

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до СРС з дисципліни “Радіоекологія”
для студентів денної та зочної форм навчання**

"Затверджено"

на засіданні робочої групи “Заочна
та післядипломна освіта”

Протокол № __ від “__” __ 2006 р.

Керівник групи

_____ Степаненко С.М.

"Затверджено"

Декан _____ природоохоронного
факультету

Протокол № __ від “__” __ 2006р.

Декан _____ Шекк П.В.

Затверджено"

Декан заочного факультету

Протокол № __ від “__” __ 2006р.

Декан _____ Бояринцев Є.Л.

"Затверджено"

на засіданні кафедри загальної і
теоретичної фізики

Протокол № __ від “__” __ 2006р.

Зав.кафедрою

_____ Герасимов О.І.

Методичні вказівки до СРС з дисципліни “ Радієкологія” для студентів денної та заочної форм навчання

Укладач: Курятников В.В. Одеса, ОДЕКУ, 2006 р., 45 с. укр. мова.

Відповідальний редактор: зав. кафедрою загальної і теоретичної фізики,
доктор фіз.-мат. наук, проф. О.І.Герасимов

Зміст

Вступ.	4
1. Загальна частина.	5
1.1 Мета і задачі курсу.	5
1.2 Перелік навчальної літератури.	6
1.3 Перелік базових знань та вмінь з радіоекології.	7
1.4 Контрольні заходи з дисципліни "Радіоекологія".	7
2. Організація самостійної роботи студентів з радіоекології.	9
2.1 Перелік тем занять	9
2.2 Перелік завдань на самостійну роботу.	13
2.3 Повчання по послідовному вивченню теоретичного матеріалу.	14
2.4 Теми рефератів з радіоекології.	24
2.5 Література для написання рефератів.	25
3. Організація контролю знань та вмінь студентів.	26
3.1 Модульна система контролю знань та вмінь студентів.	27
3.2 Перелік контрольних заходів і терміни їх проведення.	29
3.3 Вимоги, що пред'являються до студента на контролюючих заходах поточного контролю.	29
3.3.1 Питання до першого модуля	30
3.3.2 Питання до другого модуля.	30
3.3.3 Питання до тестування	31
3.3.4 Питання до практичного модуля.	32
3.4 Питання для самоперевірки засвоєння матеріалу модулів.	32
3.4.1 Питання "базового компоненту".	32
3.4.2 Додаткові питання.	35
3.4.3 Тестові завдання з базового компоненту для самоперевірки при підготовці до підсумкової атестації.	38
3.4.4 Перелік завдань для підготовки до контрольної роботи.	40

Вступ

Мета цих методичних вказівок - допомогти студентам денної та заочної форм навчання в самостійній роботі при вивченні курсу "Радіоекологія".

Самостійна робота студента з радіоекології включає :

- підготовку до лекційних і лабораторних занять;
- підготовку до написання контрольних робіт;
- підготовку рефератів з теми вивчення;
- підготовку до заліку (іспиту);
- виступів на студентській науковій конференції.

В загальній частині цих методичних вказівок наведені мета і задачі курсу, які відповідають типовій програмі, місце радіоекології серед інших дисциплін навчального плану підготовки. Дається перелік основної та додаткової навчальної літератури та перелік знань і вмінь, якими повинен володіти студент для успішного засвоєння даної дисципліни. Приводиться перелік і графік контрольних заходів поточного контролю.

В розділі "Організація самостійної роботи по виконанню завдань на СРС" міститься

- перелік завдань на самостійну роботу, які передбачені навчальним планом і програмою курсу;
- повчання по послідовному вивченню теоретичного матеріалу;
- вказівки по підготовці рефератів, а також перелік літератури для написання цих рефератів.

В третьому розділі "Організація контролю знань та вмінь студентів" міститься інформація про модульну форму контролю знань та вмінь студентів, яка використовується в даній дисципліні. Приводяться

- основні положення системи модульного контролю, що використовуються в даній дисципліні;
- перелік контрольних заходів з даної дисципліни та терміни їх проведення;
- вимоги, що пред'являються до студента на контрольних заходах поточного контролю;
- перелік питань, що виносяться на модульний контроль;
- перелік питань для самоперевірки знань;
- перелік тестових завдань при підготовці до підсумкового контролю.

В результаті засвоєння дисципліни студент повинен мати **знання**, що стосуються радіоактивного розпаду, взаємодії іонізуючого випромінювання з речовиною, міграції радіонуклідів в природному середовищі.

Вміння, що отримає студент, стосуються оцінок ступеня радіоактивного забруднення, прийняття потрібних мір захисту від радіації, прогнозування радіаційного стану природного середовища на підставі вивчення радіоактивного забруднення.

1. Загальна частина

1.1 Мета і задачі курсу

Метою дисципліни є ознайомлення студентів з переліком теоретичних знань та практичних навичок з питань радіоекології, необхідних для здійснення оцінок, моніторингу та прогнозування наслідків радіоактивного забруднення природного середовища.

Задача радіоекології – формування уявлення про радіацію, методи реєстрації радіаційного випромінювання, наслідки взаємодії іонізуючого випромінювання з речовиною, зокрема з біологічними об'єктами, процесів поширення радіаційного забруднення. Задача досягається шляхом конкретного наповнення дисципліни елементами ядерної фізики іонізуючих випромінювань, спектрометрії та дозиметрії, гідродинаміки, математичного моделювання, правових знань. Об'єктами вивчення виступають процеси радіаційного забруднення, кінетичні властивості міграції радіонуклідів у природному середовищі. Дисципліна спирається на знання, які здобуті студентами при вивченні загальної фізики, хімії та математики.

“Радіоекологія” є одним з елементів комплексу дисциплін, що вивчають екологію, є одним з розділів дисципліни “Техноекологія” та пов'язана з дисциплінами “Моніторинг навколишнього середовища”, “Загальна екологія” та іншими.

Радіоекологія - це галузь знань про вплив радіації на природні та штучні об'єкти та живі організми. Радіоекологія - нова, синтетична наука, що спирається на фундаментальні дисципліни, серед яких фізика, хімія, біологія, юридичні науки та ін.

Актуальність радіоекологічних досліджень пов'язана з поширенням сфери застосування радіоактивних речовин, до якої відноситься атомна енергетика, воєнна техніка, медицина, підприємства сільського господарства, а також підприємства, що виробляють та утилізують радіоактивні ізотопи.

На Україні актуальність радіоекологічних досліджень пов'язана насамперед з ліквідацією наслідків аварії на ЧАЕС.

Мета та задачі курсу - вивчення питань, що стосуються іонізуючого випромінювання, взаємодії його з речовиною та біологічними об'єктами, вивчення методів реєстрації іонізуючого випромінювання та діагностичної апаратури, вивчення питань поширення радіонуклідів в біосфері.

В курсі радіоекології розглядається комплекс питань, що стосуються соціальної і екологічної сфери, питань законодавства, особливостей радіоекологічної експертизи, норм радіаційної безпеки, які регламентуються законами України про радіаційну безпеку.

Структурні блоки курсу:

Радіонукліди.

Взаємодія іонізуючого випромінювання з речовиною.

Вимірювання радіації. Елементи радіометрії і дозиметрії.

Атомна енергетика.

Міграція радіонуклідів і радіоактивне забруднення середовища.

Радіаційний моніторинг.

Соціальні і правові аспекти радіоекології. Норми радіаційної безпеки.

1.2 Перелік навчальної літератури

Основна

1. Основы сельскохозяйственной радиологии. Б.С. Пристер, Н.А. Лоцилов, О.Ф. Немец, В.Я. Поярков, Киев, 1988.
2. Герасимов О.І., Кільян А.М. Елементи фізики довкілля: Радіоекологія (конспект лекцій),- Одеса, ОДЕКУ, 2003.
3. Герасимов О.І. Елементи фізики довкілля. Одеса, ТЭС, 2004.
4. Збірник задач з радіоекології. ОДЕКУ, Одеса, 2003 – 135с.
5. Кутлахамедов Ю.О. та ін. Основы радиоекологии: Навч. посіб. – К.: Вища шк., 2003. – 319с.
6. Иванов В.И. Курс дозиметрии. – М.: Энергоатомиздат, 1988, - 400 с.
7. Широков Ю.М., Юдин Н.П. Ядерная физика. М, 1972.
8. Изотопы и радиация в сельском хозяйстве. Под ред. В.В. Рачинского, т.1,2. 1989.
9. Савельев И.В. Курс физики. Т.3.- М.: Наука, 1989.
10. Радиогеоэкология водных объектов зоны влияния аварии на ЧАЭС. Под ред. О.В. Войцеховича, - Киев: Чернобыльинтеринформ, 1997.
11. Радиация, дозы, эффекты, риск. Пер.с англ. - М.: Мир, 1990.

Додаткова

12. Альфа-, бета- и гамма – спектроскопия. Под ред. К.Зигбана. Вып. 1 М.: Атомиздат, 1969 – 567 с.
13. Анализатор импульсов АИ-128-2. Техническое описание и инструкция по эксплуатации ЖШ2.800.065ТО. – 128 с.
14. Громов В.В., Москвин А.И., Сапожников Ю.А. Техногенная радиоактивность Мирового океана. – М.: Энергоатомиздат, 1985 – 272с
15. Нормы радіаційної безпеки України – НРБУ – Київ, 1997.
16. Закон України “Про захист людини від впливу іонізуючих випромінювань”. – Київ, 1998.
17. Маргулис И.Я. Атомная энергия и радиационная безопасность. - М.: Энергоатомиздат, 1988.

- 18.Методичні вказівки до контрольної роботи з дисципліни «Радіоекологія» для студентів заочного факультету. Курятников В.В., Затовська А.О.,Одеса,ОДЕКУ, 2006р.
- 19.Методичні вказівки до лабораторних робіт з дисципліни “Радіоекологія” для студентів 3-го курсу денної форми навчання за спеціальністю “Екологія та охорона навколишнього середовища”. Курятников В.В., КільянА.М.,Одеса,ОДЕКУ, 2002р.1.3

1.3 Перелік базових знань та вмінь

Базові знання	Вміння
<p>Основні характеристики атомного ядра. Маса і енергія зв'язку ядра. Ядерні реакції.</p> <p>Радіонукліди Іонізуюче випромінювання. Види іонізуючого випромінювання.</p> <p>Наслідки впливу іонізуючого випромінювання на речовину. Наведена радіоактивність.</p> <p>Взаємодія іонізуючого випромінювання з біологічними об'єктами. Дози опромінювання. Потужності доз. Одиниці доз випромінювання. Радіаційне забруднення, його джерела. Норми радіаційної безпеки та санітарні правила при роботі з радіоактивними речовинами.</p> <p>Шляхи міграції радіонуклідів. Заходи захисту від іонізуючого випромінювання.</p>	<p>Вміння розрахувати питому енергію зв'язку. Вміння визначати активність радіонуклідів. Вміння розраховувати період напіврозпаду радіонуклідів.</p> <p>Вміння визначати і розраховувати коефіцієнт поглинання іонізуючого випромінювання.</p> <p>Вміння користуватися радіометричними і дозиметричними приладами – радіометрами, дозиметрами та спектрометрами.</p> <p>Вміння вимірювати дози та потужність доз випромінювання.</p> <p>Вміння розраховувати річну еквівалентну дозу випромінювання.</p> <p>Вміння оцінювати ступень радіаційної безпеки і шляхи розповсюдження радіаційного забруднення.</p>

1.4 Контрольні заходи з “Радіоекології” для студентів денної форми навчання

Однією з форм контролю знань студентів є захист лабораторних робіт.

Для захисту лабораторних робіт студентам потрібно:

- напередодні лабораторного заняття ознайомитися з методичними вказівками до лабораторної роботи за темою заняття, а також підготувати протокол для запису даних лабораторної роботи;

- на початку лабораторного заняття студент повинен відповісти викладачеві, що проводить заняття, на теоретичні питання, які містяться в методичних матеріалах даної роботи і в конспекті лекцій за темою лабораторної роботи. Студенту потрібно довести викладачу, що він знає і розуміє мету і завдання лабораторної роботи, знає теоретичний метод, який використовується в даній роботі, знає принцип дії експериментального приладу. Відповіді студентів оцінюються певною кількістю балів.
- отримавши дозвіл викладача на виконання вимірювань, студент виконує експериментальну частину роботи;
- дані експериментальних вимірювань потрібно обробити, виконати необхідні розрахунки, зробити необхідні графіки і таблиці. Після завершення обчислювань студент захищає оформлений протокол роботи.

Для підготовки до контрольної роботи студент повинен виконати завдання за темою контрольного заходу.

Перелік завдань до самостійної роботи студентів приведений в другому розділі цих методичних вказівок "Організація самостійної роботи студентів з радіоекології".

Варіанти завдань пропонуються студентам викладачем, що читає лекції.

При оформленні таких завдань студентам потрібно записати умову завдання, його розв'язок, отримані результати представити у стислій відповіді. Завдання до самостійної роботи відповідають за своїм змістом та мірою складності варіантам задач на контрольній роботі.

Метою контрольної роботи є остаточна перевірка засвоєння студентами основних розділів курсу. Контрольна робота містить ряд завдань з окремих розділів дисципліни.

На протязі навчального семестру для студентів деної форми навчання проводяться дві контрольні роботи та тестування згідно з графіком заходів поточного контролю, що представлений нижче.

Графік заходів поточного контролю.

1	Захист лабораторних робіт	За розкладом занять
2	Контрольна робота № 1	7 тиждень
3	Контрольна робота № 2	12 тиждень
4	Тестування	15 тиждень
5	Семестровий контроль (іспит, залік)	16 тиждень

2. Організація самостійної роботи студентів з радіоекології.

Студент при виконанні самостійної роботи повинен дотримуватися програми курсу та кількості годин, що відведено на СРС і інші форми занять.

2.1 Перелік тем занять	Лек.	Лаб.	Сам.
Вступ Предмет вивчення. Визначення дисципліни. Основні етапи розвитку. Актуальність радіоекологічних досліджень Норми радіаційної безпеки. Закони України про радіаційну безпеку. Структура курсу, його блоки та програма. Зв'язок дисципліни з іншими дисциплінами.	1		
Загальний огляд фізико-хімічних основ радіоекології. 2.1 Нукліди, радіонукліди. Нуклони - протон, нейтрон, заряд ядра, масове число, ізотопи, ізобари, ізотони. Розмір ядра. Спін ядра. Магнітний дипольний момент та електричний квадрупольний момент ядра. Дефект маси, питома енергія зв'язку, її залежність від масового числа. Ядерні сили та їх властивості. Моделі атомного ядра.	3		4
2.2 Джерела радіоактивного забруднення та іонізуючого випромінювання. Види радіоактивності: α - розпад; β - розпад; електронний захват; γ - випромінювання. Закон радіоактивного розпаду, постійна розпаду, середній час життя, період напіврозпаду. Правила зміщення. Радіоактивні ряди. Схеми розпаду. Накопичення та утворення ряду послідовних продуктів розпаду радіонуклідів. Узагальнена форма закону радіоактивного розпаду. Секулярна рівновага. Активність радіонуклідів. Одиниці виміру радіоактивності. Експериментальне визначення періодів напіврозпаду радіонуклідів. Джерела радіоактивного забруднення та іонізуючого випромінювання. Їх екологічна небезпека.	2		4

<p>2.3 Іонізуюче випромінювання та взаємодія його з речовиною.</p> <p>Види іонізуючого випромінювання: α, β та γ - випромінювання, їх властивості.</p> <p>Взаємодія α- та β- випромінювання з речовиною. Механізми взаємодії. Втрата енергії, іонізація, гальмова здібність. Пружне розсіяння. Ефективний переріз розсіяння. Проходження нейтронів крізь речовину. Механізми взаємодії. Резонансне поглинання. Взаємодія γ - випромінювання з речовиною. Механізми взаємодії. Коефіцієнт поглинання. Наведена радіоактивність.</p> <p>Відносна небезпека різноманітних видів випромінювання.</p>	4	4	4
<p>2.4 Дози випромінювання.</p> <p>Дози випромінювання: поглинена, експозиційна та еквівалентна. Керма. Потужність доз. Одиниці доз випромінювання. Колективна доза випромінювання.</p> <p>Взаємодія іонізуючого випромінювання з біологічними об'єктами.</p>	4	4	6
<p>2.5 Методи реєстрації іонізуючого випромінювання.</p> <p>Елементи дозиметрії та радіометрії. Загальна характеристика методів реєстрації іонізуючого випромінювання.</p> <p>Газорозрядні детектори іонізуючого опромінювання (іонізаційна камера, пропорційний лічильник, лічильник Гейгера-Мюллера). Принцип дії, основні характеристики.</p> <p>Сцинтиляційний детектор. Принцип дії, основні характеристики.</p> <p>Напівпровідникові детектори. Принцип дії, основні характеристики.</p> <p>Дозиметри та радіометри. Принцип дії, основні характеристики. Аналізатори р/а випромінювання. Спектрометри на базі сучасних ЕОМ.</p>	2	4	6

<p>2.6 Модельне прогнозування стану радіоекологічних об'єктів. Ядерний цикл. Ядерний реактор. Небезпечність АЕС. Хронологія аварій на ядерних об'єктах. Аварія на ЧАЕС. Причини, сценарії та наслідки аварії. Глобальне і регіональне радіаційне забруднення навколишнього середовища.</p>	4		4
<p>2.7 Моніторинг радіоактивного забруднення навколишнього середовища. Особливості радіоекологічного моніторингу. Методи статистичної обробки результатів вимірювання. Оцінки помилки результатів радіоекологічного моніторингу. Методи радіоекологічного моніторингу. Моніторинг радіоактивного забруднення середовища навколо АЕС.</p>	2	4	4
<p>2.8 Міграція радіонуклідів у біосфері. Міграція радіонуклідів в атмосфері. Властивості та загальні механізми. Розповсюдження радіонуклідів у водному середовищі. Особливості радіоактивного забруднення ґрунту і рослинного покриву. Механізми міграції та перерозподілу радіонуклідів у водних екосистемах. Радіаційне забруднення донних відкладень. Радіоактивне забруднення водних об'єктів зони впливу аварії на ЧАЕС.</p>	4		4
<p>2.9 Біологічна дія радіації. Фізико-хімічні та молекулярно-біологічні механізми взаємодії іонізуючого випромінювання з живою матерією. Пряма і непряма дія іонізуючого випромінювання. Взаємодія іонізуючого випромінювання з молекулою, клітиною та органами живого організму. Радіотоксини. Радіочутливість. Критичні органи. Мутації. Променева хвороба. Шляхи надходження радіоактивних речовин в організм людини та тварини. Інгаляційний шлях. Аерозолі. Радіотоксикологія головних дозоутворювальних радіонуклідів: йоду, стронцію, цезію, тритію, кобальту, цинку, марганцю.</p>	2		4

<p>2.10 Нормування радіаційної безпеки. Об'єкти радіоекологічної експертизи. Закон України " Про захист населення від джерел іонізуючого опромінювання". Нормування радіаційної безпеки на Україні. Норми НРБУ-97 та ОСП (основні санітарні правила).</p>	2		4
<p>2.11 Схов переробка та утилізація відходів іонізуючого випромінювання. Проблеми переробки та утилізації р/а речовин. Пункти схову р/а речовин. Діяльність українського державного об'єднання "Радон".</p>	2		4

Перелік тем лабораторних занять

Теми лабораторних занять	Кільк. год.	Самост.
<p>Вивчення роботи лічильника Гейгера-Мюлера. Визначення вольт-амперної характеристики лічильника.</p>	2	2
<p>Визначення головних характеристик роботи детекторів іонізуючого випромінювання – визначення енергетичного розділення, визначення мертвого часу , визначення чутливості.</p>	2	2
<p>Вивчення іонізаційних дозиметрів. Дозиметр з лічильниками Гейгера-Мюллера. Дозиметр "Стора"</p>	2	2
<p>Дозиметричні виміри (сцинтиляційні дозиметри типу СРП-68): принцип дії, побудова, структурна схема, органи керування, настройка, визначення головних характеристик.</p>	2	2
<p>Радіометр РУБ01П: побудова, принцип дії, калібровка, визначення сумарної β - активності препаратів.</p>	2	2
<p>Багатоканальний аналізатор імпульсів АІ-1024: принцип дії, структурна схема, органи керування.</p>	2	2
<p>Сцинтиляційний γ - спектрометр: настроювання, визначення головних характеристик. Калібровка енергетичної шкали. -</p>	4	2

2.2 Перелік завдань на самостійну роботу.

ТЕМИ	ЗАВДАННЯ	Кількість годин СРС	Контрольні заходи	Термін виконання (тиждень)
1. Загальний огляд фіз.хім. основ радіоекології. Радіоактивність. Іонізуюче випромінювання та взаємодія його з речовиною.	"Курс загальної фізики" І.В.Савельєв, т.3, 1987, с.231-272. Герасимов О.І., Кільян А.М. Елементи фізики довкілля. с.7-64, конспект лекцій,	8	Усне опитування.	4
2. Методи реєстрації іонізуючого випромінювання Елементи дозиметрії та радіометрії.	Конспект лекцій. Підготуватися до захисту лаб. робіт 1 і 2. Широков Ю.М., Юдин Н.П. Ядерная физика.-М: 1972	8	Контр.робота Захист лаб.робіт	6
3. Дози випромінювання та взаємодія і.в. з біологічними об'єктами	Ю.О.Кутлахмедов, В.І.Корогодін, В.К.Кольтовер "Основи радіоекології"; В.И.Иванов "Курс дозиметрии"; лаб.раб.3і4;	8	Контр.робота Захист лаб.робіт	8
4. Міграція радіонуклідів у біосфері.	Вивчення конспекту лекцій. "Основы сельскохоз. радиологии" Пристер, Поярков	8	Тестування	10
5. Радіаційний моніторинг.	Вивчення конспекту лекцій.	8	Усне опитування	12
6. Р/а забруднення водних об'єктів.	Конспект. Радиогеоэкол. водн. объ-ектов. Под ред. О.В.Войцеховича	14	Реферат.	16

2.3 Повчання по послідовному вивченню теоретичного матеріалу.

При вивченні **першого та другого розділів** дисципліни студентам потрібно звернути увагу на засвоєння основних понять, що пов'язані з радіоактивністю. Це - активність радіонуклідів, питома активність, постійна розпаду, період піврозпаду і його зв'язок з постійною розпаду. Потрібно навчитися визначати період піврозпаду за даними про питому активність радіонукліда. При вивченні теми, що стосується радіоактивних рядів, потрібно звернути увагу на питання радіоактивної рівноваги. Студенти повинні знати визначення радіоактивності, як явища спонтанного перетворення нестійких атомних ядер в ядра інших елементів, що супроводжується висиланням іонізуючого випромінювання. Потрібно також знати види радіоактивного розпаду, до яких належать α - розпад, β - розпад, γ - випромінювання, спонтанний поділ важких ядер, а також протонна радіоактивність.

Потрібно знати імовірнісний зміст сталої розпаду λ , яка входить до закону радіоактивного розпаду [7]

$$N = N_0 \cdot e^{-\lambda t}, \quad (2.3.1)$$

де N і N_0 - кількість радіоактивних ядер в момент часу t і початкова їх кількість відповідно, λ - константа розпаду.

Основне з понять в цьому розділі - активність. Потрібно знати, що активність a - це швидкість радіоактивного розпаду.

$$a = -\frac{dN}{dt} = \lambda \cdot N. \quad (2.3.2)$$

Одиниця активності в системі SI - 1 Бк = 1 розпад/с. Позасистемна одиниця 1 Кі = $3.7 \cdot 10^{10}$ Бк. (1 Бк - 1 Бекерель, 1 Кі - 1 Кюрі).

Друге з основних понять цього розділу це період піврозпаду. Період піврозпаду $T_{1/2}$ - це час, за який розпадається половина початкової кількості ядер

$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{0,693}{\lambda}. \quad (2.3.3)$$

З поняттям активності пов'язане поняття питомої активності. Питома активність q - це відношення активності радіоактивної речовини до її маси m

$$q = \frac{a}{m}, \quad (2.3.4)$$

Студентам потрібно знати, як за даними вимірювання питомої активності можна визначити період піврозпаду речовини. Якщо радіоактивний ізотоп A помістити в зачинену посудину і в цій посудині в результаті розпаду ізотопу A

утвориться радіоактивний ізопоп В, то через достатньо великий час кількість ізопопу В може бути визначена з співвідношення

$$N_A \cdot \lambda_A = N_B \cdot \lambda_B \quad (2.3.5)$$

Це співвідношення є умовою радіоактивної рівноваги. Ізопоп В при розпаді утворює інший радіоактивний ізопоп С і т.д. Таким чином утворюється ланцюжок або ряд радіоактивних елементів. Існують 4 радіоактивних ряди, три з яких є природними, а один - це ряд елементів Np^{237} , який отримали штучно. З формул (2.3.2) і (2.3.3) витікає

$$T_{1/2} = \frac{\ln 2 \cdot N}{a} \quad (2.3.6)$$

Кількість радіоактивних ядер дорівнює

$$N = N_A \cdot \frac{m}{M} \quad (2.2.7)$$

де N_A - число Авогадро, M - молярна маса.

Отже з формул (2.3.6) і (2.3.7) можна знайти період піврозпаду

$$T_{1/2} = \frac{\ln 2 \cdot N_A}{M \cdot a} \quad (2.3.8)$$

При вивченні **третього розділу** програми потрібно звернути особливу увагу на механізми взаємодії іонізуючого випромінювання з речовиною.

При проходженні заряджених частинок іонізуючого випромінювання (наприклад, α -частинок або β -частинок), основні механізми цього процесу полягають в іонізації та збудженні атомів речовини. Іонізаційні втрати таких частинок визначають за формулою Бора [7]

$$-\frac{dE}{dx} = \frac{2\pi \cdot Z^2 \cdot e^4 \cdot n \cdot M}{E \cdot m} \cdot \ln \frac{2m \cdot E}{I \cdot M} \quad (2.3.9)$$

де E , M - енергія та маса частинки, m - маса електрона в атомі, $I = 13,5 \text{ eV}$ - середній іонізаційний потенціал.

Лінійну втрату енергії ще називають лінійною передачею енергії і позначають літерою L_Δ , її можна виразити через енергію частинки E [7]

$$L_\Delta = \frac{2\pi \cdot e^4 \cdot Z^2 \cdot M \cdot n_e}{E \cdot m_0} \ln \frac{4E \cdot m_0}{I(Z)M} \quad (2.3.10)$$

де M – маса іонізуючої частинки.

Число електронів в одиниці об'єму можна виразити через густину ρ

$$n_e = \frac{ZmN_A}{V\mu} = Z\rho N_A/\mu \quad (2.3.11)$$

Середній потенціал іонізації атомів речовини визначається через порядковий номер Z

$$I(Z) = 13.5 \cdot Z \text{ eV.}$$

Якщо речовина складається з молекул, то ефективний середній потенціал іонізації розраховується за формулою

$$\ln I = \frac{\sum_i N_i Z_i \ln I_i}{\sum N_i Z_i}, \quad (2.3.12)$$

і сума по всіх атомах у молекулі, N_i – число атомів i -го сорту у молекулі.

Формулу (2.3.10) можна записати у вигляді, що дуже скорочує розрахунки:

$$L = \frac{B n}{E} \ln \frac{4Em_0}{M\Gamma}$$

де $B = \frac{2\pi z^2 e^4 M}{m_0 1.6 \cdot 10^{-6}}, \quad (2.3.13)$

Для взаємодії легких заряджених частинок з речовиною характерним є ще один механізм процесу - гальмове випромінювання. Це випромінювання обумовлює радіаційні втрати енергії легких частинок.

Для β - частинок з енергією декілька МеВ відношення радіаційних втрат енергії до іонізаційних втрат η дорівнює

$$\eta = \frac{E_m \cdot Z}{800}, \quad (2.3.14)$$

де E_m - максимальна енергія (МеВ) β - частинок, Z - атомний номер елемента речовини, у якій рухається β - частинка. При певній енергії радіаційні втрати дорівнюють іонізаційним. Ця енергія називається *критичною* $E_{кр}$

$$E_{кр} = \frac{800}{Z}. \quad (2.3.15)$$

Пробіг R - це мінімальна товщина шару речовини, що затримує частинки іонізуючого випромінювання.

Масовий пробіг R_m - це добуток лінійного пробігу R на густину речовини, що поглинає частинки

$$R_m = \rho \cdot R. \quad (2.3.16)$$

Для визначення пробігу існує ряд емпіричних формул. Так, наприклад, для моноенергетичних електронів максимальний масовий пробіг дорівнює

$$R_m = 0,526 \cdot E(\text{MeV}) - 0,24, \text{ г/см}^2. \quad (2.3.17)$$

Проходження γ - випромінювання крізь речовину

При проходженні γ - квантів крізь речовину їх енергія не змінюється, але в результаті зіткнень поступово зменшується інтенсивність пучка I . Закон ослаблення інтенсивності пучка зумовлений характерними

для γ - випромінювання механізмами взаємодії з речовиною. До цих механізмів належать: 1) фотоефект, 2) ефект Комптона, 3) народження електрон-позитронних пар. Для першого і третього механізмів взаємодії характерним є експоненціальний закон ослаблення інтенсивності пучка

$$I = I_0 \cdot e^{-\mu x}, \quad (2.3.18)$$

де I - початкова інтенсивність, x - товщина шару речовини, μ - коефіцієнт поглинання. Масовий коефіцієнт поглинання дорівнює

$$\mu_m = \mu / \rho, \quad (2.3.19)$$

де ρ - густина речовини.

Кожному механізму поглинання γ - квантів відповідає свій μ_i коефіцієнт поглинання $\mu_i = n_i \cdot \sigma_i$, де n_i - кількість центрів поглинання в одиниці об'єму; σ_i - повний переріз даного процесу.

Товщина шару половинного ослаблення $x_{1/2}$ інтенсивності випромінювання дорівнює

$$x_{1/2} = \ln 2 / \mu = 0,693 / \mu \quad (2.3.20)$$

Товщина шару десятикратного ослаблення I_{10}

$$I_{10} = \ln 10 / \mu = 2,3 / \mu \quad (2.3.21)$$

Проходження нейтронів крізь речовину

Для нейтронів немає кулонівської взаємодії. Один тільки вид витрат енергії при проходженні їх крізь речовину пов'язаний з ядерними зіткненнями. При таких зіткненнях швидкі нейтрони можуть так сильно штовхнути ядро, що воно відірветься від своїх власних електронів і полетить уперед, утворюючи іонізацію атомів речовини.

Повільні (теплові) нейтрони з енергією E менше 0,1 MeV не можуть надати ядру таку велику швидкість, але вони дуже легко проникають усередину ядра і спричиняють різні ядерні реакції. Уламки ядра, що утворюються в реакції, розлітаються, утворюючи іонізацію і збудження атомів середовища.

Ефективний переріз взаємодії σ в цілому зменшується при збільшенні енергії нейтронів, проте ця залежність не є монотонною. Вона має резонансний характер.

Ослаблення інтенсивності пучка нейтронів речовиною приблизно описується експоненціальним законом [7]

$$\varphi = \varphi_0 \cdot e^{-\mu x} \quad (2.3.22)$$

Коефіцієнт поглинання

$$\mu = \sigma \cdot N, \quad (2.3.23)$$

де N -кількість атомів в одиниці об'єму речовини

$$N = N_A \cdot \rho / M . \quad (2.3.24)$$

Товщина шару десятикратного ослаблення

$$I_{10} = \ln 10 / \mu = 2,3 \cdot M / \sigma \cdot N_A \cdot \rho . \quad (2.3.25)$$

Лінійні втрати енергії часто вимірюють в МеВ/мкм. Приведемо зв'язок між різноманітними одиницями енергії:

$1 \text{ eV} = 1.602 \cdot 10^{-19} \text{ Дж} = 1.602 \cdot 10^{-12} \text{ ерг}$. $1 \text{ Дж} = 6.25 \cdot 10^{18} \text{ eV}$, $1 \text{ ерг} = 6.25 \cdot 10^{11} \text{ eV} = 6.25 \cdot 10^5 \text{ МеВ}$. $1 \text{ МеВ} = 1.60 \cdot 10^{-6} \text{ ерг}$. Заряд електрона $e = 1.602 \cdot 10^{-19} \text{ Кл} = 4,80 \cdot 10^{-10}$ одиниць СГС

При вивченні **четвертого розділу** потрібно звернути увагу на те, що дози випромінювання є різними енергетичними характеристиками іонізуючого випромінювання. Розрізняють поглинуту, експозиційну та еквівалентну дози.

а) Поглинута доза D_n - це енергія, що поглинута одиницею маси речовини. Одиниця дози - 1 Грей. $1 \text{ Гр} = 1 \text{ Дж} / 1 \text{ кг}$

б) Експозиційна доза X - це кількість заряду, що утворюється в одиниці маси речовини при проходженні іонізуючого випромінювання. Одиниця дози в системі SI - 1 Кл/кг, несистемна одиниця - 1 Рентген. $1 \text{ Р} = 2,58 \cdot 10^{-4} \text{ Кл} / \text{кг}$.

в) Еквівалентна доза H_T - це добуток поглинутої дози на коефіцієнт якості k , який показує у скільки разів біологічна дія даного випромінювання більша за дію рентгенівського випромінювання

$H_n = k \cdot D_n$. Одиниця дози - 1 Зіверт. $1 \text{ Зв} = 100 \text{ бер}$.

Експозиційна доза в 1 Рентген відповідає поглинутій дозі 8,8 мГр, або еквівалентній дозі фотонного випромінювання 8,8 мЗв.

Еквівалентну дозу H можна розрахувати за формулою

$$H_T = A_v \cdot V_i \cdot v , \quad (2.3.25)$$

де $A_{\beta v}$ - об'ємна активність, V_i - дозовий коефіцієнт, v - швидкість споживання. Дозовий коефіцієнт може бути розрахований за формулою

$$V_i = \text{ГД} / \text{ГДР} \quad (2.3.26)$$

За нормами НРБУ-97 границя дози $\text{ГД} = 1 \text{ мЗв} / \text{година}$. Границя річного приходу ГРП для повітря дорівнює $3 \cdot 10^4 \text{ Бк} / \text{годину}$. Границя річного приходу ГРП для води дорівнює $7,1 \cdot 10^4 \text{ Бл} / \text{годину}$.

Таким чином, дозовий коефіцієнт, що визначається за формулою (2.3.26) для повітря

$$V_{ih} = 0,33 \cdot 10^{-7} \text{ Зв} / \text{Бк} ,$$

а для води

$$V_{ig} = 1,4 \cdot 10^{-8} \text{ Зв} / \text{Бк} .$$

П'ятий розділ програми присвячено методам реєстрації іонізуючого випромінювання. Тут потрібно звернути увагу, що в основі цих методів лежать фізичні принципи взаємодії іонізуючого випромінювання з речовиною. Студентам потрібно знати основні методи реєстрації. Іонізаційний,

сцинтиляційний та напівпровідниковий методи реєстрації вивчаються окремо на лабораторних заняттях. При цьому потрібно знати принцип дії і роботу детекторів іонізуючого випромінювання, в основі яких лежать ці методи.

В шостому і сьомому розділах потрібно ознайомитися з питаннями прогнозування стану радіоекологічних об'єктів, звернути увагу на те, що визначає радіаційну небезпеку атомних електростанцій, наскільки екологічно чистими є ці об'єкти. Студентам потрібно знати причини і сценарій аварії на ЧАЕС і наслідки цієї аварії. При вивченні сьомого розділу потрібно звернути увагу на питання радіаційного моніторингу в районі атомних електростанцій.

Восьмий розділ присвячений питанням міграції радіонуклідів в біосфері. Тут потрібно звернути увагу на механізми міграції радіонуклідів окремо в атмосфері, в водному середовищі, в ґрунті, звернути увагу на біологічні шляхи міграції. При цьому потрібно знати основні фізико-математичні моделі, які використовуються для опису цих механізмів (модель Гауса, модель хижак - жертва та ін.). Студентам, які навчаються за спеціалізацією гідроекологія, потрібно звернути особливу увагу на вивчення восьмого розділу. Кількість годин, відведених на вивчення восьмого розділу, дозволяє студентам - гідроекологам підготувати реферат за темою цього розділу.

В дев'ятому розділі програми вивчаються питання біологічної дії радіації на живі організми. Тут перш за все рекомендується звернути увагу на механізми взаємодії іонізуючого випромінювання з молекулою живого організму з живою клітиною і з окремими органами. Потрібно знати поняття про критичні органи, мутації, променеву хворобу.

Десятий розділ присвячений правовим питанням радіоекології. Студенти повинні знати про існуючі нормативні документи і закони, які регламентують роботу і поведження з радіоактивними речовинами. Потрібно знати, що згідно нормам радіаційної безпеки (НРБ) існує гранично допустима доза (ГДД). За міжнародними нормами прийнято, що тижнева гранично допустима експозиційна доза дорівнює 100 мР на тиждень, або еквівалентна доза 5 бер за один квартал.

В одинадцятому розділі потрібно звернути увагу на радіохімічні методи і їх використання в радіаційному моніторингу, проблеми схову і утилізації джерел іонізуючого випромінювання.

Зразки розв'язування задач.

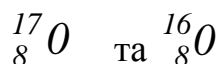
Задача 1. 1 Визначити дефект маси та енергію зв'язку ядра ${}^7_3\text{Li}$.

$$\Delta m = (Z \cdot 1.00783 + (A - Z) \cdot 1.00867 - m_a) \text{ а.о.м.}; E_{зв} = \Delta m \cdot 931 \text{ МеВ.}$$

Для даного ядра $Z = 3$; $A = 7$ тому $\Delta m = (3 \cdot 1.00783 + 4 \cdot 1.00867 - 7.01601) \text{ а.о.м.} = 0.04216 \text{ а.о.м.} = 0.04216 \cdot 1.6667 \cdot 10^{-27} \text{ кг} = 7.03 \cdot 10^{-29} \text{ кг}$

$$E_{зв} = \Delta m \cdot 931 \text{ МеВ} = 0.04216 \cdot 931 \text{ МеВ} = 39.2 \text{ МеВ.}$$

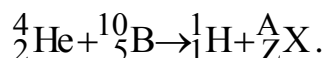
Задача 1.2 Визначити та порівняти питомі енергії зв'язку ізотопів



Питома енергія зв'язку $\varepsilon = E_{\text{зв}}/A$. $\varepsilon ({}^17_8\text{O}) = E_{\text{зв}}/A = 132 \text{ MeV}/17 = 7.76 \text{ MeV}$, $\varepsilon ({}^16_8\text{O}) = 132 \text{ MeV}/16 = 8.25 \text{ MeV}$

Задача 1.3 α -частинка зіткнулась з ядром бора ${}^{10}_5\text{B}$, внаслідок такої ядерної реакції утворились два нових ядра. Одним з них є ядро водню. Визначити друге ядро та енергетичний ефект реакції.

Невідоме ядро позначимо символом ${}^A_Z\text{X}$. Тоді ядерну реакцію можна представити у вигляді



За законом збереження електричного та баріонного зарядів можна визначити невідоме ядро: $Z = 6$, $A = 13$. Енергетичний вихід Q реакції $Q = 931(m_{\text{He}} + m_{\text{B}} - m_{\text{H}} - m_{\text{C}}) = 931(4.00260 + 10.01294 - 1.00783 - 13.00335)\text{MeV} = 4.06 \text{ MeV}$.

Задача 1.4 Визначити початкову активність A_0 радіоактивного препарату магнію ${}^{27}_{12}\text{Mg}$ масою $m = 0.2 \text{ мкг}$, а також його активність A через 6 годин.

$$m = 0.2 \text{ мкг} = 2 \cdot 10^{-8} \text{ кг}$$

$$T_{1/2} = 10 \text{ хв} = 600 \text{ с}$$

$$T = 6 \text{ год} = 2.16 \cdot 10^4 \text{ с}$$

$$A_0 = ? \quad A = ?$$

Активність A ізотопу характеризує швидкість розпаду:

$$A = \lambda N_0 e^{-\lambda t}.$$

Для початкової активності $t = 0$, тобто $A_0 = \lambda N_0$, $\lambda = (\ln 2)/T_{1/2}$.

Число радіоактивних ядер: $N = mN_A/\mu$, N_A - число Авогадро, μ - молярна маса. В таблицях знайдемо період напіврозпаду та молярну масу, таким чином отримаємо: початкова активність препарату

$$A_0 = \frac{m \cdot \ln 2 \cdot N_A}{\mu T_{1/2}};$$

його активність через час t : $A = \frac{m \cdot \ln 2 \cdot N_A}{\mu T_{1/2}} \exp\left(-\frac{\ln 2}{T_{1/2}} t\right)$;

$$\mu = 27 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}; \quad N_A = 6.02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}.$$

$$A_0 = \frac{2 \cdot 10^{-10} \cdot 0.693 \cdot 6.02 \cdot 10^{23}}{27 \cdot 10^{-3} \cdot 600} = 5.13 \cdot 10^{12} \text{ Бк}.$$

$$A_0 = \frac{2 \cdot 10^{-10} \cdot 0.693 \cdot 6.02 \cdot 10^{23}}{27 \cdot 10^{-3} \cdot 600} \exp(-0.693 \cdot 2.16 \cdot 10^4 / 600) = 81.3 \text{ Бк.}$$

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

α -частинка $Z = 94$

$P = 10^5 \text{ Па}$

$T = 273^\circ \text{К}$

$R = ?$

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 $R_\alpha = 0.31 E^{3/2} \text{ см}$ ($4 \text{ МеВ} < E < 7 \text{ МеВ}$).

Для визначення енергії альфа-частинки, що випромінюється $^{236}_{94}\text{Pu}$, скористуємось формулою Гейгера-Неттола, що пов'язує енергію частинки з

періодом напіврозпаду $T_{1/2}$:

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

$$T_{1/2} = 2.7 \text{ Г} = 365 \cdot 24 \cdot 3600 \text{ сек} = 0.851 \cdot 10^9 \text{ сек.}, \lg 0.853 \cdot 10^9 = 8.26,$$

$$C = -53.35,$$

$$D = 147.4.$$

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

Задача 2.2 Знайти іонізаційні втрати енергії протона з кінетичною енергією 4.0 МеВ на одиницю шляху в азоті при нормальних умовах.

$Z = 7,$

$z = 1$

$E = 4 \text{ МеВ}$

$\mu = 28 \text{ г/моль}$

$T = 273^\circ \text{К}$

$P = 10^5 \text{ Па.}$

$(dE/dx)_{\text{іон.}} = ?$

Оскільки енергія набагато менше, ніж енергія спокою протона, тому для визначення лінійної втрати енергії можна скористатися формулою для нерелятивістського випадку, тобто

$$-\left(\frac{dE}{dx} \right)_{\text{іон.}}^\alpha = \frac{2\pi e^4 M n_e}{m_0 E} \ln \frac{4 m_0 E}{M I(Z)},$$

де M – маса протона.

Число молекул в одиниці об'єму знайдемо з рівняння стану ідеального газу:

$$P = nkT,$$

звідси

$$n = P/kT = 14 \cdot 10^5 / (1.38 \cdot 10^{-23} \cdot 273) \text{ м}^{-3} = 2.65 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3},$$

а число електронів в 1 см^3 - $n_e = 14 \cdot 2.65 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3} = 3.72 \cdot 10^{20} \text{ см}^{-3}$.

Середній потенціал іонізації атомів речовини визначається

$$I(Z) = 13.5 \cdot Z \text{ eV} = 13.5 \cdot 7 \text{ eV} = 94.5 \text{ eV}$$

Зауважимо, що відношення маси протона до маси електрона: $M/m_0 = 1860$, крім того, що втрати енергії вимірюються в $\text{MeV}/\text{см}$, $e = 4.80 \cdot 10^{-10}$ одиниць СГС. Таким чином:

$$\left(\frac{dE}{dx}\right)_{\text{ion}} = \frac{6.28 \cdot 4.80^4 \cdot 10^{-40} \cdot 1.83 \cdot 10^3 \cdot 3.72 \cdot 10^{20} \cdot 6.25 \cdot 10^6}{4.0} \ln \frac{4 \cdot 4 \cdot 10^6}{1.86 \cdot 13.5 \cdot 7} \cdot \frac{\text{MeV}}{\text{см}}$$

$$= 1.60 \cdot 10^{-6} \frac{\text{MeV}}{\text{см}} = 1.60 \frac{\text{eV}}{\text{см}} = 0.016 \frac{\text{MeV}}{\text{мкм}}.$$

Задача 2.3 Яка доля γ -випромінювання з енергією 6.0 MeV пройде через екран зі свинця завтовшки 1 см , якщо $\mu = 0.50 \text{ см}^{-1}$. Пучок γ -випромінювання вузький.

$$E = 6.0 \text{ MeV}$$

$$d = 1 \text{ см}$$

$$\mu = 0.50 \text{ см}^{-1}$$

$$I/I_0 = ?$$

З формули $I = I_0 \exp(-\mu d)$ отримаємо необхідну долю:

$$I/I_0 = \exp(-\mu d) = \exp(-0.5 \cdot 1) = 0.6.$$

Тобто через екран пройде 60% γ -випромінювання.

Задача 2.4 У скільки разів пробіг у повітрі α -частинок, що випромінюються ${}^{239}_{94}\text{Pu}$, більше пробігу α -частинок від ${}^{238}_{92}\text{U}$.

У таблиці знайдемо періоди напіврозпадів ядер:

$$T_{1/2}(\text{Pu}) = 2 \cdot 10^4 \text{ років} = 2 \cdot 10^4 \cdot 365 \cdot 24 \cdot 3600 \text{ сек.} = 6.31 \cdot 10^{10} \text{ сек.}$$

$$T_{1/2}(\text{U}) = 4.5 \cdot 10^9 \text{ років} = 1.42 \cdot 10^{16} \text{ сек.}$$

За формулою Гейгера-Неттола $E = \left(\frac{D}{\lg T_{1/2} - C} \right)^2$ визначимо енергію

α -частинок, що випромінюються: $E_\alpha(\text{Pu}) = 5.15 \text{ MeV}$; $E_\alpha(\text{U}) = 4.18 \text{ MeV}$.

За формулою для пробігів α -частинок у повітрі:

$$R_\alpha(\text{Pu}) = 0.31 \sqrt{E_\alpha^3} = 0.31 \sqrt{5.15^3} \approx 3.6 \text{ см.} \quad R_\alpha(\text{U}) = 0.31 \sqrt{4.18^3} = 0.31 \cdot 8.55 = 2.6 \text{ см.}$$

Звідси $R(\text{Pu})/R(\text{U}) = 3.6/2.6 = 1.4$ рази.

Задача 2.5 Знайти відношення лінійних іонізаційних втрат енергії α -частинки та протона з однаковими кінетичними енергіями 5MeV в азоті.

$$M_p = 1.67 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$$

$$M_\alpha = 4 M_p$$

$$Z = 7$$

$$E = 5 \text{ MeV} = 5 \cdot 10^6 \text{ eV.}$$

$$L_\alpha / L_p = ?$$

Відношення лінійних втрат можна знайти, враховуючи що енергії однакові у частинок, отримаємо:

$$\frac{L_\alpha}{L_p} = \frac{B_\alpha \ln \frac{2Em}{4M_p I}}{B_p \ln \frac{2Em}{4M_\alpha I}} = \frac{16 \ln \frac{5 \cdot 10^6}{2 \cdot 1840 \cdot 94.5}}{\ln \frac{2 \cdot 5 \cdot 10^6}{1840 \cdot 94.5}} = 10.5$$

Таким чином при такої енергії перевищують іонізаційні втрати α -частинки.

Зверніть увагу, що при розрахунку було враховано, що відношення маси протона до маси електрона $M_p/m_e = 1840$. Потенціал іонізації азота за формулою (3.5): $I(Z) = 13.5 \cdot Z \text{ eV} = 13.5 \cdot 7 \text{ eV} = 94.5 \text{ eV}$.

Під знаком логарифму стоїть відношення енергетичних величин: E та I , вони обидві були визначені в eV.

Задача 2.6

Знайти лінійний і масовий коефіцієнти поглинання залізом рентгенівських променів з енергією $E=1\text{MeV}$. Яка довжина хвилі λ рентгенівських променів відповідає даному значенню енергії.. Товщина шару половинного ослаблення $x_{1/2}=1,56 \cdot 10^{-2}\text{м}$. Густина заліза $\rho=7,9 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$.

Відповідь: $\mu = \frac{\ln 2}{x_{1/2}} = 44.4 \text{ м}^{-1}$, $\mu_m = \mu/\rho = 5,6 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2/\text{кг}$.

З формули Планка $E = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$ витікає, що

$$\lambda = h \cdot c / E = 6,62 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8 / 10^6 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} = 11,8 \cdot 10^{-13} \text{ м.}$$

Задача 2.7

Знайти ослаблення пучка нейтронів залізом завтовшки 0,1м, якщо початкова густина потоку нейтронів $\sigma = 5 \cdot 10^4 \text{ нейт / см} \cdot \text{с}$, а ефективний переріз процесу $\sigma = 2,3 \text{ барн}$. Знайти густину потоку нейтронів ϕ .

Відповідь:

Коефіцієнт поглинання дорівнює

$$\mu = \sigma \cdot N = \sigma \cdot N_A \cdot \rho / A = 0,2 \text{ см}^{-1}, \quad (1 \text{ барн} = 10^{-24} \text{ см}^2)$$

Густина потоку нейтронів

$$\varphi = \varphi_0 \cdot e^{\mu l} = 7,1 \cdot 10^3 \text{ нейт / см}^2 \cdot \text{с}$$

Задача 3.1.

Визначити еквівалентну дозу для дорослих і дітей, якщо в атмосферному повітрі була зареєстрована об'ємна активність 100 Бк/м^3 . Час перебування в зоні дорівнює 1 добу.

Відповідь:

Дозовий коефіцієнт розраховується за формулою (2.3.26) і для повітря він дорівнює

$$B_{\text{in}} = 0,33 \cdot 10^{-7} \text{ Зв/Бк.}$$

Швидкість споживання повітря V - це середня швидкість дихання. Для дорослих її вважають рівною $23 \text{ м}^3/\text{добу}$; для дітей - $13 \text{ м}^3/\text{добу}$, або $8,4 \cdot 10^3$ і $5,5 \cdot 10^3 \text{ м}^3/\text{рік}$ відповідно.

Еквівалентна доза розраховується за формулою (2.3.25). Для дорослих вона дорівнює

$$H_T = 100 \cdot 0,33 \cdot 10^{-7} \cdot 23 = 0,08 \text{ мЗв,}$$

для дітей

$$H_T = 100 \cdot 0,33 \cdot 10^{-7} \cdot 13 \cdot 1 = 0,44 \text{ мЗв.}$$

Задача 3.2.

Радіаційне забруднення питної води відповідає об'ємній активності $A_v = 370 \text{ Бк/л}$. Розрахувати річну еквівалентну дозу H_T на організм дорослої людини, якщо об'єм споживання води складає 2 л на добу і об'ємна активність води зберігається на протязі року.

Відповідь:

Дозовий коефіцієнт розраховується за формулою (2.3.26), і для води він дорівнює

$$B_{\text{ig}} = \Gamma_D / \Gamma_{\text{РП}} = 10^{-3} / 7,1 \cdot 10^4 = 1,4 \cdot 10^{-8} \text{ (Зв/Бк).}$$

Використовуючи значення дозового коефіцієнта та об'єм річного споживання води $V = 2 \cdot 365 = 730 \text{ л/рік} = 0,73 \text{ м}^3/\text{рік}$, за формулою (2.3.25) отримаємо еквівалентну дозу.

2.4 Теми рефератів з радіоекології.

1. Джерела природної і штучної радіації.
2. Взаємодія іонізуючого випромінювання з природними і штучними об'єктами.
3. Біологічна дія радіації.
4. Дози радіаційного опромінювання.
5. Променева хвороба.
6. Радіаційна безпека населення в районі АЕС.
7. Вплив малих доз радіації на живі організми.
8. Радіонукліди, їх виробництво і застосування.
9. Проблеми схову джерел іонізуючого випромінювання.
10. Нормування радіаційної безпеки.

11. Законодавчі акти України з радіаційної безпеки.
12. Санітарні правила при роботі з радіоактивними речовинами.
13. Захист від радіації.
14. Атомна енергетика і радіаційна безпека.
15. Екологічні проблеми експлуатації атомних електростанцій.
16. Ядерний реактор 4-го блоку ЧАЕС і сучасний стан його залишків.
17. Погроза ядерного тероризму.
18. Причини і наслідки аварії на ЧАЕС.
19. Особливості радіаційного моніторингу.
20. Радіохімічні методи контролю оточуючого середовища.
21. Радіаційний моніторинг в районі АЕС.
22. Міграція радіонуклідів в атмосфері.
23. Міграція радіонуклідів в ґрунті.
24. Моделювання процесів міграції радіонуклідів.
25. Біологічні шляхи міграції радіонуклідів.
26. Міграція радіонуклідів в системі "хижак - жертва".
27. Радіоекологія в сільському господарстві.
28. Радіаційне забруднення вод Світового океану.
29. Транспортування радіонуклідів в водному середовищі.
30. Забруднення водозаборів і поїм річок зони випадіння радіоактивних опадів внаслідок аварії на ЧАЕС.
31. Моделювання радіоактивного забруднення водних об'єктів.
32. Радіаційне забруднення Дніпро-Бужського лиману.
33. Радіаційне забруднення Чорного та Азовського морів.
34. Радіаційний моніторинг поверхневих водних об'єктів зони впливу аварії на ЧАЕС.
35. Радіаційний моніторинг підземних вод зони ЧАЕС.
36. Радіаційне забруднення річок Прип'ять і Дніпр.
37. Радіоекологічний стан водних об'єктів зони ЧАЕС в після аварійний період.
38. Водоохоронні заходи на річці Прип'ять і в зоні ЧАЕС.

2.5 Література для написання рефератів

1. Радиация. Дозы, эффекты, риск. Пер.с англ. - М.: Мир. 1990.
2. Вальтер А.К., Залюбовский И.И. Ядерная физика. Харьков. Основа. 1991.
3. Маргулис И.Я. Атомная энергия и радиационная безопасность. - М.: Энергоатомиздат, 1988.
4. Артамонова В.Г., Шаталов Н.Н. Профессиональные болезни.-М.: Медицина, 1988.

5. Краткая медицинская энциклопедия. В 2-х томах. Под ред. В.И.Покровского. -М.: "Медицинская энциклопедия", Крон-Пресс, 1994, т.1.
6. Льюин Б. Гены. -М.: Мир,1987.
7. Свиретев Ю.М. Устойчивость биологических сообществ, - М.: 1978.
8. Смит Дж.М. Модели в экологии. - М.: Мир, 1976.
9. Арнольд В.Н. Теория катастроф -М.: Наука,1983.
- 10.Ганев И.Х. Физика и расчет реактора. -М.: Энергоатомиздат,1992.
- 11.Матвеев Л.В., Рудин А.П. Почти все о ядерном реакторе.- М.: Энергоатомиздат, 1990.
12. Израэль Ю.А. Проблемы всестороннего анализа окружающей среды и принципы комплексного мониторинга.- Л.: 1998.
13. Бадев В.В., Егоров Ю.А., Казаков С.В. Охрана окружающей среды при эксплуатации АЭС. -М.: Энергоатомиздат,1990.
14. Владимиров А.М. Охрана окружающей среды. Л.: Гидрометеиздат,1991.
15. Чижевский А.Е. Экология. -М.: Изд-во АСТ,1996.
- 16 Радиогеоэкология водных объектов зоны влияния аварии на ЧАЭС. Под ред. Войцеховича О.В. Киев, 1998, т.1,2.
- 17 Романенко В.Д. и др. Радионуклиды в биосистеме днепровских водохранилищ. Доповіді Академії наук України. № 1,1994.
18. Джепо С.П. и др. Гидрологический мониторинг и прогнозирование загрязнения подземных вод в зоне отчуждения ЧАЭС. АН Украины, - Киев, 1994.
19. Стандритчук О.З. и др. Объемы выбросов радионуклидов в водоемы при аварии на ЧАЭС. Химия и технология воды. т.18, №2, Киев, 1996.
20. Нормы радиационной безопасности и основы санитарных правил. - М.: Энергоатомиздат,1988.
21. Норми радіаційної безпеки України. (НРБУ-97). Киев, 1997.
22. Радиоактивные индикаторы в химии.Основы метода. Под ред.Лукиянова В.Б., 3-е издание. - М.: Высшая школа, 1985.

3. Організація контролю знань та вмінь студентів.

Організація контролю знань та вмінь студентів забезпечується комплексом контрольних заходів поточного і підсумкового контролю.

Основною з форм контролю знань та вмінь студентів, що запроваджується при вивченні радіоекології на третьому курсі для спеціальності "Екологія та охорона навколишнього середовища". є модульна система контролю.

3.1 Модульна система контролю знань та вмінь студентів.

Впровадження модульної системи в навчальному процесі здійснюється згідно затвердженої програми. Програма модульного контролю знань та вмінь студентів з радіоекології розроблена згідно з «Положенням про організацію модульного контролю в ОДЕКУ» від 26.10.2001р.

Методика регламентує організацію контролю рівня знань, вмінь та навичок, набутих студентами при вивченні розділів радіоекології, які вивчаються в ОДЕКУ згідно з навчальним планом та робочою програмою з радіоекології на третьому курсі.

Метою впровадження модульної системи контролю є підвищення якості навчання студентів шляхом активізації навчальної діяльності, стимулювання ритмічної самостійної роботи студента (СРС) протягом всього семестру. Впровадження цієї методики здійснюється шляхом визначення кількісних критеріїв якості засвоєння змісту окремих блоків (модулів) з радіоекології, що вивчаються на третьому курсі, а також шляхом ритмічного виконання графіку навчального процесу.

Модуль навчальної дисципліни – це завершений структурно – логічний розділ програми, що формує певні знання, вміння та навички.

У теоретичній частині курсу модуль складається з кількох тем, що пов'язані між собою змістом та формують у студента знання, визначені програмою з радіоекології.

У практичній частині курсу (семінарські та лабораторні заняття) модуль формується як окрема тема, що складається з кількох навчальних завдань або занять.

Згідно з цим матеріал з радіоекології, що вивчається на протязі семестру, розбивається на 3 модулі (два теоретичних модулі і один практичний модуль). Зміст кожного модуля, форма контролю і максимальна сума балів, яку можна отримати за даним модулем, приведені в таблиці 1.

Максимальна сума балів, яку може отримати студент, склавши всі модулі на протязі семестру, береться рівною 100 балів. Пропонується таке співвідношення ваги теоретичної та практичної частин курсу в підсумковій оцінці: 75 балів відведено на теоретичну частину (2 модулі, на кожному з яких можна отримати 25 балів) і 25 балів – на тестування. Останні 25 балів студент може отримати за підсумками роботи в лабораторії, тобто за виконання лабораторних робіт. Якщо протягом семестру студенту потрібно виконати 5 лабораторних робіт, то суму 25 балів він може набрати, виконуючи кожену роботу на 5 балів. Форми контролю рівня засвоєння змісту модуля залежать від методики проведення занять.

Модулі з радіоекології на третьому курсі.

№	Характер модуля	Назва модуля	Вид контролю	Максимальна кількість балів за модуль	Викладач, що веде контроль
1	Теоретичний	Радіоактивність Взаємодія іонізуючих випромінювань з речовиною	Контрольна робота Усне опитування	25	Викладач, що читає лекції
2	Теоретичний	Розрахунки доз випромінювання. Прогнозування стану р/е об'єктів. Радіаційн. моніторинг.	Контрольна робота. Контроль дом. Завдання.	25	Викладач, що читає лекції
1-2		Міграція радіонуклідів. Біологічна дія радіації. Норми радіаційної безпеки.	Тестування. Реферат.	25	Викладач, що читає лекції
3	Практичний	Радіометричні і дозиметричні вимірювання.	Захист лаб. робіт. Тестування	25	Викладач в лаборатор.

Фактична сума балів, яку отримує студент за даний 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".

Суми балів, які отримав студент за всіма модулями навчальної дисципліни, формують підсумкову (інтегральну) оцінку студента з радіоекології. Вона є підставою для виставлення семестрового іспиту з оцінкою згідно з таблицею 2 за інтегральною сумою балів.

Таблиця 2

Шкала переходу до традиційної 4- бальної системи оцінювання.

Сума балів	Традиційна оцінка
<60% від максимальної	Незадовільно
60 – 74,9 % від максимальної	Задовільно
75 – 89,9% від максимальної	Добре
≥ 90% від максимальної	Відмінно

Застосування таблиці 2 для виставлення підсумкової оцінки виконується, якщо фактична сума балів, що набрана студентом за практичну частину не менша ніж 50% від максимально можливої. В іншому випадку студент вважається таким, що не виконав навчального плану, та не допускається до семестрового контролю.

При проведенні міжсесійного контролю студент вважається атестованим, якщо він набрав не менше 50% від максимально можливої суми балів за модулями, які завершені на момент атестації.

3.2 Перелік контрольних заходів і терміни їх проведення.

Форми контролю рівня засвоєння змісту модуля залежать від методики проведення занять. Згідно *"Положення про організацію контролю самостійної роботи студентів"* від 28.01.2001р. в ОДЕКУ при вивченні радіоекології використовуються такі форми контролю:

- письмові контрольні роботи;
- тестування;
- усне опитування у ході заняття;
- виконання завдання біля дошки;
- контроль виконання домашнього завдання;
- захист лабораторної роботи;
- перевірка самостійної роботи студента (розв'язання задач);
- захист реферату.

3.3 Вимоги, що пред'являються до студента на контрольних заходах поточного контролю.

Контроль самостійної роботи студента є складовою поточного контролю знань студентів. Вимоги, які пред'являються до студентів на контролюючих заходах, відповідають переліку базових нормативних знань, умінь і навичок, що сформований на основі освітньо-професійної програми (ОПП) і освітньо-кваліфікаційної характеристики (ОКХ) спеціаліста. Для підготовки до модульного контролю студентам потрібно засвоїти питання, які входять до відповідного модуля.

Завдання студентам при підготовці до контрольного заходу.

3.3.1 Питання до першого модуля

Фізичні основи радіоекології. Характеристики атомних ядер. Маса ядра. Дефект мас. Енергія зв'язку. Питома енергія зв'язку. Моделі атомних ядер. Радіонукліди. Радіоактивність. Питома радіоактивність. Види радіоактивності: α - розпад; β - розпад; електронний захват; γ - випромінювання. Закон радіоактивного розпаду, постійна розпаду, середній час життя. Період напіврозпаду. Правила зміщення. Радіоактивні ряди. Схеми розпаду. Накопичення та утворення ряду послідовних продуктів розпаду радіонуклідів. Узагальнена форма закону радіоактивного розпаду. Секулярна рівновага. Активність радіонуклідів. Одиниці виміру радіоактивності. Експериментальне визначення періодів напіврозпаду радіонуклідів.

Іонізуюче випромінювання та взаємодія його з речовиною.

Види іонізуючого випромінювання: α , β та γ - випромінювання, їх властивості.

Взаємодія α - та β - випромінювання з речовиною. Механізми взаємодії. Втрата енергії, іонізація, остатній пробіг, гальмувальна здібність. Пружне розсіяння. Ефективний переріз розсіяння. Проходження нейтронів крізь речовину. Механізми взаємодії. Взаємодія γ - випромінювання з речовиною. Механізми взаємодії. Коефіцієнт поглинання. Наведена радіоактивність. Відносна небезпека різноманітних видів випромінювання.

3.3.2 Питання до другого модуля.

Дози випромінювання; поглинена, експозиційна та еквівалентна. Потужність доз. Одиниці доз випромінювання. Колективна доза випромінювання.

Взаємодія іонізуючого випромінювання з біологічними об'єктами.

Елементи дозиметрії та радіометрії. Загальна характеристика методів реєстрації іонізуючого випромінювання. Газорозрядні детектори іонізуючого опромінювання (іонізаційна камера, пропорційний лічильник, лічильник Гейгера-Мюлера). Принцип дії, основні характеристики. Сцинтиляційний детектор. Принцип дії, основні характеристики. Напівпровідникові детектори. Принцип дії, основні характеристики.

Дозиметри та радіометри. Принцип дії, основні характеристики.

Аналізатори іонізуючого випромінювання. Спектрометри на базі сучасних ЕОМ.

Ядерний цикл. Ядерні реактори, їх типи та принцип дії. Схема атомної електростанції.

Аварії на ядерних об'єктах

.Аварія на ЧАЕС. Причини, сценарії та наслідки аварії.

Глобальне і регіональне забруднення навколишнього середовища внаслідок аварії на АЕС.

Моніторинг радіоактивного забруднення навколишнього середовища.

Методи статистичної обробки результатів вимірювання. Оцінки помилки результатів радіоекологічного моніторингу.

Особливості радіоекологічного моніторингу. Методи радіоекологічного моніторингу.

3.3.3 Питання до тестування.

Шляхи міграції радіонуклідів в біосфері.

Джерела радіоактивного забруднення та іонізуючого випромінювання. Їх екологічна небезпека.

Міграція радіонуклідів в атмосфері. Властивості та загальні механізми.

Розповсюдження радіонуклідів у водному середовищі

Особливості радіоактивного забруднення ґрунту і рослинного покриву.

Механізми міграції та перерозподілу радіонуклідів у водних екосистемах.

Радіаційне забруднення донних відкладень.

Радіаційне забруднення водних об'єктів зони впливу аварії на ЧАЕС.

Забруднення водозборів та поїм річок зони випадання радіоактивних опадів внаслідок аварії на ЧАЕС.

Радіаційний моніторинг та сучасний стан поверхневих водних об'єктів зони впливу аварії на ЧАЕС.

Радіаційний моніторинг підземних вод зони відчуження ЧАЕС та суміжних територій.

Радіоактивне забруднення Дніпровської водної системи, Чорного та Азовського морів.

Біологічна дія радіації.

Фізико-хімічні та молекулярно-біологічні механізми взаємодії іонізуючого випромінювання з живою матерією. Пряма і непряма дія іонізуючого випромінювання.

Взаємодія іонізуючого випромінювання з молекулою, клітиною та органами живого організму.

Радіотоксини. Радіочутливість. Критичні органи. Мутації. Променева хвороба. Шляхи надходження радіоактивних речовин в організм людини та тварини. Інгаляційний шлях. Аерозолі.

Радіотоксикологія головних дозоутворювальних радіонуклідів: йоду, стронцію, цезію, тритію, кобальту, цинку, марганцю.

Норми радіаційної безпеки. Соціальні і правові аспекти радіоекології. Закони України про радіаційну безпеку. Гранично допустимі дози.

Середні ефективні дози випромінювання в розвинутих країнах світу.

Схов переробка та утилізація відходів іонізуючого випромінювання.
Проблеми переробки та утилізації р/а речовин. Пункти схову р/а речовин.
Діяльність українського державного об'єднання "Радон".

3.3.4 Питання до практичного модуля.

Робота лічильника Гейгера-Мюлера.

Фізичний принцип дії лічильника.

Визначення вольт-амперної характеристики лічильника.

Характерні зони вольт-амперної характеристики.

Визначення головних характеристик роботи детекторів іонізуючого випромінювання – визначення енергетичного розділення, визначення мертвого часу, визначення чутливості.

Іонізаційні дозиметри. Дозиметри з лічильниками Гейгера-Мюлера. Дозиметр "Стора". Дозиметричні виміри (сцинтиляційні дозиметри типа СРП-68): принцип дії, побудова, структурна схема, органи керування, визначення головних характеристик. Сцинтиляційні детектори. Фотоелектронний помножувач.

Радіометр РУБ-01П: побудова, принцип дії, калібровка, визначення сумарної β - активності препаратів.

Багатоканальний аналізатор імпульсів АІ-1024:

принцип дії, побудова, структурна схема, органи керування. Сцинтиляційний γ - спектрометр: настроювання, визначення головних характеристик.

Калібрування енергетичної шкали γ - спектрометра. Вимір проб на γ - спектрометрі та розрахунок їх активності.

3.4 Питання для самоперевірки засвоєння матеріалу модулів

Перелік питань для самоперевірки включає два розділи: 1) "базовий компонент" і 2) "додаткові питання". Базовий компонент включає питання, що перевіряють базові нормативні знання, вміння та навички.

3.4.1 Питання "базового компоненту"

Модуль 1.

1. З чого складається атом та атомне ядро?
2. Які частинки називають нуклонами?
3. Який заряд і яку масу мають нуклони?
4. Чому дорівнює спін нуклона?
5. Чому дорівнюють маса і спін атомного ядра?
6. Які існують ядерні моделі?
7. Які ядра в природі є найбільш стабільними?
8. Що називається радіоактивністю?

9. Що називають радіонуклідами?
10. Що називають ізотопами, ізобарами і ізомерами?
11. Яка фізична величини називається активністю?
12. Що називається питомою активністю?
13. Яка величина називається постійною розпаду?
14. Що називається періодом напіврозпаду і чому він дорівнює?
15. Як, знаючи питому активність радіонукліда, можна знайти його період напіврозпаду?
16. Назвіть види радіоактивного розпаду?
17. Яка частинка обов'язково утворюється при α -розпаді?
18. Що називається електронним, позитронним β -розпадами ?
19. Який β -розпад називається К-захватом ?
20. Запишіть схеми α -розпаду і β -розпаду ?
21. Запишіть закон радіоактивного розпаду.
22. Які і скільки радіоактивних рядів існує у природі ?
23. У чому полягає суть радіоактивної рівноваги ?
24. В яких одиницях вимірюється активність ?
25. Який зв'язок між 1 Кюрі і 1 Бекерелем ?
26. Які основні механізми взаємодії важких заряджених частинок з речовиною ?
27. Які основні механізми взаємодії легких заряджених частинок з речовиною ?
28. В чому суть моделі Бора, що описує взаємодію заряджених частинок з речовиною ?
29. Що називається гальмовою здібністю і радіаційними втратами енергії ?
30. Які основні механізми взаємодії нейтронів з речовиною ?
31. Що називається ефективним перерізом розсіяння ?
32. Яким законом описується поглинання нейтронів речовиною ?
33. Що називається резонансним поглинанням нейтронів?
34. Назвіть основні механізми поглинання γ -випромінювання речовиною.
35. Що називається наведеною активністю?
36. В чому полягає радіоліз води ?
37. Що відбувається з кристалевою структурою при радіаційному опромінюванні ?
38. Чи може змінитися хімічний склад речовини при її радіаційному опромінюванні ?

Модуль 2

1. Що називається поглинутою дозою випромінювання та в яких одиницях системи SI вона вимірюється ?
2. Визначити експозиційну дозу та одиниці її вимірювання.

3. Визначити еквівалентну дозу та одиниці її вимірювання.
4. Що називається потужністю дози випромінювання ?
5. Яка одиниця потужності експозиційної дози в системі SI ?
6. Який зв'язок між одиницями 1 бер і 1 Зіверт ?
7. Одиницями якої дози є 1 Грей і 1 рад і який зв'язок між ними ?
8. Одиницями яких доз є 1 рад і 1 Рентген і який зв'язок між ними ?
9. Що характеризує колективна доза випромінювання та в яких одиницях вона вимірюється ?
10. На яких рівнях відбувається вплив іонізуючого випромінювання на біологічні об'єкти ?
11. В чому суть прямого та посереднього механізмів впливу іонізуючого випромінювання на живу клітину ?
12. Що називається летальною дозою випромінювання ?
13. Які органи людського організму утворюють групу критичних органів ?
14. Які методи реєстрації іонізуючого випромінювання Ви знаєте ?
15. Чим відрізняються між собою іонізаційна камера, пропорційний лічильник і лічильник Гейгера-Мюлера ?
16. Що називається детекторами іонізуючого випромінювання ?
17. В чому принцип дії сцинтиляційних детекторів ?
18. В чому полягає принцип дії напівпровідникових детекторів ?
19. Який принцип роботи одноканального аналізатора імпульсів ?
20. Який принцип роботи багатоканального аналізатора імпульсів ?
21. Який принцип роботи ядерного реактора ?
22. Яка схема роботи атомної електростанції ?
23. В чому небезпека атомних електростанцій ?
24. Які причини аварії на ЧАЕС ?
25. Які наслідки аварії на ЧАЕС ?
26. Що називається моніторингом і які особливості радіоекологічного моніторингу ?

Тестування.

1. Назвіть шляхи міграції радіонуклідів в біосфері ?
2. Що являють собою локальні атмосферні викиди ?
3. Який час можуть перебувати радіаційні викиди в тропосфері і в стратосфері ?
4. На яких широтах відбувається максимум стратосферних випадів радіаційних викидів ?
5. Які механізми випадіння на землю радіаційних викидів ?
6. Як відбувається водна міграція радіонуклідів ?

7. Особливості радіоактивного забруднення ґрунту і рослинного покриву.
8. Які механізми міграції та перерозподілу радіонуклідів у водних екосистемах ?
9. Як відбувається радіаційне забруднення донних відкладень ?
10. Які водні об'єкти зони впливу аварії на ЧАЕС є радіаційно забрудненими об'єктами ?
11. Які фізико-хімічні та молекулярно-біологічні механізми взаємодії іонізуючого випромінювання з живою матерією?
12. Пряма і непряма дія іонізуючого випромінювання.
13. Що таке радіотоксини і радіочутливість ?
14. Коли і як відбувається променева хвороба ?
15. Які шляхи надходження радіоактивних речовин в організм людини та тварини ?
16. Якими документами регламентується радіаційна безпека на Україні ?
17. Що називається гранично допустимими дозами ?
18. Які середні ефективні дози випромінювання в розвинутих країнах світу ?
19. Які проблеми переробки та утилізації р/а речовин?
20. Яким вимогам повинні задовольняти пункти схову р/а речовин?

Практичний модуль.

1. Який фізичний принцип дії лічильника Гейгера-Мюлера ?
2. Які характерні зони має вольт-амперна характеристика лічильника Гейгера-Мюлера ?
3. Що називається мертвим часом лічильника ?
4. Які лічильника має дозиметр "Стора" ?
5. Який принцип дії і побудова сцинтиляційних детекторів ?
6. Які ефекти лежать в основі роботи фотоелектронного помножувача ?
7. В чому полягає дінатронний ефект ?
8. Для яких вимірювань призначений Радіометр РУБ-01П ?
9. Яка структурна схема аналізатора імпульсів АІ-1024 ?
10. Як калібрується енергетична шкала γ - спектрометра ?
11. Які характеристики радіоактивних проб вимірюються на γ -спектрометрі ?

3.4.2 Додаткові питання.

Модуль 1.

1. Що пояснює краплинна модель побудови ядра ?
2. Що дозволяє пояснити оболонкова модель ядра ?
3. Назвіть двічі магнітні ядра ?
4. Як визначають електричний дипольний і магнітний квадрупольний моменти ядра ?

5. Як фізично можна пояснити α -розпад ?
6. Яку узагальнену форму має закон радіоактивного розпаду ?
7. Якими хімічними елементами закінчуються радіоактивні ряди ?
8. Як залежить коефіцієнт поглинання нейтронів від ефективного перерізу розсіяння?
9. Який механізм резонансного поглинання нейтронів?
10. Яким енергіям γ -квантів відповідають основні механізми поглинання γ -випромінювання речовиною ?
11. Як залежить коефіцієнт поглинання γ -випромінювання речовиною від ефективного перерізу розсіяння?
12. В чому полягає радіоліз речовини ?

Модуль 2.

1. Що являє собою функція відгуку приладу ?
2. Що називається чутливістю дозиметричного приладу ?
3. Чи розділяє іонізаційна камера частинки іонізуючого випромінювання за енергією ?
4. Чим пояснюється особливості вольт-амперної характеристики газорозрядного лічильника ?
5. Який спектр випромінювання має Cs^{137} ?
6. Яка структурна схема спектрометра на базі ЕОМ ?
7. Що включає в собі ядерний цикл ?
8. Що є теплоносієм в ядерних реакторах ВВР і РБМК ?
9. Який з типів реакторів має графітовий сповільнювач нейтронів ?
10. В чому суть механізму ланцюгової ядерної реакції ?
11. Назвіть джерела радіаційного забруднення та іонізуючого випромінювання.
12. Яку екологічну небезпеку мають джерела іонізуючого випромінювання.
13. Назвіть механізми випадіння радіонуклідів з атмосфери.
14. Як наслідки аварії на ЧАЕС пов'язані з забрудненням водозборів та поїм річок зони ЧАЕС ?
15. Як перерозподіляються радіонукліди на геологічних ландшафтах ?
16. Як впливає проведення сільськогосподарчих робіт на перерозподіл радіонуклідів в ґрунті ?
17. Як здійснюється радіаційний моніторинг та який сучасний стан поверхневих водних об'єктів зони впливу аварії на ЧАЕС ?
18. Як наслідки аварії на ЧАЕС пов'язані з радіаційним забрудненням Дніпровської водної системи, Чорного та Азовського морів ?
19. Як здійснюється моделювання та прогнозування поведінки радіоактивних

речовин у водних екосистемах ?

20. Які приймаються заходи з мінімізації наслідків Чорнобильського забруднення водних екологічних об'єктів ?
21. Які вимоги існують до схову джерел іонізуючого випромінювання ?
22. Які групи населення при можливому радіаційному забрудненні виділяють згідно з нормами радіаційної безпеки України НРБУ-97 ?
23. Що означає при радіаційному опромінюванні живих організмів летальна доза 50 на 30 (LD 50/30) ?
24. Якою дозою є доза випромінювання 100 мР/тиждень ?
25. Якою дозою є доза 5 Рентген / квартал ?
26. Якою дозою є доза 5 Рентген/ рік ?

Практичний модуль.

1. Що є анодом і катодом лічильника Гейгера-Мюлера ?
2. В чому суть механізму ударної іонізації, яка відбувається в газорозрядному лічильнику ?
3. При яких напругах працює лічильник Гейгера-Мюлера ?
4. Які хімічні речовини використовують для неорганічних і органічних сцинтиляційних детекторів ?
5. Що називають динодами в фотоелектронних помноживучах ?
6. Що являє собою дискримінатор імпульсів ?
7. Скільки дискримінаторів має одноканальний аналізатор ?
8. Скільки каналів має аналізатор імпульсів АІ-1024 ?
9. Який фізичний принцип роботи бета-спектрометра ?
10. Який вид іонізуючого випромінювання реєструє радіометр РУБ01П ?
11. Який вид іонізуючого випромінювання реєструє радіометр-дозиметр СРП-68-01 ?
12. Який ізотоп має енергію γ -кванта, що дорівнює 662 кеВ ?
13. На яку енергію припадає максимум фотопіка повного поглинання Cs-137 ?
14. Як пов'язана активність радіоактивного препарату з інтенсивністю фотопіка повного поглинання в спектрі випромінювання ?
15. Як здійснюється калібрування енергетичної шкали спектрометра ?
16. Що називається ефективністю реєстрації спектрометра ?
17. Як можна експериментально визначити ефективність реєстрації спектрометра ?
18. Для чого призначені АЦП і інтерфейс спектрометра, працюючого на базі ЕОМ ?
19. Який вид має спектр випромінювання Cs-137 ?
20. Яка дільниця спектру випромінювання Cs -137 відповідає комптоновському розсіянню γ -квантів ?

21. Які функції виконують пакети програмної підтримки спектрометричного аналізу ?

3.4.3 Тестові завдання з базового компоненту для самоперевірки при підготовці до підсумкової атестації

1. Яка з доз випромінювання є гранично допустимою дозою (ГДД)?

Вибрати вірну відповідь.

А. 0,5 рентген/рік Б. 5 рентген/рік В. 15рентген/рік Г. 50 рентген/рік Д. 100 рентген/рік

2. В яких одиницях системи SI вимірюється активність радіоактивної речовини?

А. Грей. Б. Вт/кг В. Беккерель Г. Кюри Д. Рад

3. Як змінюється активність радіоактивної речовини за один період напіврозпаду?

А. Не змінюється Б. Зменшується в 2 рази. В. Зменшується 2,7 рази

Г. Збільшується в 2 рази Д. Збільшується в 2,7 рази

4. У скільки разів біологічна еквівалентна доза кратна до поглинутої дози рентгенівського випромінювання?

А. В 0,1 разів Б. В 1 разів В. В 2 рази Г. В 5 разів Д. В 10 разів

5. Які процеси ні є основними механізмами впливу іонізуючого випромінювання на речовину?

А. Іонізація і збудження атомів Б. Ядерний фотоефект В. Розрив міжатомних зв'язків Г. Наведена активність Д. Порушення кристалевих ґрат

6. Внаслідок яких явищ відбувається ослаблення гамма-випромінювання в речовині?

А. Комптон-ефект Б. Гамма-люмінісценція В. Фотоефект Г. Створення електрон-позитронних пар. Д. Ефект Хола

7. Одиницею якої дози випромінювання є 1 людино-Зіверт?

А. Поглинута доза. Б. Експозиційна доза В. Еквівалентна доза

Г. Колективна доза. Д. Ефективна біологічна доза.

8. Які шляхи міграції радіонуклідів в біосфері?

А. Вітровий переніс Б. Водна міграція В. Сільськогосподарчі роботи на забрудненій території Г. Птахами та тваринами Д. Дії терористів

9. На якому рівні відбувається вплив іонізуючого випромінювання на біологічні об'єкти?

А. На рівні молекул Б. На рівні клітин В. На рівні окремих органів
Г. На рівні свідомості Д. Тільки на критичні органи.

10. В яких одиницях вимірюється потужність експозиційної дози?

А. Рентген Б. Ампер/ кг В. Кулон/кг Г. Рад/с Д. Гр/с

11. Яке рівняння описує закон радіоактивного розпаду, якщо N - кількість активних ядер, λ - постійна розпаду, t - час?

А. $N=N_0 \exp(-\lambda t)$ Б. $N=N_0 \exp(-\lambda/t)$ В. $N=N_0 e^{-\lambda t}$
Г. $N=N_0 + \exp(-\lambda t)$ Д. $N=N_0 + \exp(-\lambda/t)$

12. За два періоди напіврозпаду активність радіоактивної речовини

А. Повністю зникне Б. Зменшиться в два рази В. Зменшиться в чотири рази Г. Збільшиться в чотири рази Д. Не зміниться

13. Загальна кількість розпадів, що відбувається в радіоактивній речовині за одиницю часу, називається

1. А. Питомою іонізацією Б. Постійною розпаду В. Питомою радіоактивністю Г. Активністю Д. Періодом напіврозпаду

14. При радіаційному опромінюванні живих організмів летальна доза 50 на 30 (LD 50/30) означає, що

А. З 50 організмів гине 30 Б. З 30 організмів гине 50 В. За 30 днів з 50 організмів гине 30 Г. За 30 днів гине 50% організмів Д. За 50 днів гине 30% організмів

15. Визначенням якого поняття є відношення втраченої енергії зарядженої частинки іонізуючого випромінювання до довжини шляху її пробігу?

А. Проникливою здібністю. Б. Питомою іонізацією В. Лінійною гальмувальною здібністю Г. Активністю Д. Постійною розпаду.

16. Як називається дія іонізуючого випромінювання на потомство опроміненої людини ?

А. Радіаційним Б. Генетичним В. Постійним Г. Соматичним

Д. Електромагнітним

17. При електронному бета-розпаді випромінюється: А. електрон, Б. нейтрино
В. антинейтрино Г. нейтрон

18. Які середні значення річної еквівалентної дози, що отримує людина у розвинутих країнах світу ?
А. 10 мкЗв. Б. 0,1 мЗв. В. 1 мЗв. Г. 10 мЗв. Д. 100 мЗв.

19. Для якого з приведених видів іонізуючого випромінювання товщина захисних екранів має найменше значення ?
А. α -випромінювання Б. В-випромінювання В. γ -випромінювання
Г. Потік протонів Д. Осколки атомних ядер.

20. На якому з ефектів заснований сцинтиляційний метод реєстрації іонізуючого випромінювання ?
А. Іонізація атомів і молекул речовини детектора Б. Вторинні ефекти збудження атомів і молекул
В. Рекомбінація іонів Г. Фотоефект
Д. Ефект Комптона.

21. Що називається радіоактивністю ?
А. Випромінювання ядрами нуклонів Б. Спонтанне перетворення одних ядер в інші
В. Спонтанне перетворення одних атомних ядер в інші з посиланням іонізуючого випромінювання
Г. Посилання ядрами іонізуючого випромінювання
Д. Розділення ядер

3.4.4 Перелік завдань для підготовки до контрольної роботи

Завдання 1.

Знайти питому активність радіоактивного ізотопу за даними значеннями періоду його напіврозпаду $T_{1/2}$ (таблиця 1).

Таблиця 1

Варіант №	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ізотоп	Sr^{90}	I^{131}	Cs^{137}	C^{14}	Po^{210}	Rn^{222}	Ra^{226}	U^{235}	U^{238}	Pu^{242}
$T_{1/2}$	28 ро ків	8 діб	30 років	5730 років	138 діб	3,82 діб	1590 років	$7,1 \cdot 10^8$ років	$4,5 \cdot 10^9$ рок	$3,8 \cdot 10^5$ років

Завдання 2.

Знайти скільки α - і β - розпадів відбувається при перетвореннях радіонукліда 1 в радіонуклід 2, що приведені в таблиці 2. Визначити до яких радіоактивних рядів належать ці радіонукліди.

Таблиця 2.

Варіант №	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Р/нуклід 1	U ²³⁸	Th ²²⁹	U ²³⁵	Rn ²¹⁹	Ra ²²⁸	Po ²¹⁶	Th ²²⁹	U ²³³	U ²³⁸	Np ²³⁷
Р/нуклід 2	Po ²¹⁰	Po ²¹³	Pb ²¹²	Bi ²⁰⁷	Pb ²⁰⁸	Pb ²⁰⁸	Rn ²²⁰	Bi ²¹³	Rn ²²²	Bi ²⁰⁹

Завдання 3.

Знайти лінійний μ та масовий μ_m - коефіцієнти поглинання речовиною рентгенівського випромінювання з енергією E. Знайти для якої довжини хвилі рентгенівських променів отримані значення енергії E, що наведені в таблиці 3. У таблиці 3 наведені також густина речовини ρ , кг/м³ і товщина шару $\chi_{1/2}$ половинного ослаблення променів.

Таблиця 3

Варіант №	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Речовина	Fe	Al	Pb	H ₂ O	Al	Pb	Повітря	Sn	Cu	C(графіт)
Густина $\rho, 10^3 \text{кг/м}^3$	7,9	2,6	11,3	1	2,6	11,3	1,29 · 10 ⁻³	7,3	8,9	2,3
$\chi_{1/2}, 10^{-2} \text{м}$	1,56	4,4	0,87	10,2	6,93	1,46	8700	1,8	1,4	4,9
E, MeV	1	1	1	1	2,5	2,5	1	1	1	1

Завдання 4.

Визначити товщину шару половинного ослаблення $\chi_{1/2}$ і товщину шару десятикратного ослаблення γ - випромінювання з енергією E (таблиця 4) при заданих значеннях лінійного коефіцієнта поглинання μ .

Таблиця 4.

Варіант №	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Речовина	Al	C (графіт)	Cu	Fe	Pb	Al	Pb	H ₂ O	Fe	Бетон $\rho=2,3 \text{т/м}^3$
$\mu, \text{м}^{-1}$	16	14,2	49,5	44	80	10	47	4,0	28	8,3
E, MeV	1	1	1	1	1	2,5	2,5	3	3	3

Завдання 5.

Знайти лінійний μ і масовий μ_m коефіцієнти поглинання речовиною пучка теплових нейтронів за даними значеннями товщини шару десятикратного послаблення I_{10} (таблиця 5).

Таблиця 5.

Варіант №	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Речовина	Cd	B	Li	Fe	H ₂ O	Pb	Cu	Sn	Al	C,графіт
$l, 10^{-2}m$	0,02	0,023	0,8	3,4	6,7	3,0	2,26	15,4	24	5,0

Завдання 6.

Розрахувати коефіцієнт поглинання і товщину шару половинного ослаблення пучка теплових і швидких нейтронів за даними значеннями повного перерізу процесу поглинання нейтронів σ (таблиця 6).

Таблиця 6.

Варіант №	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Речовина	C,графіт	Fe	Cd	B	Al	Cu	Si	Pb	Sn	Ag
Густина $\rho, 10^3 \text{кг/м}^3$	2,3	7,9	8,6	2,3	2,7	9,0	2,4	11,3	7,3	10,5
Теплові нейтрони σ , барн	3,83	8,5	4500	600	1,6	11,9	2,5	12,5	4,0	3560
Швидкі нейтрони, σ	1,9	3,2	4,1	2,2	2,1	2,9	2,0	6,7	3,6	430

Завдання 7.

Визначити ефективну еквівалентну дозу і потужність дози γ - випромінювання з енергією квантів ~ 200 кеВ, якщо вимірена в повітрі експозиційна доза досягає величини D_T , а час перебування в зоні випромінювання дорівнює t . Значення D_T і t наведені в таблиці 7.

Таблиця 7

Варіант №	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
D_T , Рентген	50	50	50	100	100	100	150	150	150	200
t , годин	20	15	10	20	15	10	30	20	10	20

Завдання 8.

Визначити еквівалентну дозу та потужність дози для дорослих та дітей, якщо в атмосферному повітрі зареєстрована об'ємна активність A_v . Час перебування в зоні випромінювання - t , годин (таблиця 8).

Таблиця 8.

Варіант №	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A_v , Бк/м ³	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500
t , годин	10	10	5	5	5	5	5	5	10	10

Завдання 9.

В результаті аварійного викиду цезія Cs^{137} молоко стало забрудненим до значень об'ємної активності A_v . Розрахувати річну еквівалентну дозу H_T на організм людини, якщо добовий об'єм споживання молока $V = 0,5$ л на добу і об'ємна активність молока зберігається на протязі року. Границю річного приходу радіонуклідів вважати рівною $7,1 \cdot 10^4$ Бк/год. В парних варіантах вважати, що $A_v = 300$ Бк/л, в непарних варіантах - $A_v = 400$ Бк/л.

Завдання 10.

Річний викид ізотопу I^{131} в атмосферу складає Q , Бк. Розрахувати річну еквівалентну дозу H_T на щитовидну залозу дорослих та дітей при заданому коефіцієнті метеорологічного розбавлення G . Дозовий коефіцієнт для дорослих вважати рівним $B_{ih} = 2,9 \cdot 10^{-7}$ Зв/Бк, для дітей - $B_{ih} = 1,0 \cdot 10^{-6}$ Зв/Бк.

Таблиця 9

Варіант №	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$Q, 10^{11}$ Бк	5	6	8	10	10	15	15	17	20	20
$G, 10^{-8}$ с/м ³	2	5	5	5	8	2	5	8	2	5

Завдання 11.

Розрахувати об'ємну активність води в річці уздовж течії на відстані X км від джерела неперервного радіаційного забруднення. Знайти річну еквівалентну дозу H_T на організм дорослої людини, якщо добовий об'єм

споживання води складає 4 л/добу і активність води не змінюється на протязі року. Початкова об'ємна активність води $A_{v0} = 5 \cdot 10^5$ Бк/м³, швидкість річки u , константа осадження нуклідів b та константа розпаду λ приведені в таблиці 10.

Таблиця 10

Варіант №	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$u, \text{м/с}$	0,5	0,5	0,5	0,3	0,3	0,3	0,8	0,8	0,8	0,5
$b, 10^{-5} \text{ 1/с}$	1,5	0,5	0,1	0,2	0,5	0,1	0,2	0,5	1	0,1
$\lambda, 10^{-5} \text{ 1/с}$	2	1	0,5	0,6	0,5	0,1	0,2	1	1	0,2
$X, \text{км}$	5	2	2	5	5	10	10	2	2	1

Побудувати графік залежності об'ємної активності A_v від відстані X км.

Методичні вказівки до СРС з дисципліни “ Радієкологія” для студентів денної та заочної форм навчання

Укладач: Курятников В.В. Одеса, ОДЕКУ, 2006 р., 44 с. укр. мова.

Відповідальний редактор: зав. кафедрою загальної і теоретичної фізики, доктор фіз.-мат. наук, проф. О.І.Герасимов

Підп.до друку
Умовн.друк.арк.

Формат
Тираж

Папір друк.
Зам.№

Надруковано з готового оригінал-макета
Одеський державний екологічний університет
65016, Одеса, вул. Львівська, 15
