


ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ МЕДИЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Кафедра променевої діагностики, терапії та радіаційної медицини і онкології

МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ З ВИВЧЕННЯ ТЕМИ:

«Біологічна дія іонізуючого випромінювання. Радіоактивність і доза. Дозиметрія іонізуючого випромінювання. Принципи і методи променевої терапії в стоматології».

(для студентів 3 курсу стоматологічного факультету)

Затверджено
на методичній нараді кафедри
“ 27 “ серпня 2021р.
Протокол № 1.
Зав. кафедрою  **Соколов В.М.**

Одеса – 2021 р.

“ Біологічна дія іонізуючого випромінювання. Радіоактивність і доза. Дозиметрія іонізуючого випромінювання. Принципи і методи променевої терапії в стоматології” – 2 год.

1. Актуальність теми

Знання фізичних основ іонізуючого випромінювання, його видів, одиниць виміру та методи визначення дози, будови радіометрів та дозиметрів, фізичні принципи за якими вони працюють, необхідні для фахівців будь якого профілю лікувальної діяльності. Актуальність цієї теми обумовлена її важливістю для вивчення цілої низки наступних тем з радіології, радіаційної медицини, госпітальної терапії. Тому основні цілі та завдання навчання пов'язані з формуванням фахових знань та навичок для деонтології, екології, правової та психологічної діяльності у медицині.

2. Цілі заняття:

2.1. Загальні цілі: Ознайомитися з типами сучасних дозиметричних приладів.

2.2. Виховні цілі: Виховні цілі пов'язані з формуванням відповідальності майбутнього лікаря правильної оцінки ефективних та еквівалентних доз; вміти пояснити хворому необхідність захисту від радіоактивності і способи захисту в залежності від різних видів опромінювання.

2.3. Конкретні цілі:

- знати:

1. Аналізувати і мати уявлення про основні властивості іонізуючого випромінювання, одиницях и методах визначення дози опромінювання, будові радіометрів та дозиметрів.

2. Пояснювати основні властивості іонізуючого випромінювання та їх можливості для застосування в стоматології.

2.4. На основі теоретичних знань з теми:

- оволодіти методиками /вміти/:

1. Уміти оцінювати та розраховувати поглинену, експозиційну, еквівалентну, летальну, порогову, популяційну дози.

2. Вірно добирати способи та методи захисту від основних видів іонізуючого випромінювання при різних умовах.

3. Обґрунтовувати застосування дозиметру або радіометру в різних умовах.

4. Класифікувати способи та методи захисту від основних видів іонізуючого випромінювання.

5. Проаналізувати відповідні клінічні завдання, оцінювати та розраховувати поглинену, експозиційну, еквівалентну, летальну, порогову, популяційну дози.

3. Матеріали до аудиторної самостійної підготовки (міждисциплінарна інтеграція).

№№ п.п.	Дисципліни	Знати	Вміти
1	2	3	4
I.	Попередні дисципліни 1. Фізика 2. Фізіологія 3. Патологічна фізіологія	Будова атома Гомеостаз клітини Зміни у клітині під впливом радіації	
II.	Наступні дисципліни 1. Радіаційна медицина 2. Госпітальна терапія	Обґрунтовувати застосування дозиметру або радіометру в різних умовах. Вірно обирати способи та методи захисту від основних видів іонізуючого випромінювання.	
III.	Внутрипредметна інтеграція 1. Дозиметрія 2. Методи дозиметрії	Користуватись основними типами радіометрів та дозиметрів.	

4. Зміст теми (текст або тези), граф логічної структури заняття.

Для індивідуального дозиметричного контролю найчастіше користуються приладами «Комплект індивідуальних дозиметрів» (КІД). Комплект цей складається з 20 кишенькових дозиметрів, що являють собою малогабаритні іонізаційні камери у вигляді авторучки. З допомогою цих дозиметрів можна виміряти дозу рентгенівського і гамма-випромінювань. Кожна іонізаційна камера складається з двох ізольованих один від одного конденсаторів, що дає можливість визначати величину випромінювань від 0,02 до 2 *p*- у діапазоні енергій від 80 *Кев* до 2 *Мев*. Другою складовою частиною приладу є зарядно-вимірювальний пристрій, на лицьовій панелі якого розміщені: а) вимірювальний прилад, що має дві шкали, градуйовані в рентгенах (верхня в діапазоні від 0,2 до 2 *p* і нижня — від 0,002 до 0.2 *p*); б) регулятор установлення шкали; в) два гнізда для зарядки іонізаційних камер і вимірювання потенціалу; г) дві сигнальні лампочки — покажчики діапазонів (мал. 1).

Для визначення дози випромінювання за 10—15 хвилин до початку вимірювань прилад підмикають, у сітку змінного струму 220 *в* для прогріву; після цього можна приступити до зарядки іонізаційних камер, для чого їх слід по черзі щільно вставити в зарядне гніздо. Після зарядки камер необхідно їх закрити кришками і роздати персоналу, який працює з джерелами випромінювання.

По закінченні роботи з допомогою того ж зарядно-вимірювального пристрою легко визначити дозу, одержану камерою, а значить, і власником її.

Після прогріву приладу необхідно відкрити торцеві кришки камер, щільно вставити їх у гніздо «вимірювання»; стрілка вимірювального приладу на шкалі покаже величину дози.

Для дозиметричного контролю часто користуються прикладом ДК – 0,2 (дозиметр контролю), яким можна вимірювати дози рентгенівського і гамма-випромінювань у межах від 10 до 200 *мр*.

Прилад ДК-0.2 складається з кишенькового типу іонізаційної камери і електрометра. З допомогою портативного зарядного пристрою електрометр заряджається до потенціалу; при цьому нитка електрометра встановлюється на нуль шкали, що має двадцять поділок. Кожна поділка шкали електрометра відповідає 10 *мр*.

При опромінюванні камери приладу виникає іонізаційний струм, який нейтралізує заданий заряд, внаслідок чого нитка електрометра зміщується і на оптичному пристрої показує величину дози.

До приладів дозиметричного контролю слід віднести дозиметри з сигнальними пристроями, давачі яких встановлюються на робочих місцях у різних блоках радіологічних відділень. Якщо на робочому місці перевищено заданий рівень радіації, то автомат вмикає сигнал небезпеки (засвічується

червона лампочка, лупає дзвінок); крім того, на пульті керування приладу також вмикається сигнал небезпеки, що вказує на місце встановлення давача.

Зручний в експлуатації вітчизняний апарат УСІД — установка сигналізаційна, вимірвальна, дозиметрична.

Для вимірювання рентгенівського і гамма-випромінювань при променевої терапії частіше використовується дозиметр РМ-1-М — рентгнометр медичний. Він призначений для визначення доз гамма-випромінювання з енергією квантів до 1,5 Мев і рентгенівського випромінювання з енергією до 250 кВ.

Прилад вживається також для визначень доз на глибині. До його комплекту, крім пульта, входять набір іонізаційних камер, блок фільтрів, фантом і штатив. Маючи шість піддіапазонів вимірювань, можна визначати дозу від 0,01 до 50 000 р.

Для визначення глибинних доз застосовується фантом, виготовлений з тканиноподібної речовини, найчастіше парафіну.

Метод визначення доли: іонізаційну камеру приладу об'ємом у 2 см³ вставляють на задану глибину фантома, тубус рентгено-терапевтичного апарата з відповідними фільтрами із заданою шкірнофокусною відстанню встановлюють на досліджуване поле. При опроміненні фантома знімають показання з шкали приладу.

1. Характеристика доз.

Розрізняють опромінення:

- **зовнішнє** – від джерела котре розташовано зовні
- **внутрішнє** – як наслідок розпаду інкорпорованих в органах та тканинах радіоактивних речовин.

Летальна доза (ЛД) - кількість ІВ, отримане усією поверхнею тіла, вона загибельна для людини або тварини. *ЛД для усіх савців = 10 Гр.*

Порогова доза (ПД) - мінімальна доза опромінення, нижче котрій ефект ушкодження не виявляється. Для людини ПД = 1 Гр.

Середня летальна доза (ЛД₅₀) – кількість радіації, отриманою усією поверхнею тіла та причиняючи загибель у 50% випадків. ЛД₅₀ для людини складає 4-5 Гр.

Основные радиационные величины и их единицы

<i>Физическая величина</i>	<i>Единица, наименование, обозначение (международ., русское)</i>	<i>ее</i>	<i>Соотношения</i>
			<i>е</i> <i>между</i> <i>единицами</i>

	<i>внесистемная</i>	<i>СИ</i>	
<i>Активность нуклида в р/а источнике</i>	Кюри (Ci, Ки)	Беккерель (Bq, Бк)	1 Бк = $2,7 \times 10^{-11}$ Ки 1 Ки = $3,7 \times 10^{10}$ Бк
<i>Экспозиционная доза излучения</i>	Рентген (R, Р)	Кулон на кг (C/kg, Кл/кг)	1 К/кг = 3876 Р 1 Р = $2,58 \times 10^4$ Кл/кг
<i>Мощность экспозиционной дозы</i>	Рентген в се-кунду (R/s, Р/с)	Ампер на кг (A/Kg, А/кг)	1 А/кг = 3876 Р/с 1 Р/с = $2,58 \times 10^{-4}$ А/кг
<i>Поглощенная доза излучения</i>	Рад (rad, рад)	Грей (Gy, Гр)	1 Гр = 100 рад 1 рад = 0,01 Гр
<i>Мощность поглощенной дозы</i>	Рад в секунду (rad/s, рад/с)	Грей в секунду (Gy/s, Гр/с)	1 Гр/с = 100 рад/с 1 рад/с = 0,01 Гр/с
<i>Интегральная доза излучения</i>	рад · грамм (rad · g, рад · г)	Джоуль (J, Дж)*	1 Дж = 10^5 рад · г 1 рад · г = 10^{-5} Дж
<i>Эквивалентная доза излучения</i>	Бэр (rem, бэр)	Зиверт (Sv, Зв)	1 Зв = 100 бэр 1 бэр = 0,01 Зв
<i>Мощность эквивалентной дозы</i>	Бэр в секунду (rem/s, бэр/с)	Зиверт в секунду (Sv/s, Зв/с)	1 Зв/с = 100 бэр/с 1 бэр/с = 0,01 Зв/с

* Поскольку 1 Гр, по определению, есть 1 Джоуль на килограмм, единица СИ интегральной дозы грей · килограмм преобразуется в Джоуль (1 Гр · кг = 1 (Дж/кг) · кг = 1 Дж).

Дозиметрія іонізуючих випромінювань. Одиниці радіоактивності та дози опромінення

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.

Дозиметрія - це визначення кількості та якості іонізуючих випромінювань. За допомогою дозиметрії вирішують два принципові питання:

1. Пошук джерела випромінювання, визначення його виду, кількості та енергії.
2. Визначення ступеню впливу випромінювання на об'єкт, що опромінюється.

Одиниця радіоактивності в СІ - Бк = 1 розпад в 1 секунду.

Несистемна одиниця - Ки = 3.7×10^{10} розпадів в 1 секунду (що відповідає кількості розпадів в 1г Ra).

Для вимірювання дози і радіоактивності використовуються різні прилади та методи.

Розрізняють:

а) дозиметри для вимірів доз, потужності доз у прямому струмені і за екраном (розсіяне випромінювання);

б) радіометри — для визначення сумарної активності препаратів і питомої активності натурних об'єктів зовнішнього середовища, вимірювання рівнів радіоактивного забруднення поверхонь;

в) спектрометри - прилади для визначення енергетичного спектру випромінювання — якісного та кількісного радіонуклідного складу препаратів. Спектрометри використовуються для ідентифікації забруднення об'єктів зовнішнього середовища, кількісного визначення активності об'єктів за рахунок певних радіонуклідів тощо.

Табл. 1.5. Типи приладів для вимірювання дози та радіоактивності

Дозиметри	Радіометри
1. Лабораторні	1. Лабораторні:
2. Клінічні	1.1. Звичайні
3. Індивідуальні	1.2. Колодязні
4. Пошукові	1.3. СВЛ - спектрометри випромінювань людини
5. ДКЗ - дозиметри контролю захисту	1.4. СВТЛ - спектрометри випромінювань всього тіла людини
	2. Клінічні:
	2.1. Радіографи одно- та багатоканальні
	2.2. Сканери

	2.3.	Сцинтиляційні гамма-камери
	2.4.	ОФЕКТ - однофотонні емісійні комп'ютерні томографи
	2.5.	ПЕТ - позитронні емісійні томографи

Вивчення енергетичних спектрів різних джерел гамма-випромінювання може проводитись за допомогою сцинтиляційних або напівпровідникових детекторів. У сцинтиляційних детекторах при взаємодії гамма-квантів з матеріалами сцинтилятора утворюються світлові спалахи, величина яких пропорційна енергії гамма-квантів. За допомогою фотопомножувача вони перетворюються у відповідні електричні імпульси. Амплітуди вихідних імпульсів несуть інформацію про енергію падаючого гамма-випромінювання.

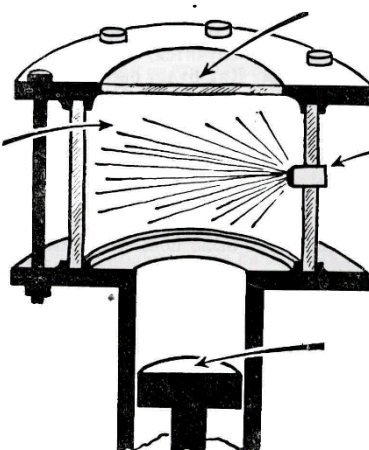
В радіологічній практиці використовується багато приладів, які дають можливість визначати кількісну і якісну характеристику іонізуючих випромінювань і радіоактивних речовин.

Табл. 1.6. Методи визначення радіоактивності та дози

Радіоактивності	Дози
1. Іонізаційний	1. Іонізаційний
2. Люмінесцентний (сцинтиляційний)	2. Сцинтиляційний
3. Калориметричний	3. Товстих емульсій
4. Хімічний	
5. Фотографічний (фотохімічний)	
6. Біологічний	
7. Математичний (розрахунковий)	

В основі будь-якого методу реєстрації лежить кількісна оцінка процесів, що відбуваються в опроміненій речовині.

Першим приладом для реєстрації випромінювань була камера Вільсона, яку він заповнював повітрям або водяною парою. Якщо крізь таку камеру пропускати альфа промені радіоактивної речовини, то альфа частки будуть вибивати з зовнішніх об'єктів газу на іони. Якщо охолодити камеру, то відбудеться конденсація, і будуть тоненькі смужки туману (Рис. 1.2).



Віконце для спостереження

Камера (скляний циліндр, заповнений газом або водяною парою)

Радіоактивна речовина

Поршень для зміни тиску в камері

Рис. 1.2. Камера Вільсона

У радіаційно-гігієнічній практиці і медичній радіології набули широкого застосування лічильники заряджених частинок. У залежності від принципу дії існують лічильники іонізаційні, напівпровідникові (кристалічні), сцинтиляційні, черенківські. У зв'язку із особливостями напівпровідникових, сцинтиляційних та черенківських лічильників найчастіше виділяють відповідно напівпровідниковий, сцинтиляційний та черенківський методи реєстрації іонізуючих випромінювань. Принцип роботи лічильника Черенкова — сцинтиляційний, але замість люмінофору використовується речовина, в якій під впливом випромінювання вибиваються швидкі електрони (видиме черенківське випромінювання). Зупинимося на кожному з них окремо. Іонізаційний принцип реєстрації лежить в основі роботи іонізаційних лічильників. До них відносяться пропорційні лічильники і лічильники з самостійним розрядом — лічильники Гейгера—Мюллера. Це газонаповнені торцеві або циліндричні конденсатори-лічильники, які реєструють кожен заряджену частинку, що потрапила в лічильник (Рис. 1.3).



Рис. 1.3. Газорозрядні лічильники: а)торцевий; б)циліндричний

Напівпровідникові (кристалічні) лічильники — це теж іонізаційні лічильники, в яких частинка, що пролітає, породжує електрони провідності та «дірки» у напівпровіднику. Невеликих розмірів пластинки, зроблені із сірчаного кадмію (CdS), сірчаного цинку (ZnS), алмазу, хлористого срібла (AgCl), германію, кремнію та інших, включаються у спеціальну радіотехнічну схему. На пластинку спрямовується потік частинок, який слід виміряти. Частинка, яка проникає у напівпровідник, породжує в ньому велику кількість

носіїв струму: електронів провідності та «дірок». Напівпровідник стримує провідність, яка миттєво вплине на зростання електричного струму.

Вимірювальний прилад проградуєований так, що він покаже не силу струму, а кількість частинок, які потрапили на пластинку. За кількістю зареєстрованих імпульсів роблять висновок про кількість частинок, що потрапили на пластинку. Простота пристрою та експлуатації, малі розміри, висока чутливість, швидке зростання імпульсу струму є перевагою кристалічних лічильників.

Лічильники газорозрядні мають зовнішній циліндр і тонку металеву натягнуту по осі циліндра та ізольований від нього проволку. На лічильник подається напруга порядку 1000 - 1400 В. Лічильник на 90% заповнений парами ізопентанового спирту(10%). Тиск — 50-100 мм.рт.ст. Заряджена частинка, що потрапила у лічильник, утворює велику кількість пар іонів. Первинні іони (електрони) у сильному електричному полі набувають такої енергії, що починають іонізувати газ у лічильнику і створювати в ньому велику кількість вторинних іонів — газовий розряд, який в електричному ланцюгу дає імпульс струму. Кількість газових розрядів пропорційна кількості частинок, що потрапили в лічильник. Існує важливий показник лічильника — розрізнявальна спроможність — це кількість імпульсів, яку здатний зареєструвати лічильник за 1 сек. Вона залежить від конструкції та робочої напруги. Звичайно лічильники працюють у режимі, який знаходиться усередині «плато» (зона Гейгера), коли кількість імпульсів залежить лише від кількості іонізуючих часток або гамма квантів, що попали на детектор і мало залежить від зміни напруги (Рис. 1.4).

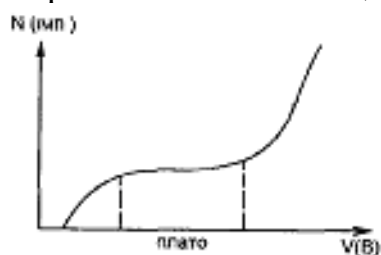


Рис. 1.4. Залежність розрізняльної спроможності лічильника Гейгера-Мюллера від напруги.

Сцинтиляційний метод реєстрації базується на реєстрації спалахів світла, які виникають у сцинтиляторі (люмінофорі) під дією іонізуючих випромінювань (Рис 1.5.). Для виготовлення люмінофорів використовують багато неорганічних і органічних сполук (CsI(Tl) , NaI(Tl) , CdS , антрацен, трасстільбен, нафталін, тканиноеквівалентні пластмаси із додаванням сірчаного цинку. Існують також рідкі і газоподібні сцинтилятори, які використовуються для реєстрації альфа-, бета-часток, а також низькоенергетичного фотонного випромінювання за допомогою фотоелектронного помножувача (ФЕП). Там сцинтиляції

перетворюються на електричний струм, величина якого і швидкість лічення пропорційні рівню радіації. ФЕП являє собою вакуумний прилад, який має фотокатод, декілька діодів, розміщених у скляній трубці під певним кутом один до другого і до аноду. Найчастіше фотокатодом служить сурм'яно-цезієва пластинка. На фотокатод K , діоди і анод A подається певна позитивна напруга, величина якої на кожній наступній парі діодів зростає у порівнянні з напругою на попередній парі. Під впливом падаючих світлових квантів із фотокатода вириваються електрони, які прискорюються напругою між фотокатодом і першим діодом

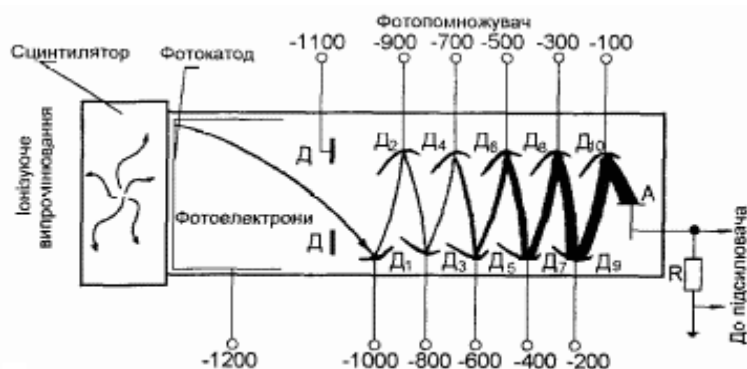


Рис. 1.5. Принципова схема сцинтиляційного лічильника

помножувача. Таким чином, потік електронів від діода зростає і на останньому електроді (аноді) з'являється у мільйони разів більше електронів, ніж їх вилетіло із фотокатода. Ці електрони створюють у ланцюгу ФЕП імпульс струму, який потрапляє в лічильний пристрій. У сцинтиляційному лічильнику розміщують сцинтиляційний кристал безпосередньо біля вікна ФЕП. При проходженні іонізуючих частинок крізь кристал виникають сцинтиляції навіть при слабких імпульсах. Люмінофор та ФЕП поміщають у світлонепроникний кожух, і єдине джерело світла — сцинтиляції люмінофора.

Іонізаційний метод ґрунтується на вимірюванні іонізації активного об'єму детектора (іонізаційної камери) шляхом виміру електричного струму або газових розрядів, що відбуваються в детекторі під впливом іонізуючого випромінювання. Найпростіша іонізаційна камера являє собою наповнену повітрям колбу з двома електродами, яка живиться від джерела постійного струму. Струм вимірюється чутливим гальванометром. Іонізаційні камери являють собою складову частину багатьох дозиметрів та радіометрів, що використовуються для реєстрації дози, потужності дози, щільності потоку часток.

Електродами можуть бути стінки камери та стержень, закріплений на ізоляторі. Іонізаційні камери бувають плоскими, сферичними, циліндричними та торцевими. Стінки камери роблять з повітряно-еквівалентних матеріалів, тобто 1 г такого матеріалу повинен поглинати стільки ж енергії, як і 1 г повітря. При звичайних умовах газ між електродами є діелектриком і електричний струм не проводить. Якщо заряджена частина проходить між електродами, газ іонізується, створюються вільні електрони і позитивні іони. Під впливом електричного поля іони рухаються між електродами і в ланцюгу виникає іонізаційний струм. Його величина пропорційна кількості іонізуючих випромінювань, що потрапили в іонізаційну камеру. При цьому значення напруги має бути таким, що включає можливість рекомбінації іонів (струм насичення). Струм вимірюється чутливим гальванометром. Іонізаційні камери являють собою складову частину багатьох дозиметрів, що використовуються для реєстрації доз, потужності дози. (Рис. 1.6.,1.7.)

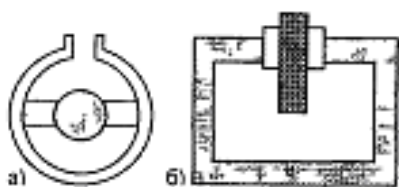


Рис. 1.6. Іонізаційна камера

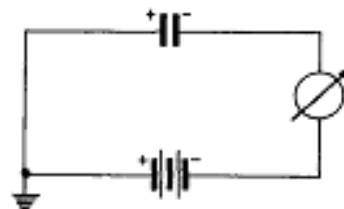


Рис. 1.7. Електрична схема іонізаційної камери

Радіолюмінесцентний (фотолюмінесцентний і термолюмінесцентний) метод вимірювання іонізуючих випромінювань полягає у поглинанні і накопиченні енергії іонізуючого випромінювання спеціальними люмінесцентними детекторами з подальшим перетворенням її на люмінесцентну, інтенсивність якої пропорційна дозі іонізуючого випромінювання і зареєструвати яку можна при термостимуляції (нагріванні), чи фотостимуляції (опроміненні ультрафіолетовим промінням) спеціальним реєструючим приладом. Ця властивість люмінофору пов'язана із зсувом у структурних ґратках кристалу люмінофору. До термолюмінофорів відносяться: LiF , CaF_2 , Al_2O_3 , $\text{Mg}_2\text{B}_4\text{O}_7$ та ін. Як фотолюмінофор використовується, наприклад, алюмофосфатне скло. Люмінофори у вигляді порошку, таблеток, гранул тощо використовуються для визначення накопиченої дози. Наприклад, для індивідуальної дозиметрії термолюмінесцентний детектор (ТЛД) вставляють у футляр і носять із собою, коли знаходяться в полі іонізуючих випромінювань. Після певного часу накопичення дози детектор розміщують у вимірювальному пристрої, нагріваючи до певної температури ($200\text{-}230\text{C}^0$) і на табло або шкалі зі стрілкою визначають накопичену дозу. Детектори

заздалегідь калібрують. Термолюмінесцентні детектори мають широкий енергетичний та дозовий діапазон. Такі детектори багаторазового використання і після відповідної термообробки знову придатні для вимірювання доз.

Фотохімічний метод — один з найстаріших — базується на здатності випромінювань викликати фотоліз галоїдного броміду срібла (AgBr). При проявленні експонованої фотоплівки срібло відновлюється до металічного і обумовлює її почорніння, інтенсивність якого пропорційна поглинутій енергії випромінювання, тобто дозі. Цей метод використовується, головним чином, для реєстрації індивідуальних доз і є досить чутливим, але потребує уніфікації проявлення плівки і певної її марки.

Хімічний метод базується на вимірюванні виходу незворотних радіаційно-хімічних реакцій, що відбуваються під впливом іонізуючих випромінювань у рідких чи твердих системах, які змінюють своє забарвлення внаслідок радіаційно-хімічних реакцій. До таких реакцій відноситься радіохімічна реакція окислення двовалентного заліза у тривалентне. Деякі органічні та неорганічні сполуки теж можуть змінювати свій колір. Зміна забарвлення пропорційна поглинутій у речовині детектора енергії. Метод використовується для реєстрації значних рівнів радіації.

Нейтронно-активаційний метод пов'язаний з вимірюванням наведеної радіоактивності. Застосовується для вимірювання слабких потоків нейтронів або при короткочасній дії великих потоків нейтронів, також має застосування в аварійних ситуаціях. Особливо широке розповсюдження активаційний метод знаходить у геології, коли необхідно по гамма-випромінюванню, що є результатом наведеної активності, виявити наявність металічних включень на певній глибині буріння.

При потраплянні людини у потік нейтронів в її організмі відбувається захоплення ядрами атомів біологічної тканини повільних нейтронів. Тканина стає радіоактивною, що можна визначити за допомогою гамма-лічильників. Під дією нейтронів активуються натрій, калій, фосфор, хлор, сірка, вуглець, кальцій та інші елементи, які містяться в організмі людини. Перші три відіграють найбільшу роль у визначенні доз від дії нейтронів, тому що інші мають короткі періоди напіврозпаду.

Біологічні методи дозиметрії засновані на оцінці реакції, яка виникає у деяких тканинах при опроміненні їх певною дозою, наприклад, виникнення еритеми, кількість хромосомних аберацій, рівень летальності експериментальних тварин, ступінь лейкопенії та інші. Ці методи не досить чутливі і точні, тому найбільшого поширення набули фізичні і хімічні.

Калориметричний метод базується на вимірюванні кількості тепла, що виділяється в детекторі при поглинанні енергії іонізуючого випромінювання і є пропорційним енергії.

Розрахунковий (математичний) метод використовують у клінічній практиці (наприклад при проведенні променевої терапії і інших випадках).

Види і засоби захисту від іонізуючих випромінювань

Існують чотири методи (фактори) захисту від іонізуючого випромінювання:

1. **Захист часом.** Чим менше час контакту з джерелом іонізуючого випромінювання, тим менше отримана доза опромінення.
2. **Захист відстанню.** Чим далі від джерела іонізуючого випромінювання, тим менше отримана доза. Залежність зворотно квадратична, тому що від джерела промені йдуть радіально і розподіляються по сфері, площа якої πR^2 . Таким чином щільність потоку буде зменшуватися пропорційно квадрату відстані. Використовують прилади дистанційного управління.
3. **Захист екранами.** Їх виготовляють з щільних високоатомних матеріалів (цегла, бетон, баритобетон). Якщо потрібен компактний захист, використовується свинець або високоатомний уран (в у-терапевтичних апаратах). Інколи використовуються більш прості матеріали. Наприклад, окуляри для захисту від β -променів виготовляють із органічного скла, а не із просвинцьованого скла, тому що β -частки будуть гальмуватись і утворювати R-промені, які глибше будуть проникати. Тобто для різних видів випромінювання використовуються різні екрани. Альфа-промені може затримати тонкий бар'єр, наприклад, аркуш паперу; високоенергетичні бета-промені не можуть пройти крізь долоню людини, також їх може затримати пластинка алюмінію товщиною декілька мм; гамма-промені здатні проникати глибоко в речовину або проходити крізь товсті бар'єри. Нейтрони краще поглинаються низькоатомними екранами – водою, парафіном.

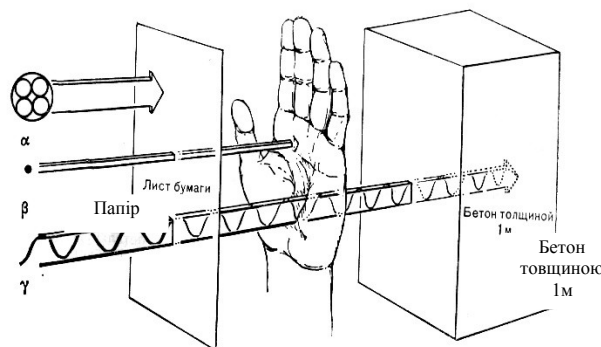


Рис. 1.1. Проникаюча здатність різних видів іонізуючого випромінювання

4. **Захист кількістю.** Чим з меншою потужністю джерела або кількістю РФП працює персонал, тим менша буде доза опромінення. Обов'язково ми

захищаємо і хворого від опромінення, яке йому не потрібне (чим менше ми використовуємо радіоактивного препарату для діагностики, тим краще і для персоналу, і для оточуючих). В рентген-апараті використовується електронно-оптичний підсилювач. Щоб зображення було достатньо яскравим при меншому потоці променів, а доза на хворого і лікаря була меншою, на рентген-трубку підводять струм не 3-4 мА, а 0,3-0,4 мА і цього достатньо для отримання якісного зображення. Особливо це важливо при медичних профілактичних оглядах.

Засоби захисту бувають:

1. Колективні (стіни, вентиляція, ширми).
2. Індивідуальні (окуляри, щиток для захисту обличчя, пальчатки, фартух з просвинцьованої гуми, пластикові бахіли, маска, скафандр).

Регламентуючі документи. Групи населення

Умови і допустимі рівні опромінення населення визначаються Нормами радіаційної безпеки України (НРБУ-97). Виділяються 4 групи радіаційно-гігієнічних регламентів (табл. 1.3).

Табл. 1.3. Групи радіаційно-гігієнічних регламентів

Група регламентів	Мета встановлення	Умови застосування	Основні регламентовані величини
Перша	Обмеження професійного опромінення	Нормальна експлуатація індустриальних джерел	1. Ліміти доз 2. Похідні рівні 3. Допустимі рівні 4. Контрольні рівні
Друга	Обмеження медичного опромінення	Медична практика	Рекомендовані граничні рівні
Третя	Відвертання втручанням доз аварійного опромінення	Радіаційні та радіаційно-ядерні аварії	1. Рівні втручання 2. Рівні дії
Четверта	Відвертання втручанням доз опромінення від техногенно підсиленних джерел	Техногенне підсилення природних джерел	3. Рівні втручання 4. Рівні дії

Радіаційні гігієнічні регламенти першої групи

Ліміти доз – це нормативи, метою яких є обмеження опромінення.

Допустимі рівні - це рівні доз або радіоактивних речовин, які можуть бути на робочому місці, у приміщеннях робочої зони та за їх межами. Регламентується опромінення персоналу категорії А та категорії Б, допустимі дози для всього населення - категорії В. Тут же вказано додаткове обмеження опромінення вагітних жінок та жінок дітородного віку і дітей. В період вагітності не бажано проводити променеві обстеження (тільки по життєвим показанням).

Для того, щоб регламентувати безпечні умови контакту з джерелами іонізуючих випромінювань, виділяють наступні категорії осіб:

Категорія А (спеціалісти) – особи, які працюють безпосередньо з джерелами іонізуючого випромінювання.

Категорія Б (персонал) – спеціалісти, робочі місця яких знаходяться поряд з джерелами іонізуючих випромінювань (наприклад, терапевт, кабінет якого знаходиться поряд з рентген кабінетом).

Категорія В – все населення

Контрольні рівні – це гігієнічно введені рівні для контролю дози опромінення. Якщо в цьому році ми працюємо при граничній дозі, так щоб в майбутньому році ми її не перевищували, незважаючи на те, що є певний ліміт, ми повинні використовувати дози менші лімітованих. Це відноситься до всіх: до персоналу, хворих, оточуючих. При локальному опроміненні ліміти доз більші. До 1997 року допустима доза загального опромінення для персоналу групи А була 50 мЗв/рік, а з 1.01.1998 р. були прийняті менші дози (табл. 1.4).

Табл. 1.4. Ліміти доз опромінення (мЗв/рік)

	Категорія осіб, які зазнають опромінення		
	А ^{а) б)}	Б ^{а)}	В ^{а)}
DL_E (ліміти ефективної дози)	20 ^{в)}	2	1
Ліміти еквівалентної дози зовнішнього опромінення:			
- DL _{lens} (для кришталика ока)	150	15	15
-DL _{skin} (для шкіри)	500	50	50
-DL _{extrim} (для кістей та ступнів)	50	50	-

Примітки:

- а) - дози опромінення за рік регламентуються;
- б) - для жінок дітородного віку (до 45 років) та вагітних жінок доза не вище 2мЗв за два послідовні місяці;
- в) - в середньому за будь-які послідовні 5 років, але не більше 50 мЗв за окремий рік (DL_{max}).

Радіаційно-гігієнічні регламенти другої групи

Медичне опромінення. Населення опромінюється на 70 % за рахунок медичних обстежень. При медичному опроміненні співставляється користь і шкода. Користь діагностичного опромінення повинна бути більша за шкоду від нього. При захворюваннях, які дуже небезпечні для життя людини, дозволяється використовувати більші дози опромінення. Регламентуються тільки діагностичні дози опромінення. Терапевтичні дози - не регламентуються. Лікар вибирає дозу, яка буде найбільш ефективною. Він не повинен допускати застосування не виправдано великих доз, які можуть привести до променевого ураження, за це він несе відповідальність.

Рекомендовані граничні норми медичного опромінення

Категорія АД. Хворі, яким проводяться дослідження з приводу онкологічних захворювань, передракових захворювань, з метою діагностики серцево-судинної патології, ургентні хворі.

Гранично допустима доза (ГДД) - 150 мЗв/рік.

Категорія БД. Хворі, яким проводяться дослідження при соматичних неонкологічних захворюваннях, для встановлення діагнозу, який буде формувати тактику подальшого лікування.

ГДД - 15 мЗв/рік.

Категорія ВД. Онкохворі, яким проводять дослідження після радикального лікування, періодичні обстеження декретованих категорій населення з метою профілактики. Всі інші особи - профілактичні обстеження, волонтери, обстеження у медичних програмах з науковою метою

ГДД - 1 мЗв/рік.

Радіаційно-гігієнічні регламенти третьої групи

Це втручання в умовах радіаційної аварії, коли загрожує опромінення певним людям і необхідно ліквідувати джерело іонізуючого випромінювання. При аваріях є шкода для популяції. Регламентуються рівні втручання і рівні дії. Це кількісні критерії, які забезпечують виконання НРБУ.

Радіаційно-гігієнічні регламенти четвертої групи

Звільнення від практичної діяльності через опромінення в рамках цієї діяльності. Це рівні опромінення чи кількості радіоактивних речовин, які нешкідливі. З ними можна працювати в звичайних умовах, наприклад, в звичайній біохімічній лабораторії. В НРБУ є додатки: допустимі рівні для різних категорій; значення для дистанційного, комплексного опромінення; забруднення шкіри та робочих поверхонь; потенційні шляхи опромінення які можуть бути у разі аварій; рівні втручання; аварійні плани, заходи; термінові, невідкладні та довгострокові контрзаходи.

Основні санітарні правила роботи з джерелами іонізуючих випромінювань в Україні (ОСПУ-2000)

ОСПУ поширюються на всі підприємства і установи, де отримуються, переробляються, застосовуються, зберігаються, знезаражуються та транспортуються штучні та природні радіоактивні речовини та інші джерела іонізуючих випромінювань. Вони включають:

1. Загальні положення.
2. Розміщення установ, в яких передбачається робота з джерелами іонізуючих випромінювань.
 - Вимоги до земельних ділянок, будівельних майданчиків.
 - Вимоги до санітарно-захисної зони, яка обов'язково передбачається в цих установах.
3. Організація робіт із застосуванням джерел іонізуючих випромінювань.
 - Проведення робіт і зберігання джерел іонізуючих випромінювань дозволяється тільки після дозволу спеціальної комісії та видання санітарного паспорту.
 - Визначаються особи, які будуть працювати з джерелами іонізуючих випромінювань, і вони відносяться до категорії А.
4. Отримання, облік, зберігання, перевезення джерел іонізуючих випромінювань.
 - Поставка джерел іонізуючих випромінювань здійснюється тільки на вимогу установи, після узгодження з органами внутрішніх справ.
 - Зберігаються джерела іонізуючих випромінювань в спеціальних сховищах, з суворим обліком їх використання.
5. Робота з закритими джерелами іонізуючих випромінювань.
 - Регламентація роботи з закритими джерелами іонізуючих випромінювань.
6. Робота з відкритими джерелами іонізуючих випромінювань.
 - Регламентація роботи з відкритими джерелами іонізуючих випромінювань.
7. Вентиляція, пилогазоочистка та опалення при роботі з відкритими радіонуклідними джерелами.
8. Водопостачання та каналізація.
9. Збір, видалення та знезараження твердих та рідких радіоактивних відходів.
10. Підтримка та дезактивація робочих приміщень та обладнання.
11. Міри індивідуального захисту та особистої гігієни.
12. Санпропускники і шлюзи.
13. Радіаційно-дозиметричний контроль.
14. Попередження радіаційних аварій та ліквідація їх наслідків.

5. Матеріали для самоконтролю:

А. Питання для самоконтролю

6. Яке місце займає медична радіологія поміж іншими науками?
7. Визначення, цілі та завдання медичної радіології?
8. Які види іонізуючого випромінювання існують? Наведіть усі класифікації.
9. Що являє собою α - випромінювання? Його властивості?
10. Що являє собою β - випромінювання? Його властивості?
11. Що являє собою γ - випромінювання? Його властивості?
12. Що може бути вогнищем іонізуючого випромінювання?
13. Що являє собою радіоактивний розпад? Які його види ви знаєте?
14. Які існують методи захисту від іонізуючого випромінювання?
15. Які існують способи захисту від іонізуючого випромінювання?
16. Що являє собою доза іонізуючого випромінювання?
17. Які завдання вирішує дозиметрія?
18. Які існують методи реєстрації іонізуючого випромінювання??
19. Які існують методи визначення дози?

Б. Тести для самоконтролю з еталонами відповідей.

1. Ліміти доз опромінення (мЗв/рік)

	Категорія осіб, які зазнають опромінення		
	А ^{а) б)}	Б ^{а)}	В ^{а)}
DL_E (ліміти ефективної дози)	20 ^{б)}	2	1
Ліміти еквівалентної дози зовнішнього опромінення:			
- DL _{lens} (для кришталика ока)	150	15	15
- DL _{skin} (для шкіри)	500	50	50
- DL _{extrim} (для кістей та ступнів)	50	50	-

2. Групи радіаційно-гігієнічних регламентів

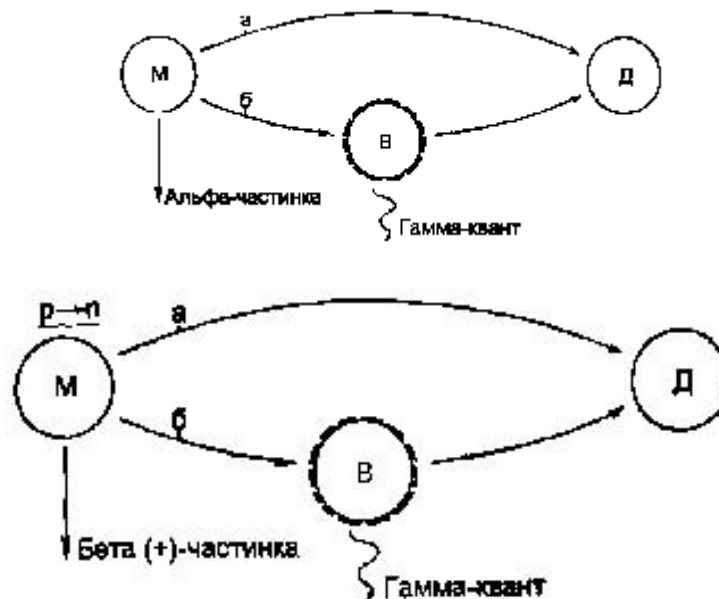
Група регламентів	Мета встановлення	Умови застосування	Основні регламентовані величини
Перша	Обмеження професійного опромінення	Нормальна експлуатація індустриальних джерел	5. Ліміти доз 6. Похідні рівні 7. Допустимі рівні 8. Контрольні рівні
Друга	Обмеження	Медична	Рекомендовані

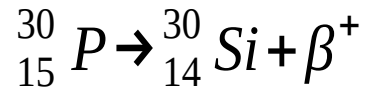
	медичного опромінення	практика	граничні рівні
Третя	Відвертання втручанням доз аварійного опромінення	Радіаційні та радіаційно-ядерні аварії	20.Рівні втручання 21.Рівні дії
Четверта	Відвертання втручанням доз опромінення від техногенно підсилених джерел	Техногенне підсилення природних джерел	22.Рівні втручання 23.Рівні дії

3. Методи визначення радіоактивності та дози

Радіоактивності	Дози
8. Іонізаційний 9. Люмінесцентний (сцинтиляційний) 10. Калориметричний 11. Хімічний 12. Фотографічний (фотохімічний) 13. Біологічний 14. Математичний (розрахунковий)	4. Іонізаційний 5. Сцинтиляційний 6. Товстих емульсій

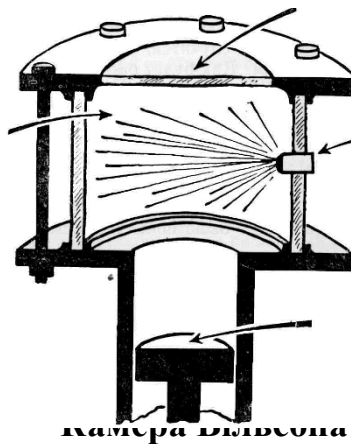
4.



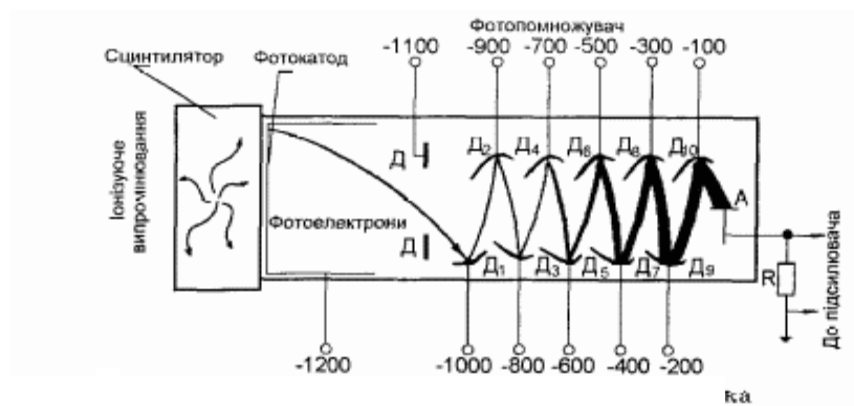


6.

...



7.



/.

8. Основні радіаційні величини та їхні одиниці

Фізична величина	Одиниця, її найменування, позначення (международ., російське)		Співвідношення між одиницями
	позасистемна	СИ	
Активність нукліду в р/а джерелі	Кюри (Ci, Ки)	Бекерель (Bq, Бк)	$1 \text{ Бк} = 2,7 \times 10^{-11} \text{ Ки}$ $1 \text{ Ки} = 3,7 \times 10^{10} \text{ Бк}$

Експозиційна доза випромінювання	Рентген (R, P)	Кулон на кг (C/kg, Кл/кг)	1 К/кг = 3876 Р 1 Р = 2,58 × 10 ⁴ Кл/кг
Потужність експозиційної дози	Рентген за секунду (R/s, P/c)	Ампер на кг (A/Kg, А/кг)	1 А/кг = 3876 Р/с 1 Р/с = 2,58 × 10 ⁻⁴ А/кг
Поглинута доза	Рад (rad, рад)	Грей (Gy, Гр)	1 Гр = 100 рад 1 рад = 0,01 Гр
Потужність поглинутої дози	Рад за секунду (rad/s, рад/с)	Грей за секунду (Gy/s, Гр/с)	1 Гр/с = 100 рад/с 1 рад/с = 0,01 Гр/с
Інтегральна доза	рад · грамм (rad · g, рад · г)	Джоуль (J, Дж)*	1 Дж = 10 ⁵ рад · г 1 рад · г = 10 ⁻⁵ Дж
Еквівалентна доза	Бэр (rem, бэр)	Зиверт (Sv, Зв)	1 Зв = 100 бэр 1 бэр = 0,01 Зв
Потужність еквівалентної дози	Бэр за секунду (rem/s, бэр/с)	Зиверт за секунду (Sv/s, Зв/с)	1 Зв/с = 100 бэр/с 1 бэр/с = 0,01 Зв/с

Рис. 1.5. Принципова схема сцинтиляційного лічильника

9.

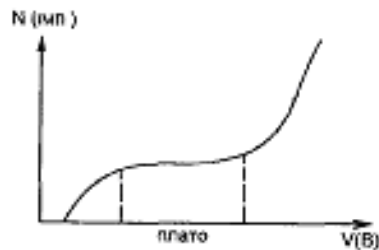


Рис. 1.4. Залежність розрізнявальної спроможності лічильника Гейгера-Мюллера від напруги.

5. Інформацію, необхідну для формування знань-вмінь можна знайти у підручниках

-основна

1. Радіаційна медична // за ред.проф. А.Б. Лазарь, Київ, “Здоров’я”, 2015, с.33 – 35

-додаткова

2. Методичні рекомендації “Оцінка доз внутрішнього випромінювання населення з застосуванням лічильників”, Київ, 2018, с. 19

3. Методичні рекомендації по дозиметричному контролю, Київ, “Здоровья”, 1989, с. 39

6. Матеріали для аудиторної самостійної підготовки:

6.1. Перелік навчальних практичних завдань, які необхідно виконати під час практичного (лабораторного) заняття:

1. Знати основи ядерної фізики (види іонізаційних випромінювань, одиниці виміру, дозиметрію).
2. Рішати задачі з ядерної фізики.
3. Вірно обирати способи та методи захисту від основних видів іонізуючого випромінювання.
4. Користуватись основними типами радіометрів та дозиметрів.
5. Обґрунтовувати застосування дозиметру або радіометру в різних умовах.
6. Засвоїти основні фізичні одиниці, які використовуються у променевої діагностиці та терапії

7. **Тема наступного заняття:** «Підсумковий контроль засвоєння дисципліни».

8. Завдання для УДРС та НДРС з теми наступного заняття:

Види іонізуючого випромінювання (корпускулярні та фотонні). Залежність властивостей іонізуючого випромінювання від довжини хвилі. Види властивостей іонізуючого випромінювання: велика енергія, велика проникаюча здатність, іонізуюча здатність — здатність утворювати багато пар іонів при взаємодії з атомами середовища, фотохімічна здатність активувати молекули бромиду срібла або інших хімічних сполук, люмінесцентна здатність викликати світіння деяких речовин, теплова дія – здатність енергії іонізуючого випромінювання перетворюватись на тепло, сильно виражена біологічна дія. Радіоактивність. Види захисту від іонізуючого випромінювання (часом, відстанем, екраном, кількістю). Засоби захисту від іонізуючих випромінювань (колективні і індивідуальні). Радіаційні гігієнічні регламенти.

Методичні рекомендації склав _____ ас. Дойкова К.М.