Лекція “Радіоактивність і дозиметрія іонізуючого випромінювання”

Сибіль М. Г.

План:

1. Елементи фізики атомного ядра.
2. Радіоактивність.
3. Види радіоактивного розпаду.
4. Біологічна дія іонізуючого випромінювання.
5. Дозиметрія іонізуючого випромінювання.
6. Використання ядерних випромінювань в медицині.
7. Медицина і фізика.

1.Елементи фізики атомного ядра

Ядро атома. Існування атомного ядра виявив Е. Резерфорд, який досліджував проходження а-частинок з великою енергією через тонкі плівки золота.

Ядро — це центральна частина атома, у якій зосереджена майже вся його маса. Заряд ядра додатний. Атомне ядро складається з протонів і нейтронів , що вважаються двома зарядовими станами однієї частинки — нуклона.

Заряд протона дорівнює заряду електрона (1,6*10“19 Кл), а його маса— 1,6726* 10“27 Кл.

Загальну кількість нуклонів у ядрі називають його масовим числом. Ядра, що мають однакову кількість протонів, але різне масове число (різна кількість нейтронів), називають ізотопами. З'ясовано, що ізотопи одного і того самого хімічного елемента мають однакові хімічні та фізичні властивості (винятком є ізотопи водню). Вони визначаються переважно структурою електронних оболонок, яка в усіх ізотопів одного елемента є однаковою.

Величина ядра характеризується його радіусом. Густина речовини ядра становить приблизно 1027 кг/м3, що істотно більше від густини будь-якої твердої речовини.

Радіонукліди. Не всі ізотопи хімічних елементів стабільні. Деякі з них з часом розпадаються. їх називають радіоактивними. Ядра радіоактивних ізотопів називають радіонуклідами. Ядро атома має власний момент імпульсу — спін. Ядра з парним масовим числом мають цілий спін, а з непарним — півцілий. Ядерні частинки мають власні магнітні моменти, які визначають магнітний момент ядра.

Ядерні сили. Нуклони у ядрі розміщені на дуже малій відстані одні від одних (~10"15 м). Сили зв'язку, які діють між нуклонами всередині ядра, називають ядерними.

Енергія зв'язку. Енергія зв'язку ядра визначається роботою, яку потрібно виконати, щоб розщепити ядро на нуклони без надання їм кінетичної енергії. Така сама енергія має виділитись у результаті утворення ядра. Енергія зв'язку дорівнює різниці між енергією всіх вільних нуклонів і їхньою енергією в ядрі. Утворення ядра супроводжується зменшенням його маси: маса яд ра менша від

суми мас нуклонів у ньому.

Питома енергія. Енергію, яка припадає на один нуклон, називають питомою енергією зв'язку. Стійкість атомних ядер визначається співвідношенням між кількістю протонів і нейтронів у стійкому ядрі.

Ядерні сили дуже короткодіючі, залежать від орієнтації спінів взаємодіючих нуклонів і не є центральними силами.

2.Радіоактивність

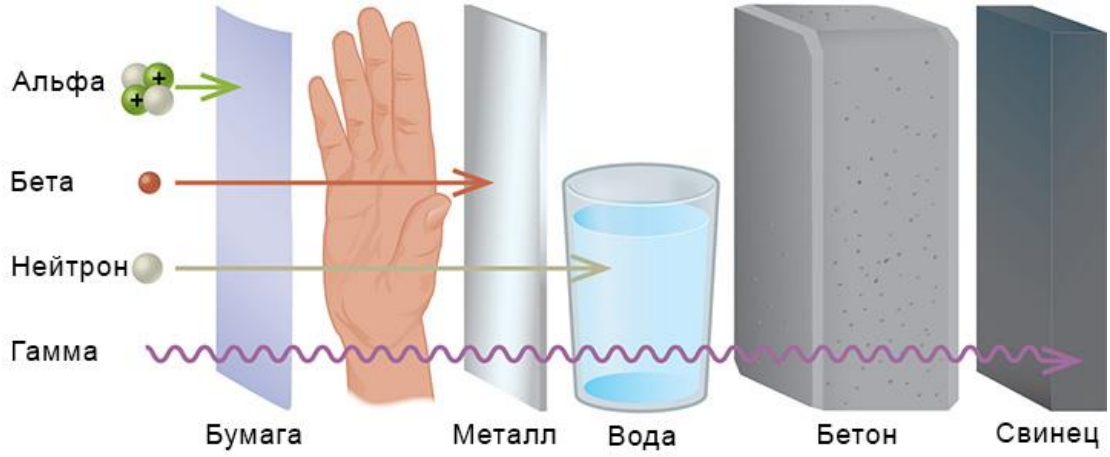
Природна радіоактивність. Ядра важких елементів мають велику кількість нуклонів, ядерні сили не забезпечують їх стійкості. Такі ядра можуть самовільно розпадатися, перетворюючись у ядра більш стійких елементів. Це явище називають природною радіоактивністю.

Види радіоактивного випромінювання. Перетворення ядер завжди супроводжується випромінюванням. Склад цього випромінювання визначили, діючи на нього сильним магнітним полем. Розрізняють три види радіоактивного випромінювання:

• α-промені — це потік позитивно заряджених частинок, ядер гелію

• β-промені — потік заряджених частинок з малою масою (електронів та протонів);

• γ-випромінювання — електромагнітне випромінювання, потік фотонів з високою частотою та великою енергією.



мал. 1 Види випромінювання

Радіоактивний розпад ядра — це випадковий процес, зумовлений лише внутрішньою будовою ядра. На швидкість розпаду не можна вплинути ні зміною температури чи тиску в речовині, ні дією електромагнітного поля. Неможливо наперед зазначити момент розпаду певного ядра. Однак для великої кількості однакових ядер можна визначити ймовірність їх розпаду. Значення ймовірності залежить лише від природи ядра.

Тривалість життя ядра. Період напіврозпаду виражає закон радіоактивного розпаду, згідно з яким кількість ядер, які ще не розпалися, зменшується за експоненціальним законом. Інтенсивність розпаду характеризується періодом напіврозпаду ядра.

Період напіврозпаду — це час, протягом якого розпадається в середньому половини ядер. Періоди напіврозпаду для природних радіоактивних елементів коливаються в межах від часток секунди до багатьох мільярдів років. Таким чином, тривалість життя ядра обернена до сталої розпаду.

Досліджуючи ланцюг радіоактивних перетворень, можна побачити, що інтенсивність випромінювання різних радіоактивних речовин

різна, тобто в різних речовинах за одиницю часу розпадається різна кількість ядер. Активність. Кількість ядер радіоактивної речовини, які розпадаються за одиницю часу, називається активністю. Із розпадом ядер активність певної маси елемента зменшується за законом.

3. Види радіоактивного розпаду.

α -розпад полягає в самочинному перетворенні важких ядер з випромінюванням α-частинок. α-частинки покидають ядро зі швидкістю декілька тисяч км/с. Свою енергію вони витрачають на іонізацію та збудження молекул, утворюючи в повітрі до 50 000 пар іонів на одному сантиметрі шляху.

β-розпад властивий ядрам, нестабільність яких пов’язана з несприятливим співвідношенням кількості протонів та нейтронів . Якщо в ядрі переважає кількість нейтронів, то відбувається електронний β-розпад ядра; один нейтрон перетворюється у протон і електрон: електрон викидається, тоді в ядрі стає стійкішим співвідношення між нуклонами. Водночас з ядра викидається нейтральна частинка з дуже малою масою — антинейтрино.

Позитронний β-розпад. Якщо у ядрі більше протонів, ніж нейтронів, то відбувається позитронний розпад. Позитронний β-розпад спостерігається в деяких штучно отриманих ізотопах. У β-випромінюванні одного і того самого елемента наявні частинки з різною енергією, тому спектр цього випромінювання суцільний.

Перетворення протона в нейтрон можливе також у результаті захоплення ядром одного з електронів із найближчої орбіти. Це явище називають

електронним або К-захопленням. На відміну від α-частинки, β-частинки розсіюються також на електронах. Кут розсіювання може перевищувати 90°. Пробіг β-частинок у повітрі становить від 10 см до декількох метрів, у воді та живій тканині — декілька міліметрів.

Іонізуюча здатність α-частинок у 1000 разів більша, ніж β-частинок (~ 50 пар іонів/см). Під час проходження через середовище β-випромінювання зумовлює процеси збудження та іонізації і, як на слідок, хімічні, фотохімічні, біологічні та інші ефекти. Результати підрахунків свідчать, що для зменшення інтенсивності β-випромінювання вдвічі потрібний шар алюмінію товщиною

0,4 мм (рЛ = 2,7кг/м3) або шар води товщиною 1,1 мм.

Тривалість життя позитрона мала, він взаємодіє з електроном і в результаті утворюються два γ-фотони. β-частинка, втрачаючи енергію, може перебувати у вільному тепловому русі або приєднатись до атома й утворити негативний іон.

γ-фотони мають велику проникну здатність. У тканини організму γ-випромінювання проникає на велику глибину або проходить крізь тіло людини. Іонізуюча здатність γ-випромінювання невелика (декілька пар іонів на 1 см). Втрачаючи енергію, γ-фотон поглинається електроном, з яким він востаннє зіткнувся.

Для кількісної оцінки взаємодії радіоактивних частинок з речовиною вводять питому густину іонізації, питому гальмівну здатність та лінійний пробіг.

Лінійна густина іонізації — це кількість пар іонів, утворених на одиниці пробігу частинки. Чим вищий порядковий номер і більша густина речовини, тим з більшою кількістю електронів стикається частинка на одиниці шляху і

тим інтенсивнішою є іонізація й меншою глибина проникання її у речовину. Питома гальмівна здатність — це втрата енергії частинкою на одиниці шляху.

Лінійний пробіг частинки - визначається шляхом, пройденим нею до повної втрати іонізуючої здатності.

Взаємодія частинок з речовиною залежить від їхньої енергії, природи, виду та стану речовини. Усе сказане вище є важливим для розробки методів захисту від іонізуючого випромінювання.

4. Біологічна дія іонізуючого випромінювання

Основною ареною дії іонізуючої радіації на живі системи є клітина та її органели, складна структурно-функціональна організація яких впливає на кінцевий результат дії не менше, ніж енергія, швидкість та маса іонізуючих частинок.

У результаті дії смертельних доз радіації клітина під мікроскопом виглядає так само, як коли б вона була вбита високою температурою або сильною отрутою; порушується цілісність і гладкість її оболонки (плазматичної мембрани), мембран ядра та інших клітинних органел; ядро ущільнюється, розривається або розпушується.

За меншої дози радіації клітина залишається живою, проте в її органелах відбу ваються істотні зміни і, насамперед, у клітинному ядрі. Ядро зберігає спадкову інформацію власне клітини, цілого організму і навіть біологічного виду, передає цю інформацію від клітини до клітини, від організму до організму, забезпечуючи зв’язок поколінь. Усі види іонізуючого

випромінювання виявляють біологічну дію, в основі якої є різні взаємопов'язані реакції, що зумовлюють функціональні та морфологічні зміни в живих клітинах, органах та в організмі загалом.

Людина зазнає дії радіації двома шляхами — внутрішнім та зовнішнім. Внутрішнє опромінення зумовлене потраплянням в організм радіонуклідів та накопиченням їх у певних органах і тканинах. За однакової інтенсивності джерел внутрішнє опромінення більш небезпечне, ніж зовнішнє, тому що зі збільшенням тривалості опромінення зменшується відстань між випромінювачем та тканинами. Внутрішні органи не мають захисного покриття (типу шкіри) і є беззахисними перед частинками з високою густиною іонізації.

Більш ніж 90 % радіонуклідів надходить в організм людини з продуктами харчування та водою і значно менше — з повітрям. Найнебезпечнішими радіонуклідами є стронцій та цезій, які дуже активно впливають на біологічні цикли і мають великий період напіврозпаду.

Вутрішнє опромінення залежить від кількості радіонуклідів, що потрапили в організм, ступеня їх розчинності та всмоктування, характеру розподілу в органах і тканинах, а також від швидкості розпаду і виведення з організму. Всмоктування та розподіл радіонуклідів в організмі залежать від їхньої фізико-хімічної природи. Стронцій, цирконій накопичуються переважно в кіс тках, церій і лантан — у печінці, кобальт-60 — у шлунково-кишковому тракті та легенях, цезій-137 — у печінці, селезінці та м'язовій тканині, йод-131 — у щитоподібній залозі.

Така вибіркова концентрація радіонуклідів у життєво важливих органах

призводить до їх тривалого опромінення. Органи, які найбільше опромінюються внаслідок накопичення в них радіонуклідів, називають критичними.

Активність радіонуклідів зменшується внаслідок розпаду ядер і біологічного виведення їх з організму. Час, протягом якого активність радіонуклідів зменшується вдвічі в результаті фізичного розпаду та виведення з організму, називають ефективним періодом напіввиведення. Іонізуюче випромінювання, діючи на ядра та хромосоми клітин, зумовлює зміну генетичної інформації внаслідок впливу на основні спадкові фулекції організму.

Радіочутливість. Усі живі організми мають різну радіочутливість. Наприклад, деякі бактерії, віруси здатні переносити великі дози радіації — 100... 10 000 Гр. Істотно меншою є стійкість до іонізуючого випромінювання в людини; смертельна доза радіації для людини 6±1 Гр. З'ясовано, що, починаючи з дози в 1 Гр, іонізуюче випромінювання негативно впливає на організм людини; гранично допустима доза зовнішнього опромінення за рік — до 5 Р.

Дію іонізуючого випромінювання на організм можна поділити на три етапи: 1) триває тисячні й мільйонні частки секунди і характеризується фізико-хімічною дією. Поглинання великої енергії випромінювання зумовлює утворення іонізованих, активних у хімічному відношенні атомів і молекул. Виникають радіаційно-хімічні реакції, внаслідок яких розриваються хімічні зв'язки та утворюються вільні радикали. Вільні радикали мають велику хімічну активність і вступають в реакції з ферментами та тканинними білками, окиснюючи та відновлюючи їх; порушуються біохімічні та обмінні процеси в органах і тканинах та накопичуються шкідливі для організму речовини; руйнуються

білкові молекули, порушується дія ферментних систем та тканинне дихання;

2) триває від декількох секунд до декількох годин і пов’язаний з дією іонізуючого випромінювання на клітини організму. Внаслідок цього ушкоджуються структурні елементи ядер клітин, насамперед ДНК, ушкоджуються хромосоми, які є носіями спадкової інформа ції, виникають хромосомні аберації, що зумовлюють онкогенні та генетичні зміни;

3) характеризує вплив випромінювання на організм загалом. Наслідки цього впливу можуть виявлятися через кілька хвилин, далі посилюватись і реалізовуватись через багато років. Найбільш чутливими до радіації є кровотворна система, формені елементи крові, лімфоцити, залози кишок, статеві органи, епітелій шкіри та кришталик ока, а менш чутливі — хрящі, внутрішні органи, м’язи, нервові клітини. Ушкоджувальна дія радіації залежить від дози опромінення, її по тужності, тобто навіть великі дози, діючи тривалий час, спричиняють менше ушкодження, ніж такі самі дози, поглинуті за короткий час.

Велика загроза зовнішнього опромінення зумовлена наявністю у довкіллі високої концентрації йоду-131. Засобом проти акумуляції радіоактивного йоду в органах і тканинах, особливо в щитоподібній залозі, є вживання його нерадіоактивних аналогів, наприклад йодиду калію. Їжа має бути різноманітною, повноцінною, містити вітаміни, мікро- і макроелементи (натрій, калій, кальцій, фосфор тощо), які є конкурентними антагоністами певних радіонуклідів.

Наприклад, кальцій є іонним конкурентом радіоактивних стронцію і радію. Тому достатня кількість кальцію в організмі зменшує акумулювання стронцію і

радію та пришвидшує їх виведення з організму. Конкурентом цезію-137 є калій. Споживаючи продукти, які містять багато калію (баклажани, горох, картопля, помідори тощо), можна зменшити накопичення радіоактивного цезію в критичних органах. Вітаміни є антиоксидантами і захищають біологічні речовини від окиснення. Чим менше в клітинах кисню, тим вони менш чутливі до дії радіації. Слід споживати продукти, які багаті на вітаміни А, Е, Р, С, групи В.

Існують також хімічні препарати, які захищають людину від дії радіації. їх називають радіопротекторами. Ці речовини зменшують радіочутливість організму, сповільнюють радіохімічні реакції, захищають від ушкодження ферменти, нейтралізують вільні радикали.

Захист від зовнішнього рентгенівського, γ- та нейтронного випромінювання здійснюється завдяки комбінації трьох чинників: часу, відстані, екрану.

Між тривалістю дії випромінювання та поглинутою дозою виявляється лінійна залежність. Інтенсивність дози зменшується пропорційно до квадрата відстані від джерела випромінювання.

Екрани для захисту від рентгенівського та у-випромінювання добирають, беручи до уваги густину речовин, а також концентрацію в них електронів. Для цього найкраще використовувати свинець.

Захист від нейтронів забезпечують речовини, які містять компоненти, що поглинають нейтрони, наприклад бор, кадмій тощо.

5. Дозиметрія іонізуючого випромінювання

Дозиметрія — це розділ ядерної фізики, який кількісно вивчає

дію іонізуючого випромінювання на речовину.

Поглинута доза — енергія іонізуючого випромінювання, поглинута одиницею маси речовини.

Експозиційна доза. Практично цю дозу визначити важко, тому оцінюють дію поглинутої тілом дози іонізуючою дією випромінювання в повітрі, яке оточує тіло. Експозиційна доза рентгенівського або γ-випромінювання визначається сумарним за рядом іонів одного знаку, утворених випромінюванням в одиниці маси сухого повітря внаслідок його повної іонізації. Дія випромінювання на організм залежить не лише від поглинутої енергії, а й від швидкості зростання дози. Коефіцієнт дає змогу судити про розподіл отриманої дози опромінення між різними тканинами та органами людського тіла.

Еквівалентна доза. Біологічна дія іонізуючого випромінювання залежить від його виду. Для оцінювання біологічної дії в дозиметрії порівнюють ефекти дії різних випромінювань з ефектами, зумовленими дією рентгенівських або γ-променів. Вводиться еквівалентна доза. Коефіцієнт якості де к — коефіцієнт якості, що означає в скільки разів біологічна дія певного виду випромінювання сильніша від дії рентгенівського або γ-випромінювання. Одиницею еквівалентної дози в СІ є зіверт (Зв), а позасистемною — бер: 1 Зв = 100 бер. Гранично допустимою дозою вважають 5 бер протягом року. Радіоактивний фон природного та штучного походження відповідає еквівалентній дозі -0,1 бер за рік.

Радіочутливість. Тканини та органи людського тіла мають різну радіочутливість, тобто різною є біологічна дія випромінювання на ці тканини та

органи. Тому вводять також ефективну еквівалентну дозу. Вимірюється ефективна еквівалентна доза теж у зівертах. Сума значень індивідуальних доз усіх осіб, підданих опроміненню, є кількісною оцінкою ефекту дії випромінювання на групу людей з метою радіаційної безпеки. Одиницею колективної дози є людино-зіверт.

Дозиметри. Важливе практичне значення мають способи і методи вимірювання іонізуючого випромінювання. Для цього використовують дозиметри, які реєструють дозу або потужність випромінювання. Індивідуальний дозиметричний контроль потрібний для оцінювання та обмеження дози зовнішнього та внутрішнього опромінення людей, які потрапляють у сферу його дії.

Для контролю за зовнішнім опроміненням використовують дозиметри, у яких є конденсаторні камери, спеціальні фотоплівки, термолюмінесцентні елементи. Контроль за внутрішнім опроміненням, тобто за потраплянням радіоактивних речовин в організм або їх вмістом у різних критичних органах здійснюється шляхом реєстрації радіоактивності біологічних систем в організмі — крові, сечі тощо.



Мал. 2 Дозиметр

6. Використання ядерних випромінювань у медицині

Метод мічених атомів. Атоми радіоактивних ізотопів — це своєрідні генератори випромінювання, яке можна зареєструвати та визначити його локалізацію. На цьому ґрунтується метод мічених атомів, що використовується в біологічних та медичних до слідженнях. Усередину досліджуваного об’єкта вводять радіоактивні ізотопи, а до поверхні тіла щільно прикладають фотоплівку. Ізотопи випромінюють γ-частинки, під дією яких фотоплівка чорніє, особливо на тих ділянках, де вони найбільш сконцентровані. Цей метод дослідження називають авторадіографією.

Якщо об’єкт має великі розміри, то використовують сканування: дозиметр повільно пересувають над об’єктом і реєструють місця накопичення

радіоактивних ізотопів. Метод мічених атомів використовують для діагностики захворювань. Наприклад, ізотопи застосовують для діагностики захворювань щитоподібної залози. Цим методом досліджують обмін речовин в організмі, а саме: шляхи міграції, накопичення цукрів, інсуліну, глюкози; процеси всмоктування та засвоєння, перетравлювання жирів, білків, вуглеводів.

З'ясовано, що до ЗО % фосфору в скелеті може поновитися за одну добу; обмін азоту відбувається від 3—4 днів до 1—2 тиж.; кальцій у різній кількості накопичується в молодих (90 %) та старих кістках.

Кобальтова «гармата». Радіоактивні ізотопи застосовують у лікуванні злоякісних пухлин. Основою радіотерапії пухлин є істотна різниця в радіочутливості нормальних і ракових клітин. Коли пухлини розвиваються, їхні клітини діляться. У такому стані вони особливо чутливі до дії радіації. З фізичного погляду це явище пояснюється тим, що молоді клітини містять багато води, яка вктивно взаємодіє з випромінюванням. Особливо часто використо вують у-опромінювання, отримане в результаті розпаду радіоактивного кобальту. Препарат розмішують у спеціальному опромінювачі — кобальтовій «гарматі», чим забезпечується певна спрямованість та дозування випромінювання.

Родонова терапія — це використання мінеральних вод, які містять родон та його продукти, для лікування шкіри (родонові ванни), органів травлення (пиття) та дихання (інгаляції).

В онкології застосовують комбінацію α-частинок з потоками нейтронів. У пухлину вводять елементи, ядра яких під впливом

потоків нейтронів спричиняють ядерну реакцію з утворенням α-випромінювання. У результаті α-частинки і ядра віддачі утворюються в тій ділянці органа, яку потрібно піддати дії радіації.

Застосовують також внутрішнє введення радіоактивних препаратів, наприклад ізотопу фосфору (32P), який концентрується в кістковій тканині, що сприяє нормалізації порушеного кровотворення.

Іноді в пухлину механічно вводять активні нукліди. Вони мають високу іонізуючу здатність, тому сприяють руйнуванню клітин пухлини. Для отримання заряджених частинок з великою енергією використовують прискорювачі — циклотрони, синхротрони.

Зміни радіоактивного фону, а також стану магніто- та іоносфери Землі негативно впливають на екологію і стан біосфери. Техногенні джерела випромінювань, які широко використовує людство, також негативно впливають на екологічний стан нашої планети. Вивчення цих впливів сприяє збереженню біосфери.

7.Медицина і фізика

Радіація — явище потенційно небезпечне, тому опромінення людини підлягає контролю і нормуванню; радіаційну дію слід утримувати на допустимому безпечному рівні.

Загальна кількість поглинутої тканинами енергії може бути невеликою, але деякі клітини через нерівномірний розподіл її можуть істотно ушкоджуватися. Дія іонізуючого випромінювання на біологічні об’єкти може бути прямою (утворення вільних радикалів унаслідок збудження та іонізації молекул) та

опосередкованою (радіоліз води, продукти якого вступають у хімічну реакцію з молеку лами біологічної системи).

Діє радіоактивне випромінюваннння на спадковий апарат клітин, поділ клітин. Різні органи мають різну радіочутливість. Найбільш небезпечна ситуація виникає у випадку накопичення в організмі ізотопів, які випромінюють а-частинки з високою густиною іонізації.

Мічені атоми використовують у радіоізотопній медицині: для вимірювання об'єму рідини, який недоступний прямому вимірюванню, визначення об’єму плазми або еритроцитарної маси крові, міченої радіоактивним хромом. Радіоактивний аналіз — це метод визначення дуже низької концентрації гормонів у крові та шлунковому соку.

Середні дози радіоактивних ізотопів використовують для усунення патологічних утворень, а малі — для діагностики та досліджень. Захист від дії іонізуючого випромінювання залежить від його виду та енергії і здійснюється екрануванням, збільшенням відстані, зменшенням часу дії, а також використанням радіопротекторів, вітамінів, деяких макроелементів — антагоністів радіонуклідів.

Радіонуклідні методи дослідження дають змогу отримати унікальну інформацію про структурні та функціональні зміни в органах у нормі й патології, оцінити ефективність здійснених лікувальних заходів. Діагностичні можливості цих методів зростають у міру удосконалення радіологічної апаратури та створення нових радіофармацевтичних препаратів і в майбутньому сфера застосування іонізуючого випромінювання буде розширюватись і

застосовуватись в більшій мірі.

 *Літнарович Р.*М. Фізика з основами геофізики. Курс лекцій. МЕГУ, Рівне, 2007.-78 с.

 *Літнарович Р.*М. Фізика з основами геофізики. Лабораторний практикум. Частина 1. МЕГУ, Рівне, 2007.-44с.

 *Літнарович Р.*М. Фізика з основами геофізики. Лабораторний практикум. Частина 2. МЕГУ, Рівне, 2008.-48с.