

Міністерство охорони здоров'я України
Українська медична стоматологічна академія

«Затверджено»
на засіданні кафедри
медичної інформатики,
медичної і біологічної фізики
«27» серпня 2020 р.
протокол №1 від «27» серпня 2020 р.
Зав. кафедри _____ доцент Сілкова О.В.



МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
ДЛЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТІВ
ПІД ЧАС ПІДГОТОВКИ ДО ПРАКТИЧНОГО ЗАНЯТТЯ

Навчальна дисципліна	Медична і біологічна фізика
Модуль №2	Основи медичної фізики
Змістовний модуль №3	Основи медичної фізики
Тема заняття	Радіоактивність. Використання іонізуючого випромінювання в медицині. Дозиметрія іонізуючого випромінювання.
Курс	I, II
Факультет	Медичний № 1,2, стоматологічний

1. Актуальність теми:

Іонізуюче випромінювання відіграє значну роль у розвитку цивілізації на даному історичному етапі. Завдяки явищу радіоактивності був зроблений істотний прорив у різних галузях, зокрема в області медицини. Але одночасно з цим стали все більше виявлятися негативні сторони властивостей радіоактивних елементів. Радіоактивність варто розглядати як невід'ємну частину нашого життя, але без знання закономірностей процесів, пов'язаних з радіаційним випромінюванням, неможливо безпечно використовувати її у мирних цілях.

Обов'язковою умовою дотримання правил радіаційної безпеки є реєстрація і точний кількісний облік величин, що характеризують взаємодію іонізуючих випромінювань з речовиною, в тому числі і біологічною. Визначення дози випромінювання в різних речовинах, насамперед у тканинах живого організму для виявлення, оцінки і попередження будь-якої можливої радіаційної небезпеки для людини, та для розробки спеціальних засобів і методів радіаційного захисту є завданням дозиметрії.

2. Конкретні цілі:

Аналізувати явища радіоактивного розпаду, поглинання іонізуючого випромінювання, активність радіонукліда, наслідки впливу іонізуючого випромінювання на організм людини. Пояснювати природу радіоактивного випромінювання, будову та принцип дії лічильника Гейгера-Мюллера, дозиметра. Класифікувати радіоактивні процеси, радіоактивності, джерела іонізуючого випромінювання, радіологічні методи діагностики та лікування, дози іонізуючого випромінювання, апаратуру радіаційного контролю. Трактувати основні означення теми, закон радіоактивного розпаду. Зображати принципову схему лічильника Гейгера-Мюллера, та блок-схему дозиметра. Оцінювати клінічні наслідки гострого опромінення.

3. Базові знання, вміння, навички, необхідні для вивчення теми (міждисциплінарна інтеграція)

Назви попередніх дисциплін	Отримані навички
1. Математика	Проводити обчислення, застосовуючи правила перетворення виразів, операції логарифмування та потенціювання
2. Хімія	Використовувати Періодичну систему Д. І. Менделєєва
3. Безпека життєдіяльності; основи біоетики та біобезпеки	Оцінювати вплив навколишнього середовища на стан здоров'я населення

4. Фізика	<p>Описувати йонізаційну дію радіоактивного випромінювання; демонструвати знання сучасної моделі атома та ядра, радіоактивності, ізотопу, періоду піврозпаду й активності радіонукліда, ядерної та термоядерної реакцій, впливу радіоактивного випромінювання на живі організми, розуміння механізму ланцюгових ядерних реакцій; принципу дії ядерного реактора; наводити приклади застосування радіоактивних ізотопів у виробництві та в інших науках, розрізняти природну й штучну радіоактивність, ядерні реакції поділу важких ядер і синтезу ядер легких ізотопів; описувати дослід Резерфорда й механізми походження різних видів випромінювання; обґрунтовувати можливість вивільнення атомної енергії та робити висновок про сучасні екологічні проблеми її використання; порівнювати властивості протонів і нейтронів; пояснити природу радіоактивного випромінювання, механізм ядерних реакцій поділу й синтезу; розв'язувати задачі, застосовуючи формулу взаємозв'язку маси та енергії; досліджувати й узагальнювати екологічні проблеми регіону, пов'язані із природним і техногенним радіоактивним фоном та застосуванням радіоактивних ізотопів і рентгенівського випромінювання в медицині; користуватися дозиметром; використовувати набуті знання для безпечної життєдіяльності; оцінювати ефективність методів захисту від впливу радіоактивного випромінювання.</p>
-----------	---

4. Завдання для самостійної роботи під час підготовки до заняття.

4.1. Перелік основних термінів, параметрів, характеристик, які повинен засвоїти студент при підготовці до заняття:

Термін	Визначення
1. Атом	найменша частка хімічного елемента, що є носієм його хімічних властивостей.
2. Атомне ядро	центральна частина атома, що складається з

	протонів і нейтронів, загальна назва яких нуклони.
3. Ізотопи	нукліди одного і того самого хімічного елемента, які мають різну кількість нейтронів, а, отже, різну атомну масу.
4. Нуклід	вид атомів одного елемента з певною кількістю протонів і нейтронів в ядрі.
5. Радіоактивність	мимовільне (спонтанне) перетворення ядер атомів одних елементів в інші, що супроводжується утворенням іонізуючого випромінювання.
6. Альфа-розпад	вид радіоактивного розпаду ядра, при якому випромінюються альфа-частинки — ядра ${}^4_2\text{He}$.
7. Бета-розпад	радіоактивне перетворення атомів одних речовин в інші, яке супроводжується випромінюванням електронів e^- (β^- -розпад) або позитронів e^+ (β^+ -розпад).
8. Гамма-випромінювання	короткохвильове електромагнітне випромінювання з довжиною хвилі 0,1 нм, що виникає при розпаді радіоактивних ядер, переході ядер із збудженого стану в основний, при взаємодії швидких заряджених часток з речовиною, анігіляції електронно-позитронних пар тощо.
9. Активність радіонукліда в джерелі	очікувана кількість елементарних радіоактивних розпадів за одиницю часу.
10. Іонізуюче випромінювання	потоки електромагнітних хвиль або частинок речовини, що здатні при взаємодії з речовиною утворювати в ній іони.
11. Джерела іонізуючого випромінювання	матеріали, радіоактивні речовини, або технічні пристрої, що генерують або здатні генерувати іонізуюче випромінювання.
12. Доза випромінювання	основна величина, яка визначає радіаційної вплив випромінювання на об'єкт.
13. Експозиційна доза	доза рентгенівського або гамма-

випромінювання	випромінювання у повітрі.
14. Поглинена доза випромінювання	співвідношення прирощення середньої енергії, переданої будь-яким іонізуючим випромінюванням будь-якій речовині в елементарному об'ємі, до маси речовини в цьому об'ємі.
15. Керма	відношення сумарної первинної кінетичної енергії всіх заряджених іонізуючих частинок, утворених від дії опосередкованого іонізуючого випромінювання в елементарному об'ємі речовини до маси речовини в цьому об'ємі.
16. Еквівалентна доза	добуток поглинутої дози на середній коефіцієнт якості іонізуючого випромінювання, який враховує біологічний вражаючий ефект для різних тканин.
17. Ефективна доза	розрахункова доза опромінення людини, яка враховує вклади ефектів опромінення різних органів і тканин людини на стан її здоров'я у цілому.
18. Дозиметр	прилад для вимірювання дози та потужності дози іонізуючого випромінювання.

4.2. Теоретичні питання до заняття:

1. Що розуміють під радіоактивністю?
2. Які види радіоактивності існують?
3. Чим зумовлено радіоактивне перетворення ядер атомів за альфа-розпаду?
4. У чому полягає механізм бета-розпаду?
5. Яким методом можна розділити радіоактивне випромінювання на складові частини?
6. Що таке період піврозпаду ядер? Що він характеризує?
7. У чому полягає суть закону радіоактивного розпаду?
8. Що таке активність радіонукліда? В яких одиницях вона вимірюється?
9. Які перетворення відбуваються в речовині внаслідок радіоактивного випромінювання?
10. Які існують засоби захисту від дії іонізуючого випромінювання?
11. Назвати основні діагностичні та терапевтичні методи, що ґрунтуються на використанні радіоактивного випромінювання.

4.3. Практичні роботи (завдання), які виконуються на занятті:

1. Оволодіти технікою розв'язування типових та ситуаційних задач.

2. Розібрати принцип дії та будову дозиметра. Навчитися користуватись дозиметром.

Зміст теми:

Для розуміння фізичної природи радіації необхідно сказати декілька слів про будову атома і процеси, що відбуваються в атомному ядрі.

Атом – найменша частка хімічного елемента, що є носієм його хімічних властивостей. Він складається з електрично позитивно зарядженого ядра і негативно заряджених електронів, які створюють навколо ядра електронну оболонку.

Атомне ядро – це центральна частина атома, що складається з протонів і нейтронів, загальна назва яких нуклони.

Кількість протонів дорівнює атомному номеру (позитивному заряду ядра) в системі елементів Менделєєва і позначається **Z**.

Кількість нейтронів позначається знаком **N** і в сумі з **Z** є атомним (масовим) числом **A**. Масове число і атомний номер, за звичай, позначають у вигляді верхнього і нижнього індексу буквової позначки.

Ядра з однаковим атомним номером, та різними масовими числами (різною кількістю нейтронів) називаються *ізотопами* одного елемента. Хімічні властивості ізоотопів практично не відрізняються, проте можуть сильно відрізнятися їх специфічні ядерні властивості.

Нуклід – це вид атомів одного елемента з певною кількістю протонів і нейтронів в ядрі.

Всі нукліди поділяються на дві основні групи – *стабільні* і *радіоактивні*. Стабільні ядра у вільному стані можуть існувати необмежений час, зберігаючи незмінними нуклонний склад і всі фізичні властивості.

Радіоактивні нукліди (радіонукліди) з часом розпадаються, тобто рмінюють свій нуклонний склад з випромінюванням частинок.

Радіоактивність – це мимовільне (спонтанне) перетворення ядер атомів одних елементів в інші, що супроводжується утворенням іонізуючого випромінювання.

Існує 3 основні види радіоактивного розпаду: альфа-, бета- і спонтанне ділення ядер.

При *альфа-розпаді* утворюється ядро гелію (альфа-частинка) і «материнське ядро» перетворюється на «дочірнє», в якому на два нейтрони і два протони менше.

При *бета-розпаді* один з протонів ядра перетворюється на нейтрон, або нейтрон в протон, при цьому утворюється відповідно позитрон або електрон. Розрив ядра надвоє називається його поділом.

Як правило, альфа- і бета-розпад супроводжується електромагнітним випромінюванням (гамма-випромінюванням). Воно має ту ж фізичну природу, що світлове і рентгенівське випромінювання, але довжина його хвилі в сотні тисяч або мільйони разів менш ніж у світлового, а енергія квантів в стільки ж разів більша.

Ніякі доступні в земних умовах методи впливу на радіоактивну речовину (механічні, електричні, хімічні) не можуть ні прискорити, ні уповільнити процес радіоактивного розпаду.

Кожний радіонуклід має свої («паспортні») радіаційні характеристики: схему (тип) розпаду, енергію і інтенсивність випромінювання, а також вірогідність розпаду (період напіврозпаду).

Спонтанний розпад радіонуклідів відбувається по експоненціальній залежності, що зменшується від часу:

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

де e – основа натурального логарифма; λ – постійна розпаду; N_0 – кількість радіоактивних атомів в початковий момент часу; t – час, що пройшов від початкового моменту.

Величина λ постійна для кожного радіонукліда і називається ще вірогідністю розпаду. Чим більше λ , тим швидше відбувається розпад.

Період напіврозпаду радіонуклідів $T_{1/2}$ – це час, за який розпадається половина початкової кількості атомних ядер:

$$T_{1/2} = \ln 2 / \lambda = 0,693 / \lambda.$$

Періоди напіврозпаду варіюють у широких межах – від часток секунди до мільйонів років.

Кількісною характеристикою радіонукліда в будь-якому об'єкті є його активність.

Активністю (A) радіонукліда в джерелі називається відношення числа спонтанних (мимовільних) ядерних перетворень dN_0 , що відбуваються в джерелі за інтервал часу dt , до цього інтервалу часу:

$$A = dN_0 / dt.$$

Активність радіонукліда в джерелі може бути віднесена до маси, об'єму (для об'ємних джерел), площі поверхні (для поверхневих джерел), довжини (для лінійних джерел). Відповідно, говорять про питому, об'ємну, поверхневу або лінійну активність. Одиницею вимірювання активності є беккерель (Бк). $1 \text{ Бк} = 1 \text{ розп/сек}$. Позасистемна одиниця активності – Кюри (Ки). $1 \text{ Ки} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Бк}$.

Найважливішою властивістю радіоактивних випромінювань є їх здатність викликати іонізацію атомів і молекул, у зв'язку з чим їх називають іонізуючими.

Іонізуюче випромінювання при взаємодії з речовиною прямо або опосередковано відриває електрони від його атомів або молекул, внаслідок чого в цій речовині утворюються іони різних знаків.

Всі іонізуючі випромінювання за своїм походженням поділяються на фотонні і корпускулярні.

До *фотонних* випромінювань відносяться: гамма-, гальмівне, характеристичне і рентгенівське. До *корпускулярних* – альфа-, електронне, позитронне, протонне, нейтронне і мезонне.

Корпускулярне випромінювання, яке складається з потоку заряджених частинок, що мають достатню кінетичну енергію для іонізації атомів при зіткненні з атомами середовища, називається *безпосередньо (прямо) іонізуючим випромінюванням*. До нього належать альфа- та бета-випромінювання.

Незаряджені частинки безпосередньо не проводять іонізацію, але в процесі взаємодії з середовищем вивільняють заряджені частинки, здатні іонізувати атоми і молекули середовища, через яке вони проходять. Відповідно, корпускулярне випромінювання, що складається з потоку незаряджених частинок, і фотонне випромінювання називаються *опосередковано іонізуючим*. Прикладом такого випромінювання є нейтронне та рентгенівське випромінювання.

Джерелами іонізуючого випромінювання називають матеріали, радіоактивні речовини, або технічні пристрої, що генерують або здатні генерувати іонізуюче випромінювання (рентгенівські установки, прискорювачі заряджених частинок, атомні реактори).

Розрізняють закриті і відкриті джерела іонізуючого випромінювання, що містять радіоактивні речовини.

Закритим джерелом називають радіонуклідні джерела, розміщені в неактивній твердій оболонці, яка за нормальних умов експлуатації забезпечує запобігання попадання радіоактивних речовин в навколишнє середовище.

Відкритим джерелом називають радіонуклідні джерела, при проведенні робіт з якими можливо попадання радіоактивних речовин в оточуюче середовище (рідкі, газоподібні, пилоподібні).

Основною фізичною величиною, що визначає ступінь радіаційної дії, є доза випромінювання.

Дозою називається поглинена енергія випромінювання одиницею маси речовини за весь час дії випромінювання.

У радіаційній гігієні використовуються поняття експозиційної, поглиненої, еквівалентної, ефективної доз, а також керми.

Експозиційна доза випромінювання X – це доза рентгенівського або гамма-випромінювання у повітрі. Саме її і вимірюють дозиметричними приладами. Вона характеризує «потужність» джерела випромінювання і радіаційне поле, яке воно створює в даній точці повітря. Вимірюється в кулонах на кілограм (Кл/кг). Позасистемна одиниця – рентген ($1 \text{ P} = 2,58 \cdot 10^{-4} \text{ Кл/кг}$).

Поглинена доза випромінювання D – це співвідношення прирощення середньої енергії ΔW , переданої будь-яким іонізуючим випромінюванням будь-якій речовині в елементарному об'ємі, до маси dm речовини в цьому об'ємі:

$$D = \Delta W / dm.$$

Ця величина найбільш точно визначає результат дії випромінювання на об'єкт, що випромінюється. Встановлено, що реакція на опромінювання (наприклад, хімічні зміни, біологічний ефект і т. д.) пов'язана з поглиненою речовиною енергією випромінювання і часто пропорційна їй.

Поглинену дозу опосередкованого іонізуючого випромінювання оцінюють, використовуючи поняття керми.

Керма K – це відношення сумарної первинної кінетичної енергії всіх заряджених іонізуючих частинок, утворених від дії опосередкованого іонізуючого випромінювання в елементарному об'ємі речовини до маси речовини в цьому об'ємі:

$$K = dE_k / dm, \text{ де:}$$

dE_k - сума початкових кінетичних енергій всіх заряджених іонізуючих частинок, що звільняються незарядженими іонізуючими частинками в речовині з масою dm .

Одиницею вимірювання керми є Дж/кг. Спеціальним найменуванням одиниці керми є грей (Гр) $1 \text{ Гр} = 1 \text{ Дж/кг}$. Позасистемна одиниця керми – Рад. $1 \text{ Рад} = 0,01 \text{ Гр}$.

Поглинена доза і керма дорівнює одна одній тоді, коли досягається рівновага заряджених частинок і коли можна знехтувати гальмівним випромінюванням.

Еквівалентна доза H_T застосовується для оцінки радіаційного ефекту дії випромінювання довільного складу на біологічні об'єкти:

$$H_T = D \cdot W_R,$$

де W_R – чинник, який враховує відносну біологічну ефективність різних видів іонізуючих випромінювань.

Одиницею вимірювання еквівалентної дози є зіверт (Зв). $1 \text{ Зв} = 1 \text{ Дж/кг}/W_R$. Ця одиниця була введена через те, що при однаковій поглиненій енергії різні види випромінювань дають неоднаковий біологічний ефект.

Для оцінки впливу опромінювання на організм в цілому в діапазоні еквівалентних доз, що лежать нижче за поріг виникнення детермінованих (соматичних) ефектів введено поняття ефективної дози.

Ефективна доза H_E враховує, що різні органи і тканини мають різну чутливість до дії радіації.

$$H_E = \sum H_t \cdot w_t,$$

де w_t – тканинної чинник, який відображає відносну вірогідність виникнення стохастичних ефектів в тканині. Ефективна доза відображає загальний ефект опромінювання для організму. Вона, як і еквівалентна доза, вимірюється в зівертах.

Властивість хімічних елементів концентруватися в різних тканинах та частинах організму лежить в основі застосування мічених атомів у біології і особливо в медицині. Наприклад, поглинання йоду щитовидною залозою встановлено за допомогою мічених атомів йоду. Мічені атоми допомагають визначити розміщення злякисних пухлин в організмі, що значно полегшує роботу хірургів. Досягнуто перших успіхів у боротьбі з раком різних органів людського організму.

Наукові і медичні установи України широко використовують мічені атоми для дослідження обміну речовин у живих організмах і для лікування хвороб. Так, наприклад, уточнено дані про хімічний склад головного мозку, вивчено окремі етапи обміну речовин у головному мозку тощо.

Значний внесок у розробку методів ранньої діагностики захворювань з допомогою запровадження організм мічених атомів внесли вчені. Так, Р. Є. Владимиров, відомий біохімік, однією з перших застосував радіоактивні ізотопи (мічені сполуки) з вивчення обмінних процесів в нервовій і м'язовій тканинах. Перші практичного застосування цього методу було здійснено біологами У. М. Клечковским і У. І. Спіциним.

Нині широко використовується метод сканування – метод радіоізотопної діагностики із застосуванням сканерів, чи рухливих детекторів випромінювання, дають зображення (як «штрихів») розподілених в організмі радіоактивних ізотопів у вигляді «построчного» обстеження всього тіла або його частини.

ПЕКТ — метод дослідження функціонального стану тканин організму за допомогою радіонуклідів, що випромінюють позитрони. Вилітаючи з атома, кожен позитрон взаємодіє з електроном, унаслідок чого відбувається анігіляція — обидві частки зникають, натомість виникають 2 γ -кванти (енергія кожного становить 511 кеВ), які розлітаються в протилежних напрямках. У позитронному томографі на рівні досліджуваної частини тіла хворого розташовують 2 детектори, які рухаються по колу. Одночасна реєстрація двох γ -квантів, що виникли під час анігіляції, свідчить про загибель позитрона на лінії, котра з'єднує 2 точки детекції. У позитронних томографах як детектори застосовують флюорид цезію, йодид натрію або германат вісмуту.

Для ПЕКТ використовують радіонукліди, що випромінюють позитрони. Вони являють собою фундаментальні компоненти біологічних сполук.

ПЕКТ — унікальний спосіб радіонуклідного дослідження, котрий дозволяє вивчати метаболізм позитронного випромінювача в організмі, причому отримати точні відомості про локалізацію РФП в організмі і розрахувати досліджувані функції у будь-якому обмеженому об'ємі тканини. Отже, ПЕКТ — це насамперед спосіб отримання нової інформації про патофізіологічні механізми хвороб та результати їх корекції в разі застосування різних варіантів лікування. ПЕКТ головним чином забезпечує виконання чотирьох груп досліджень: вивчення кровотоку і транзиту рідин в органах і тканинах; дослідження метаболізму вуглеводів, жирів та білків; вивчення процесів молекулярного транспорту, проникності мембран та стану рецепторів; дослідження розподілу лікарських препаратів та їх фармакокінетики.

У виявленні анатомічних деталей радіонуклідна КТ не може конкурувати з морфологічною томографією, але її доцільно застосовувати у тому разі, коли виникнення функціональних порушень в органі на кілька тижнів або місяців передре розвитку анатомічних змін.

В загальне поняття „радіаційний контроль” входить чотири види контролю при проведенні будь-яких радіаційно небезпечних робіт: дозиметричний, радіометричний, індивідуальний дозиметричний контроль і спектрометричні вимірювання.

Відповідно до цього і всю апаратуру радіаційного контролю за своїм призначенням поділяють на чотири основні групи:

1 – дозиметричні прилади, призначені для вимірювання дози і потужності дози. До цієї групи відносяться також індикатори-сигналізатори для виявлення іонізуючих випромінювань і сигналізації про перевищення заданого порогу.

2 – радіометричні прилади, за допомогою яких визначають радіоактивне забруднення робочих поверхонь, устаткування, транспортних засобів, одягу, шкірних покривів та ін., а також питому активність продуктів, сировини, води і інших об'єктів навколишнього середовища.

3 – портативні дозиметри, призначені для визначення індивідуальної дози опромінювання за певний проміжок часу.

4 – спектрометричні установки, які дозволяють за спектром радіонукліду, характерному для кожного ізотопу, визначити його питому активність. В даний час спектрометричні установки визначають як гамма- так і бета-випромінюючі радіонукліди.

Вимірювання рівня радіоактивності проводиться непрямым шляхом з використанням різних методів: іонізаційного, сцинтиляційного, хімічного, калориметричного, фотографічного та ін.

В основі роботи дозиметричних і радіометричних приладів використовуються наступні методи індикації:

- *іонізаційний*, заснований на здатності цих випромінювань іонізувати будь-яке середовище, через яке вони проходять. Проходячи через детектор іонізуюче випромінювання створює іонізаційний струм, за виміром якого і судять про інтенсивність радіоактивних випромінювань.

- *сцинтиляційний*, заснований на реєстрації спалахів світла, що виникають під впливом іонізуючих випромінювань. За допомогою фотоелектронного помножувача вони перетворюються в електричний струм, інтенсивність якого пропорційна рівням радіації;

- *люмінесцентний*, базується на ефектах радіофотолюмінесценції (РФД) і радіотермолюмінесценції (ТЛД), що виникають під впливом радіації. Інтенсивність цих ефектів пропорційна дозі випромінювання, що падає на люмінофор;

- *фотографічний* – один з перших методів реєстрації іонізуючих випромінювань, заснований на властивості іонізуючих випромінювань засвічувати чутливий шар фотоплівки. Ступінь почорніння плівки пропорційний інтенсивності впливу на плівку іонізуючого випромінювання;

- *хімічний* – заснований на вимірюванні виходу радіаційно-хімічних реакцій, що виникають під впливом іонізуючих випромінювань в рідких або твердих хімічних системах. Як правило під впливом випромінювання змінюється інтенсивність забарвлення або колір деяких хімічних речовин, що можна зафіксувати при значних рівнях радіації;

- *калориметричний* базується на вимірюванні кількості теплоти, що виділяється в детекторі при поглинанні енергії іонізуючих випромінювань;

- *біологічний* – заснований на здатності іонізуючого випромінювання впливати на біологічні об'єкти. Зокрема, величину дози опромінювання визначають за рівнем смертності тварин, випадінням волосся, ступенем лейкопенії та ін. Цей метод не точний і менш чутливий в порівнянні з фізичними методами.

В *розрахункових* методах дозу опромінювання визначають шляхом математичних розрахунків. Цей метод використовується при визначенні дози від радіонуклідів, що потрапили усередину організму.

Нижче приводяться характеристики найпоширеніших дозиметричних і радіометричних приладів.

Радіометр-дозиметр гамма-бета випромінювань РКС-01 «Стора-ТУ» – призначений для вимірювання потужності еквівалентної дози і еквівалентної дози гамма- і рентгенівського випромінювань, а також поверхневої щільності потоку бета-часток. Діапазон вимірювання потужності дози – $0,1-999 \text{ мкЗв}\cdot\text{год}^{-1}$, еквівалентної дози $0,001-9999 \text{ мкЗв}\cdot\text{год}^{-1}$ з відносною похибкою вимірювань $\pm 15-20\%$, щільність потоку бета-часток – $5 - 100000 \text{ част}\cdot\text{хв}^{-1}\cdot\text{см}^{-2}$ з відносною похибкою $\pm 20\%$. Прилад має цифровий дисплей з підсвічуванням, звукову сигналізацію перевищення порогу вимірювання, автоматичне встановлення діапазонів вимірювання.

Радіометр-дозиметр гамма-бета випромінювань РКС 20-03 «Припять» призначений для оцінки гамма- фону і контролю радіаційної забрудненості поверхонь, а також питомої активності ^{137}Cs в харчових продуктах. Діапазон вимірювання потужності еквівалентної дози $0,1-199,9 \text{ мкЗв}\cdot\text{год}^{-1}$, потужності експозиційної дози $0,01-19,99 \text{ мР}\cdot\text{год}^{-1}$, щільність потоку бета-випромінювання $5-19990 \text{ част}\cdot\text{хв}^{-1}\cdot\text{см}^{-2}$, питомої (об'ємної) активності – $1 \times 10^{-7} - 2 \times 10^{-5} \text{ Кі}\cdot\text{кг}^{-1}$, відносна похибка вимірювань $\pm 25\%$.

Радіометр-дозиметр МКС-05 «Терра» призначений для вимірювання еквівалентної дози і потужності еквівалентної дози гамма- і рентгенівського випромінювань, а також поверхневої щільності потоку бета-часток.

Діапазон вимірювань еквівалентної дози – $0,001-9999 \text{ мкЗв}\cdot\text{год}^{-1}$, потужності еквівалентної дози – $0,1-9999 \text{ мкЗв}\cdot\text{год}^{-1}$, щільності потоку бета-часток – $10-100000 \text{ част}\cdot\text{хв}^{-1}\cdot\text{см}^{-2}$ при відносній похибці вимірювань $\pm 15-20\%$. Має цифровий дисплей з підсвічуванням, автоматичне встановлення діапазонів вимірювань, звукову сигналізацію встановлених порогів вимірювання.

Дозиметр-радіометр альфа-бета-гамма-випромінювання МКС-1117А – переносний високочутливий прилад з окремими блоками детектування. Призначений для вимірювання потужності еквівалентної, експозиційної і поглиненої в повітрі дози і щільності потоку альфа- і бета-випромінювання від забруднених поверхонь. Діапазон вимірювання: потужності експозиційної дози – $5-99990 \text{ мкР}\cdot\text{год}^{-1}$, потужності еквівалентної дози – $0,05-999,9 \text{ мкЗв}\cdot\text{год}^{-1}$, потужності поглиненої дози в повітрі – $0,05-999,9 \text{ мкЗв}\cdot\text{год}^{-1}$. Похибка вимірювань – $15-20\%$. Має сигналізацію про перевищення граничних рівнів, комп'ютерний інтерфейс.

Індивідуальні термомюнісцентні дозиметри ДТЛ-02, ДІ-ТЛ-Б на основі фтористого літію призначено для вимірювання індивідуальної еквівалентної дози гамма-випромінювання в діапазоні $20 \text{ мкЗв} - 30 \text{ мЗв}$ з енергією $0,015-3,0 \text{ МеВ}$.

Індивідуальні термомюнісцентні дозиметри ДТГ-4, ТЛД-1011, ТЛД-500К та ін. призначені для вимірювання індивідуальної еквівалентної дози в діапазоні $20 \text{ мкЗв} - 10 \text{ мЗв}$ з похибкою вимірювань $15-30\%$.

Індивідуальний прямопоказуючий дозиметр гамма-випромінювань ИД-02(ДК-0,2) виконаний у вигляді олівця, призначено для вимірювання поглиненої дози за допомогою детектора у вигляді іонізаційної камери. Діапазон вимірювання – 20-200 мРад.

Індивідуальний дозиметр гамма-випромінювання ДКГ-05Д на основі кремнієвих напівпровідникових детекторів призначено для вимірювання еквівалентної дози в діапазоні 0,5 мкЗв – 15 Зв і потужності еквівалентної дози в діапазоні 1 мкЗв·год⁻¹ – 10 Зв·год⁻¹. Має звукову і світлову сигналізацію перевищення порогу дози і потужності дози.

Індивідуальний дозиметр ДКГ-РМ-1603, виконаний у вигляді наручного годинника, призначено для вимірювання еквівалентної дози в діапазоні 1,0 мкЗв – 100 мЗв і потужності дози гамма-випромінювання в діапазоні 1 мкЗв·год⁻¹– 5,0 Зв·год⁻¹. Має звукову сигналізацію перевищення порогу дози і потужності дози. В якості детектора використовується газорозрядний лічильник.

Спектрометр енергії гамма-випромінювання СЕГ-001 «АКП-С»-150 призначений для визначення якісного і кількісного складу гамма- випромінюючих радіонуклідів в об'єктах навколишнього середовища, сільськогосподарської продукції, продуктах харчування, будівельних матеріалах, радіоактивних відходах і ін. В комплект входить персональний IBM – комп'ютер з принтером і програмне забезпечення. Мінімальна активність, що вимірюється, для ¹³⁷Cs при експозиції 1 година складає 0,9 Бк·кг⁻¹ з похибкою 25%.

Спектрометр енергії бета-випромінювання СЕБ-01-150 призначений для вимірювання активності бета-випромінюючих радіонуклідів в об'єктах навколишнього середовища, продуктах харчування, воді та ін. В комплект входить персональний IBM –комп'ютер з принтером і програмне забезпечення. Діапазон вимірювання активності 0,1-10⁵ Бк. Мінімальна питома активність, що вимірюється, – 5-6 Бк·кг⁻¹. Одночасно дозволяє виміряти концентрацію ⁹⁰Sr і ¹³⁷Cs без використання методів радіохімічної або фізичної концентрації.

Радіометр радону РРА-01М-03 призначений для експресного вимірювання об'ємної активності ²²²Rn в повітрі і воді. Діапазон вимірювань 20-20 000 Бк·м⁻³ з похибкою 20-30%. Тривалість одного виміру – 20 хв.

Альфа-бета-радіометр УМФ-2000 призначений для вимірювання сумарної альфа і бета-активності харчових продуктів і води після радіохімічної підготовки. Діапазон активностей, що вимірюються, – 0,01-1000 Бк.

Для вимірювання дози іонізуючого випромінювання та її потужності використовують дозиметри. Основною складовою дозиметра є детектор – пристрій, що призначений для реєстрації іонізуючого випромінювання. Детектори бувають різних типів, але на даному занятті Ви ознайомитесь з іонізаційними детекторами. У іонізаційних дозиметрах детектором зазвичай є лічильник Гейгера-Мюллера, дія якого ґрунтується на властивостях іонізуючого випромінювання значно збільшувати провідність газів. Датчик Гейгера-Мюллера являє собою скляний циліндр, який заповнений розрідженим інертним газом (рис 1). Стінки циліндра вкриті металевою плівкою, що в свою чергу є катодом. Всередині циліндра є натягнутий металевий дріт – анод. Анод і катод ізольовані один від одного. Між стінками циліндра і дротом існує сильне електричне поле.



рис. 1

Коли радіоактивне випромінювання потрапляє всередину циліндра, відбувається іонізація газу. Вільні електрони та іони розділяються електричним полем, внаслідок цього у газовому проміжку між катодом і анодом виникає іскровий газовий розряд. Цей імпульс струму передається на приймач, який і фіксує наявність іонізаційного випромінювання.

Дозиметр – це прилад для вимірювання дози та потужності дози іонізуючого випромінювання.

Радіометр – прилад для вимірювання активності радіонукліда у джерелі випромінювання або в зразку (в об'ємі рідини, газу, аерозолі, на забруднених поверхнях).

Будову сучасного дозиметра розглянемо на прикладі побутового дозиметра-радіометра МКС-05 ТЕРРА-П.

Прилад призначено для вимірювання еквівалентної дози та потужності еквівалентної дози γ -випромінювання, а також для оцінки поверхневого забруднення β -радіонуклідами.

Прилад містить детектор γ - і β -випромінювань (лічильник Гейгера-Мюллера), друковану плату з електронними компонентами та елементи живлення.

Корпус приладу складається з верхньої (1) та нижньої (2) кришок. На верхній кришці розташовано панель індикації (3), дві клавіші управління роботою дозиметра (4), гучномовець (5). На нижній кришці приладу розміщено відсік для елементів живлення, а також вікно з позначкою «+» для реєстрації поверхневої забрудненості β -радіонуклідами. Там же подано інформаційну таблицю.

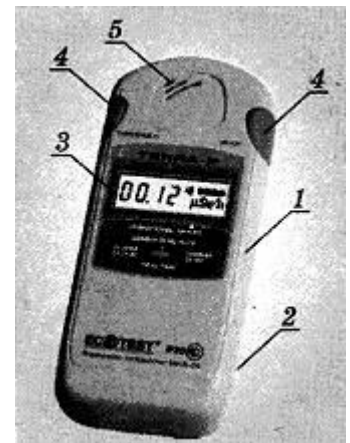


рис. 2

Матеріали для самоконтролю:

А. Завдання для самоконтролю (тести):

1. Виберіть визначення радіоактивності.
 - А. Радіоактивністю називається мимовільний розпад атомів і молекул
 - В. Радіоактивністю називається індукований розпад атомних ядер з випусканням інших ядер і елементарних частинок
 - С. Радіоактивністю називається індукований розпад атомів і молекул з утворенням інших атомів і молекул
 - Д. Радіоактивністю називається мимовільний розпад нестійких ядер з випусканням інших ядер і елементарних частинок
 - Е. Радіоактивністю називається мимовільний процес іонізації атомів і молекул
2. Яке випромінювання називають іонізуючим?
 - А. Електромагнітне випромінювання з довжиною хвилі 80 нм, яке викликає іонізацію атомів і молекул

- В. Потоки частинок і електромагнітних хвиль, взаємодія яких із середовищем призводить до іонізації її атомів і молекул
- С. Потоки частинок та іонів, взаємодія яких із середовищем призводить до порушення її атомів і молекул
- Д. Потік іонів, що утворилися при радіоактивному розпаді
- Е. Потік частинок, взаємодія яких із середовищем призводить до іонізації цього потоку частинок
3. У яких одиницях вимірюється поглинена доза радіоактивного випромінювання?
- А. зіверт, кюрі, резерфорд
- В. радій, Кл / кг
- С. Кл / кг, бер, грей
- Д. зіверт, кюрі, бекерель
- Е. грей, радий
4. Які з методів діагностики відносяться до радіонуклідної діагностики?
- А. статистичного аналізу
- В. тільки ЯМР томографія
- С. рентгенівська комп'ютерна томографія і ЯМР томографія
- Д. рентгенівська комп'ютерна томографія
- Е. рентгенівська комп'ютерна томографія, ЯМР томографія і позитронно-емісійна томографія
5. Яке з випромінювань має найменшу проникну здатність?
- А. α -випромінювання
- В. β -випромінювання
- С. γ -випромінювання
- Д. нейтрони
- Е. нейтрино

Б. Задачі для самоконтролю:

- Обчисліть поглинену двома літрами води дозу випромінювання, якщо внаслідок цієї дози вода нагрілась на $0,01\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- Після Чорнобильської аварії окремі ділянки електростанції мали радіоактивне забруднення з потужністю поглинутої дози $7,5\text{ Гр/год}$. За який час перебування людина могла отримати на цих ділянках смертельну експозиційну дозу у 5 Зв ? Вважайте, що коефіцієнт якості радіоактивного випромінювання дорівнює 1 .
- У лабораторії є радіоактивне забруднення з потужністю поглинутої дози $2,5\text{ Гр/год}$. Якою є тривалість безпечного перебування у лабораторії? Вважайте, що коефіцієнт якості радіоактивного випромінювання дорівнює 1 . Безпечною для людини є еквівалентна доза у 2 мЗв .

Література.

Основна:

- Ищейкина Ю. О. Медична і біологічна фізика : навч. посібник / Ищейкина Ю. О., Макаренко В. І., Тронь Н. В. – Полтава : Шевченко Р. В., 2012. – 352 с.
- Ищейкина Ю. О. Медична і біологічна фізика : навч. посібник / Ищейкина Ю. О., Макаренко В. І., Тронь Н. В. – 2-ге видання. – Полтава : Шевченко Р. В., 2014. – 352 с.

3. Медична і біологічна фізика : підруч. для студ. вищ. мед. заклад. III-IV р. акред. / Під заг. ред. О. В. Чалого. – 2-ге вид., переробл. і доп. – К. : Книга плюс, 2005. – 760 с.
4. Медична та біологічна фізика : нац. підруч. для студ. вищ. мед. навч. закладів III-IV рівнів акредитації / О. В. Чалий, Я. В. Цехмістер, Б. Т. Агапов та ін. ; за ред. О. В. Чалого. – Вінниця : Нова книга, 2013. – 528 с.
5. Медична та біологічна фізика : нац. підручник для студ. вищ. мед. (фарм.) навч. заклад. III-IV р. акред. / за ред. О. В. Чалого. – 2-ге вид. – Вінниця : Нова Книга, 2017. – 528 с.
6. Медична та біологічна фізика: підручник для студентів медичних ВНЗ / О. І. Антюфєєва, Л. В. Батюк, М. А. Бондаренко та ін.; за ред. В. Г. Книгавка. – Харків : ХНМУ, 2010. – 370 с.

Додаткова:

1. Біофізика. Фізичні методи аналізу та метрологія : підруч. для студ. вищ. мед. та фарм. навч. закл. IV р. акр. / Е. І. Личковський, В. О. Тіманюк, О. В. Чалий та ін. ; за ред. Е. І. Личковського. – Вінниця : Нова Книга, 2014. – 464 с.
2. Доброва В. Є. Біофізика та медична апаратура: Навч. посібн. для студ. вищ. навч. закл. / В. Є. Доброва, В. О. Тіманюк. – К. : Професіонал, 2006. – 200 с.
3. Ємчик Л. Ф. Медична і біологічна фізика : Підручник / Л. Ф. Ємчик, Я. М. Кміт. – Львів : Світ, 2003. – 592 с.
4. Зима В. Л. Біофізика. Збірник задач / Зима В. Л. – К. : Вища шк., 2001. – 124 с.
5. Костюк П. Г. Біофізика / П. Г. Костюк, В. Л. Зима, І. С. Магура, М. С. Мірошніченко, М. Ф. Шуба. – К. : ВПЦ «Київський університет», 2008. – 567 с.
6. Лопушанський Я. Й. Збірник задач і запитань з медичної і біологічної фізики : навч. посібн. для студ. вищ. мед. навч. закл. III-IV рівн. акр. / Я. Й. Лопушанський. – 3-є вид., доповн. і випр. – Вінниця : Нова книга, 2010. – 584 с.
7. Медична і біологічна фізика. / О. В. Чалий, Я. В. Цехмістер, Б. Т. Агапов та ін. / За ред. О. В. Чалого. – К. : Книга плюс, 2004. – 751 с.
8. Медична і біологічна фізика: Практикум : навч.-метод. посіб. для вищ. мед. навч. закл. / за ред. О. В. Чалого. – К. : Книга плюс, 2003. – 217 с.
9. Основи біологічної і медичної фізики, інформатики й апаратури : навч. посіб. для студ. вищ. мед. закл. осв. / за ред. Л. С. Годлевського. – Одеса : ОДМУ, 2003. – 258 с.
10. Русяев В. Ф. Медицинская физика (Сборник вопросов и задач) / Русяев В. Ф., Мищенко С. В., Пронина Н. В. – Полтава, АСМИ, 2001. – 158 с.
11. Федішин Я. І. Фізика з основами біофізики. / Федішин Я. І. – Львів : Світ, 2005. – 400 с.
12. Шевченко А. Ф. Основи медичної і біологічної фізики. / Шевченко А. Ф. – К. : Медицина, 2008. – 656 с.

Розробник:

Макаренко О.В. – старший викладач, кандидат педагогічних наук.