3]- с.26-34.

2. За допомогою яких приладів визначають активність іонізуючого випромінювання?

Література: [1]- с. 39-81; [2]- с.20-21; [3]- с. 149-209.

3. За допомогою яких приладів перетворюють сцинтиляції в електричний імпульс ?

Література: [1]- с. 39-81; [2]- с.20-21; [3]- с. 149-209.

4. Скільки шарів половинного послаблення потрібно для зменшення рентгенівських променів в 4 рази?

Література: [1]- с.6-10; [2]- с.29-68; [3]- с.26-34.

5. Як називається чутливий елемент приладів радіо-дозиметричного контролю

Література: [1]- с. 82-112; [2]- с.32-36; [3]- с.85-136.

6. Завдяки чому відбувається іонізація макромолекул у водних розчинах (непряма дія іонізуючого випромінювання):

Література: [1]- с.6-10; [2]- с.29-68; [3]- с.26-34.

7. Щоб отримати рентгенівський знімок грудної клітки людини використовують:

Література: [1]- с.6-10; [2]- с.29-68; [3]- с.26-34.

8. За внутрішнього опромінення людини найбільш шкідливими є:

Література: [1]- с.6-10; [2]- с.29-68; [3]- с.26-34.

9. В яких одиницях вимірюється потужність експозиційної дози?

Література: [1]- с.26-34; [2]- с.74-82 ; [3]- с.36-44 .

10. У яких одиницях вимірюється сучасними дозиметрами еквівалентна доза?

Література: [1]- с.26-34; [2]- с.74-82 ; [3]- с.36-44 .

11. Як називаються прилади для вимірювання та аналізу спектрів гамма-випромінювання?

Література: [1]- с. 114-126; [2]- с.36-43; [3]- с.137-149.

12. Де проходження іонізуючої частинки реєструється за виникненням імпульсу електричного струму внаслідок виникнення самостійного розряду в газі?

Література: [1]- с.26-34; [2]- с.74-82 ; [3]- с.36-44 .

13. Як називається самодовільне перетворення ядер, внаслідок якого вилітає ядро атома гелію:

Література: [1]- с.6-10; [2]- с.29-68; [3]- с.26-34.

14. За β + -розпаду з атомного ядра вивільнюється:

Література: [1]- с.6-10; [2]- с.29-68; [3]- с.26-34.

15. Певні нукліди випромінюють γ -кванти, тому що:
Література: [1]- с.6-10; [2]- с.29-68; [3]- с.26-34.
16. Назвати радіоактивний ізотоп, розпад якого дає найбільший внесок в опромінення людини:
Література: [1]- с.6-10; [2]- с.29-68; [3]- с.26-34.
17. Основним способом захисту від радіації в навколишньому середовищі є
Література: [1]- с.6-10; [2]- с.29-68; [3]- с.26-34.
18. За один період напіврозпаду активність радіоактивної речовини
Література: [1]- с.6-10; [2]- с.29-68; [3]- с.26-34.
19. Для зменшення інтенсивності рентгенівських променів в 4 рази потрібно використати
Література: [1]- с.6-10; [2]- с.29-68; [3]- с.26-34.
20. Процес розкладу речовини під дією радіації при відсутності або недостатності кисню, називається
Література: [1]- с.26-34; [2]- с.74-82 ; [3]- с.36-44 .
21. У захисних пристроях навколишнього середовища від енергетичних впливів захист може здійснюватися
Література: [1]- с.6-10; [2]- с.29-68; [3]- с.26-34.
22. Яка доза характеризує кількість енергії іонізуючого випромінювання, поглинутої одиницею маси речовини?
Література: [1]- с.26-34; [2]- с.74-82 ; [3]- с.36-44 .
23. Еквівалентом якої одиниці є одиниця ефективної біологічної дози 1 бер ?
Література: [1]- с.26-34; [2]- с.74-82 ; [3]- с.36-44 .
24. Джерела іонізуючого випромінювання в об'єктах навколишнього природного середовища.
Література: [1]- с.5-6; [2]- с.7-13; [3]- с.6-10.
25. Пробіг легких заряджених частинок у речовині..
Література: [1]- с.6-10; [2]- с.29-68; [3]- с.26-34.
26. Взаємодія важких заряджених частинок іонізуючого випромінювання з речовиною.
Література: [1]- с.6-10; [2]- с.29-68; [3]- с.26-34.
27. Скільки шарів половинного послаблення потрібно для зменшення рентгенівських променів в 2 рази?
Література: [1]- с.6-10; [2]- с.97; [3]- с.26-34.
28. Лінійна передача енергії.
Література: [1]- с.24-26; [2]- с.29-68; [3]- с.26-34.
29. Потужність експозиційної дози?
Література: [1]- с.26-34; [2]- с.74-82 ; [3]- с.36-44 .
30. Яка одиниця поглинутої дози випромінювання відповідає одиниці експозиційної дози 1 Рентген ?

Література: [1]- с.26-34; [2]- с.74-82 ; [3]- с.36-44 .

31. Як співвідносяться між собою одиниці поглинутої дози випромінювання 1 Грей і 1 рад?

Література: [1]- с.26-34; [2]- с.74-82 ; [3]- с.36-44 .

32. Для якого з видів іонізуючого випромінювання є характерним механізм гальмівного випромінювання?

Література: [1]- с.6-10; [2]- с.29-68; [3]- с.26-34.

33. Теплові та швидкі нейтрони.

Література: [1]- с.47; [2]- с.29-68; [3]- с.26-34.

34. Біологічна дія іонізуючого випромінювання.

Література: [1]- с.47; [2]- с. 68-69; [3]- с.26-34.

35. Взаємодія легких заряджених частинок іонізуючого випромінювання з речовиною

Література: [1]- с.6-10; [2]- с.29-68; [3]- с.26-34.

36. За допомогою яких приладів перетворюють сцинтиляції в електричний імпульс ?

Література: [1]- с.50-57; [2]- с.74-82 ; [3]- с.48-62 .

37. Що називається “мертвим часом” лічильника Гейгера- Мюллера ?

Література: [1]- с.50-57; [2]- с.74-82 ; [3]- с.48-62 .

38. На якому з ефектів заснований іонізаційний метод реєстрації радіації?

Література: [1]- с.50-57; [2]- с.74-82 ; [3]- с.48-62 .

39. За допомогою яких приладів визначають радіоактивність?

Література: [1]- с.50-57; [2]- с.74-82 ; [3]- с.48-62 .

40. На якому з ефектів заснований сцинтиляційний метод реєстрації радіації?

Література: [1]- с.50-57; [2]- с.74-82 ; [3]- с.48-62 .

41. Сцинтиляційний метод реєстрації іонізуючого випромінювання.

Література: [1]- с.50-57; [2]- с.74-82 ; [3]- с.48-62 .

42. Лічильники Гейгера-Мюллера.

Література: [1]- с.50-57; [2]- с.74-82 ; [3]- с.48-62 .

43. Прилади та обладнання для вимірів параметрів іонізуючого випромінювання.

Література: [1]- с.50-57; [2]- с.74-82 ; [3]- с.48-62 .

44. Визначення еквівалентної дози методом дозових коефіцієнтів.

Література: [1]- с.50-57; [2]- с.74-82 ; [3]- с.48-62 .

45. Основні методи індикації іонізуючого випромінювання (іонізаційний, напівпровідниковий, сцинтиляційний, люмінесцентний)

Література: [1]- с.50-57; [2]- с.74-82 ; [3]- с.48-62 .

46. Як називаються прилади для вимірювання та аналізу спектрів гамма-випромінювання?

Література: [1]- с.50-57; [2]- с.74-82 ; [3]- с.48-62 .

47. Сцинтиляційні детектори
Література: [1]- с.50-57; [2]- с.74-82 ; [3]- с.48-62 .
48. Принцип роботи аналізатора імпульсів.
Література: [1]- с.50-57; [2]- с.74-82 ; [3]- с.48-62 .
49. Що являє собою програмний комплекс GammaLab?
Література: [1]- с.50-57; [2]- с.74-82 ; [3]- с.48-62 .
50. Багатоканальний аналізатор імпульсів.
Література: [1]- с.50-57; [2]- с.74-82 ; [3]- с.48-62 .

Література

Основна література

1. Курятников В.В. Фізичні основи радіометрії та дозиметрії : Конспект лекцій. Одеса: ОДЕКУ, 2011. 57с.
2. Герасимов О.І., Кільян А.М. Елементи фізики довкілля: Радіоекологія (конспект лекцій). Одеса: ОДЕКУ, 2003. 134с.
3. Герасимов О.І. Радіоекологія за галузями. Підручник. Одеса: ТЕС, 2016. 100с.
4. Курятников В.В., Співак А.Я., Кільян А.М. Фізичні основи радіометрії та дозиметрії : Збірник методичних вказівок до лабораторних робіт. Одеса: ОДЕКУ, 2008. 34 с.

Додаткова література

1. Гусев Н.Г. и др. Защита от ионизирующих излучений. т.1. Физические основы защиты от злучений / под ред. Н.Г. Гусева. М.: Энергоатомиздат, 1989. 512 с.
2. Герасимов О.І., Андріанова І.С., Затовська А.О., Співак А.Я. Радіоекологія : Методичні вказівки до розв'язання задач / Одеськ. держ. еколог. ун-т. Одеса: Екологія, 2012. 60 с.
3. Иванов В.И., Климанов В.А., Машкович В.П. Сборник задач по дозиметрии и защите от ионизирующих излучений. М.: Энергоатомиздат, 1991. 154 с.
4. Курятников В.В., Кільян А.М. Радіоекологія : Методичні вказівки до лабораторних робіт. Одеса: ОДЕКУ, 2002. 35 с.
5. Курятников В.В. Методичні вказівки до лабораторних робіт з дисципліни “Основи технологій захисту навколишнього середовища ” ч.2. Одеса: ОДЕКУ, 2021. 36 с.
6. Иванов В.И. Курс дозиметрии. М.: Атомиздат, 1988. 459 с.
7. Репозитарій ОДЕКУ. URL: <http://eprints.library.odetu.edu.ua/>