



Радіаційна безпека: європейсько-український підхід

2023-2025

Івано-Франківськ/Краків

Коцюбинський Володимир Олегович /
Бойчук Володимира Михайлівна/Кобецька Надія Романівна/
Туровська Лілія Вадимівна/ Паращук Тарас Олексійович



101127143 — RISE-UP — ERASMUS-JMO-2023-HEI-TCH-RSCH



Радіаційна безпека: європейсько-український підхід



Стратегічною метою курсу є побудова платформи (теоретичний курс, практичні заняття, інформаційний веб-сайт), яка б поєднувала в собі інформаційну, освітню та нормативну складові, що сприятиме формуванню об'єктивної та виправданої позитивної громадянської позиції у питаннях використання ядерної енергії та джерел іонізуючого випромінювання з точки зору необхідності дотримання певних заходів безпеки та правил, які дозволять їх ефективне та безпечне використання.

Тактичною метою курсу є формування у студентів системи міждисциплінарних знань про природу радіоактивного випромінювання, фактори ризику, біологічні ефекти, характеристики іонізуючого випромінювання, радіаційну гігієну та радіаційний захист у контексті необхідності забезпечення реалізації державної політики України у сфері радіаційної безпеки щодо приведення норм і законодавчих актів у відповідність до вимог ЄС. Реалізація цілей курсу відбуватиметься в рамках пріоритетів, визначених Європейською Комісією.

Концепція курсу передбачає формування та роботу за трьома напрямками – фізико-технічним, біологічним і медичним та юридично-нормативним із формуванням спільних висновків і можливістю поглибленого вивчення одного з трьох напрямків. У курсі буде максимально використано існуючий кращий досвід, зокрема рекомендації Міжнародного агентства з атомної енергії, щодо змісту навчального плану курсу з радіаційного захисту та безпеки джерел випромінювання з акцентом на актуальні питання та практичні результати навчання. Кожна частина реалізації проекту матиме певну методологію.



101127143 — RISE-UP — ERASMUS-JMO-2023-HEI-TCH-RSCH



Рахунок за електроенергію, січень 2024 року

№ з/п	Частка джерела енергії, використаного для виробництва електричної енергії, %	Розрахунковий рік 2023
1	Вугілля	5,05 %
2	Природний газ	3,04 %
3	Ядерне паливо	58,9 %
4	Гідроенергія (об'єкти великої гідроенергетики)	15,32 %
5	Відновлювані джерела енергії	10,72 %
6	Інші джерела	6,97 %
Вплив на навколишнє середовище спричинений виробництвом електроенергії за 2023 рік		
1	CO2 викиди (г/кВт-год) *	
2	Радіоактивні відходи (г/кВт-год або в м.-3 / кВт-год) *	?

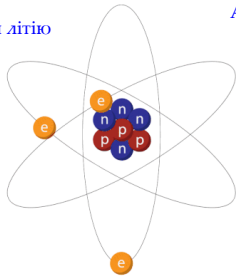
* Інформація у Товаристві відсутня



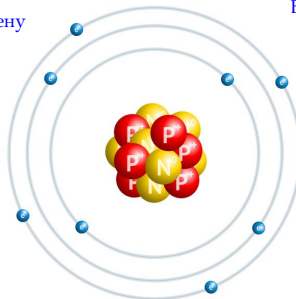
3

Атом. Електрон. Протон. Електромагнітна хвиля

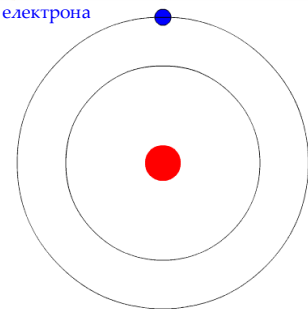
Атом літію



Атом оксигену

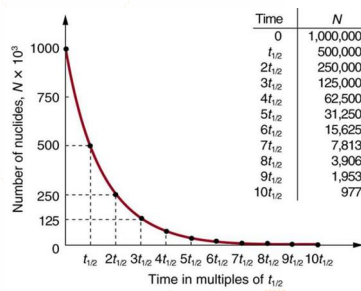


Виникнення електромагнітної хвилі при зміні енергії електрона



The half-lives of some radioactive isotopes

Radioactive isotope	Half-life
Uranium-238, $^{238}_{92}\text{U}$	4.5×10^9 years
Carbon-14, $^{14}_6\text{C}$	5.7×10^3 years
Radium-226, $^{226}_{88}\text{Ra}$	1.6×10^3 years
Strontium-90, $^{90}_{38}\text{Sr}$	28 years
Iodine-131, $^{131}_{53}\text{I}$	8.1 days
Bismuth-214, $^{214}_{83}\text{Bi}$	19.7 minutes
Polonium-214, $^{214}_{84}\text{Po}$	1.5×10^{-4} seconds

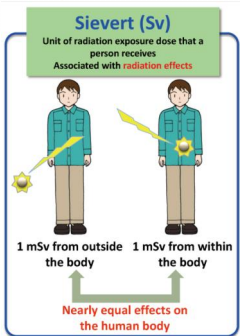


4



Quantities and Units of Radiation. Equivalent dose.

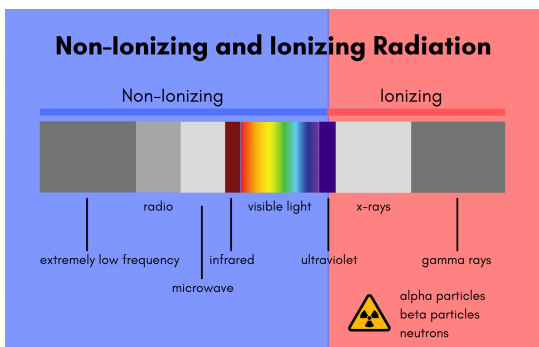
Еквівалентна доза (символ НТ) — це величина дози, розрахована для окремих органів(індекс Т – тканина). Еквівалентна доза базується на поглиненій дозі органу, скоригованій з урахуванням ефективності типу випромінювання.Еквівалентна доза позначається символом НТ.



Одиницею СИ НТ є зіверт (Зв)

1 зіверт - еквівалентний біологічний ефект створюваний гамма-променями з енергією 1 джоуль в 1 кілограмі тканин людського тіла.

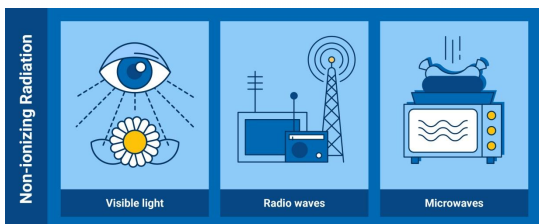
1 зіверт — велика еквівалентні дози. Людина, яка поглинула дозу в 1 Зв поглинула один джоуль енергії на кожен кілограм тіла (у випадку гамма-променів).

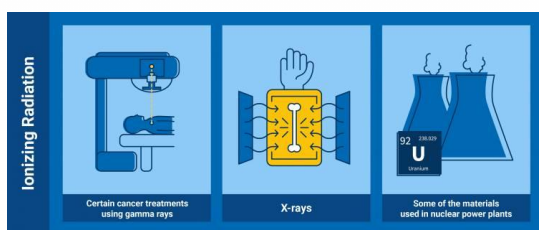
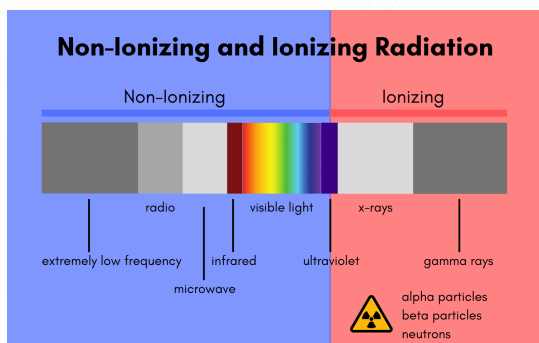


Неіонізуюче випромінювання

Люди щодня користуються джерелами **неіонізуючого випромінювання** і піддаються впливу неіонізуючого випромінювання. Ця форма випромінювання не несе достатньо енергії для іонізації атомів чи молекул. Мікрохвильові печі, системи глобального позиціонування, мобільні телефони, телевізійні станції, FM- і AM-радіо, бездротові телефони, відкривачі гаражних дверей і радіоприймачі - всі вони використовують неіонізуюче випромінювання. Інші форми включають магнітне поле Землі та вплив магнітного поля від ліній електропередач, побутової електропроводки та електроприладів.

Вони визначаються як хвилі надвисокочастотного випромінювання (НВЧ).





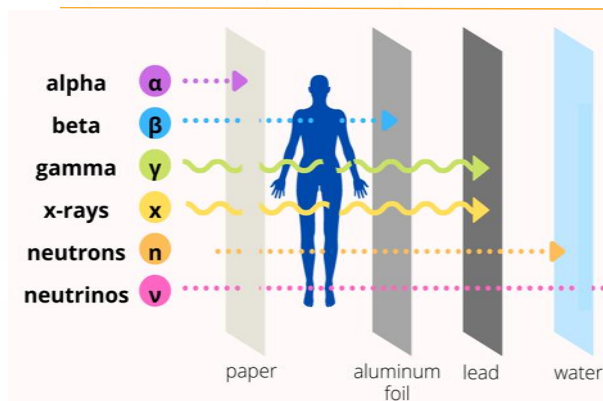
Іонізуюче випромінювання

Іонізуюче випромінювання - це вид випромінювання з такою енергією, що здатне «відривати» електрони від атомів або молекул, що викликає зміни на атомному рівні при взаємодії з речовиною, включаючи живі організми. Такі зміни пов'язані з утворенням іонів - звідси і термін "іонізуюче" випромінювання. У високих дозах іонізуюче випромінювання може пошкодити клітини чи органи нашого тіла або навіть спричинити смерть. При правильному використанні та дозах, а також при дотриманні необхідних заходів захисту, цей вид випромінювання має багато корисних застосувань, наприклад, при виробництві енергії, в промисловості, в наукових дослідженнях, а також у медичній діагностиці та лікуванні різних захворювань, таких як рак.



7

Проникнення радіації



Альфа-частинки взаємодіють з речовиною переважно через кулонівські сили між їхнім позитивним зарядом і негативним зарядом атомних електронів у поглиначі. Товщини аркуша паперу достатньо, щоб зупинити всі альфа-частинки

Бета-частинки також взаємодіють через кулонівські сили з атомними електронами. Бета-частинки мають набагато більшу швидкість завдяки меншій масі, і в зіткненнях беруть участь менші імпульси.

Таким чином, бета-частинки проникають у речовину значно глибше, ніж альфа-частинки, але через природу кулонівських взаємодій бета-частинки також зупиняються невеликою кількістю речовини (порівняно з гамма-частинками).

Гамма-промені є найбільш проникаючим типом випромінювання від радіоактивного розпаду. Свинцевий екран зменшує інтенсивність гамма-випромінювання.

Нейтрони можуть проникати крізь людське тіло і свинцевий захист, але товстий шар води або бетону поглинає їх.

Загалом, нейтрино є найбільш проникаючою формою випромінювання. **Нейтрино** - це енергетичні, майже безмасові частинки, які майже неможливо зупинити. Нейтрино проходять крізь Землю, зірки та цілі галактики, дуже рідко взаємодіючи з будь-якою матерією.



8

Джерела природного радіаційного фону

Природні джерела іонізуючого випромінювання :

Природний радіаційний фон. Космічне випромінювання

Космічне випромінювання

Наземне випромінювання

Внутрішнє випромінювання

Три основні джерела космічного випромінювання:

Сонячне випромінювання - високоенергетичні частинки (переважно протони), які випромінює Сонце.

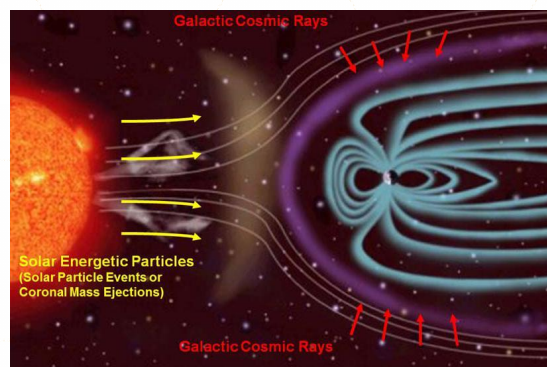
Галактичне космічне випромінювання - високоенергетичні частинки, що виникають за межами Сонячної системи (в Галактиці).

Випромінювання від радіаційних поясів Землі (поясів Ван Аллена).

Радіаційні пояси Ван Аллена - це зони високоенергетичних частинок (особливо протонів), захоплених магнітним полем Землі.

Річна доза космічного випромінювання на рівні моря становить близько **0,25-0,35 мЗв**. Якщо ви живете на більшій висоті або часто літаєте літаками, це опромінення може бути значно більшим, оскільки атмосфера тут розріджена. **Вплив магнітного поля Землі також визначає дозу космічного випромінювання.**

Потужність дози на рівні землі становить близько **0,04 мкЗв/год**, але на максимальній висоті польоту (10 км) - близько **1 мкЗв/год**.



9

Джерела природного радіаційного фону

Природні джерела іонізуючого випромінювання :

Природний радіаційний фон. Земне випромінювання

Космічне випромінювання

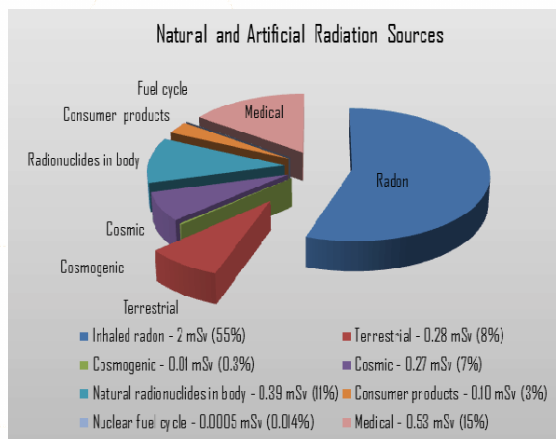
Земне випромінювання

Внутрішнє випромінювання

Основними джерелами наземної радіації є **гірські породи, ґрунт і водні джерела** випромінювання.

Річна доза наземного опромінення становить близько **0,20-0,35 мЗв** (за винятком опромінення радоном).

Основними ізотопами для земної радіації є уран і продукти його розпаду (торій, радій і радон).



<https://www.nuclear-power.com/nuclear-engineering/radiation-protection/sources-of-radiation/background-radiation-natural-and-artificial/>

10

Джерела природного радіаційного фону

Природні джерела іонізуючого випромінювання :

Природний радіаційний фон. Земне випромінювання. Радон

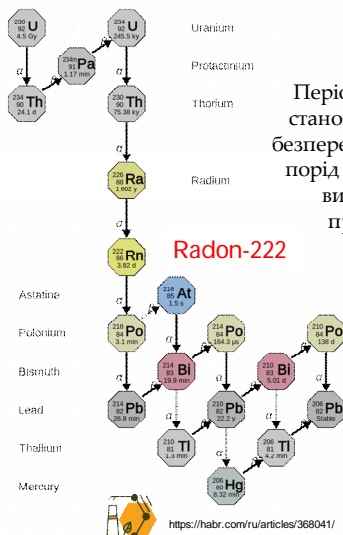
Космічне випромінювання

Земне випромінювання

Внутрішнє випромінювання

Радон - це безбарвний благородний газ без запаху, що зустрічається в природі як продукт розпаду радію. Всі ізотопи радону радіоактивні, з них два ізотопи радону **радон-222 і радон-220** є дуже важливими з точки зору радіаційного захисту.

Основна проблема полягає в тому, що радон - це газ



Радон, як правило, є найбільшим природним джерелом радіації, що сприяє опроміненню населення, на його частку припадає половина загального опромінення від усіх джерел. Ризик для здоров'я, пов'язаний з опроміненням радонем, виникає, головним чином, через вдихання короткоживучих продуктів розпаду (Pb-210 і Po-210) і, як наслідок, опромінення бронхів і легенів альфа-частинками.

(Поки ці ізотопи знаходяться поза організмом, дозу опромінення може дати лише гамма-випромінювання).

Середньорічна доза опромінення людини від радону становить близько **2 мЗв/рік** і може змінюватися на багато порядків у різних місцях.

Через свою високу густину **радон** може накопичуватися підвалах. **Радон** також може міститися в підземних водах - наприклад, у деяких джерельних водах і гарячих джерелах.

11

Джерела природного радіаційного фону

Природні джерела іонізуючого випромінювання :

Природний радіаційний фон. Внутрішнє випромінювання.

Космічне випромінювання

Земне випромінювання

Внутрішнє випромінювання

Основними джерелами внутрішнього опромінення є **радіоактивні ізотопи**, що знаходяться в організмі від народження.

Це ізотопи калію-40, вуглецю-14, а також ізотопи урану і торію. Середньорічна доза опромінення людини від внутрішніх радіоактивних матеріалів, крім радону, становить близько 0,3 мЗв/рік, з яких

0,2 мЗв/рік надходить від калію-40,

0,12 мЗв/рік - від уранового та торієвого рядів,

12 мкЗв/рік - від вуглецю-14. Найбільший вклад з точки зору дози вносить калій-40.

Домінуючим компонентом інгаляційного опромінення є короткоживучі продукти розпаду радону.

60-кілограмова людина накопичує близько 120 г калію (0,2%), який переважно знаходиться в м'язах. Концентрація калію-40 майже однакова у всіх людей на рівні 60 Бк/кг (загалом 4000 Бк), що відповідає річній ефективній дозі **0,2 мЗв**.

Перенесення іонів калію через мембрани нервових клітин необхідне для нормальної передачі нервових імпульсів. Калій-40 - радіоактивний ізоотп калію, який має дуже довгий період напіврозпаду $1,251 \times 10^9$ років і піддається обом типам бета-розпаду.

Доза, яка дорівнює банановому еквіваленту - це величина дози опромінення іонізуючого випромінювання (**0,1 мкЗв**).

Банани містять дуже високу концентрацію калію, який є життєво важливим для функціонування всіх живих клітин.

Radioactive materials in the body



When body weight is 60kg		
Potassium-40	※ 1	4,000Bq
Carbon-14	※ 2	2,500Bq
Rubidium-87	※ 1	500Bq
Tritium	※ 2	100Bq
Lead and polonium	※ 3	20Bq

※ 1 Nuclides originating from the Earth
 ※ 2 Nuclides derived from N-14 originating from cosmic rays
 ※ 3 Nuclides of the uranium series originating from the Earth



12

Дві групи, які зазнали впливу промислових джерел іонізуючого випромінювання.

Штучні джерела радіоактивного випромінювання

Опромінювання населення - це опромінювання окремих представників громадськості та населення в цілому

- ✓ Медичне опромінювання
- ✓ Діагностичне рентгеновське випромінювання
- ✓ Процедури ядерної медицини
- ✓ Споживчі товари
- ✓ Будівельні та дорожньо-будівельні матеріали
- ✓ Сигарети для куріння (полоній-210)
- ✓ Паливо, включаючи газ і вугілля
- ✓ Рентгеновські системи безпеки
- ✓ Екрани з кінескопами
- ✓ Детектори диму, ліхтарні плафони

Професійне опромінювання - це опромінювання працівників у ситуаціях, коли їхнє опромінювання безпосередньо пов'язане з їхньою роботою

- ✓ Об'єкти паливного циклу
- ✓ Промислова радіографія
- ✓ Радіологічні відділення (медичні)
- ✓ Відділення ядерної медицини
- ✓ Відділення радіаційної онкології
- ✓ Атомні електростанції
- ✓ Урядові та університетські дослідницькі лабораторії

Допустима доза
до 50 мЗв/рік
для населення

Допустима доза
500 мЗв/рік
для професіоналів



13

Дозиметрія

Дозиметрія - це вимірювання і розрахунок поглиненої дози іонізуючого випромінювання в речовині та оцінка його потенційного біологічного впливу. Це важлива сфера радіаційної безпеки, яка використовується в різних галузях, таких як охорона здоров'я (радіологія, променева терапія), ядерна енергетика та моніторинг навколишнього середовища.

Радіаційний дозиметр - це прилад, який вимірює поглинену дозу зовнішнього іонізуючого випромінювання. Він носить людину, за якою ведеться спостереження, коли використовується як особистий дозиметр, і є записом отриманої дози опромінювання.

Існують різні типи дозиметрів, що використовуються для вимірювання радіаційного опромінювання, кожен з яких має свої особливості та сфери застосування. Ось кілька найпоширеніших типів:

Термолюмінесцентні дозиметри (ТЛД): Ці дозиметри використовують певні кристали, які накопичують енергію під впливом іонізуючого випромінювання. При нагріванні кристали випромінюють світло, пропорційне кількості отриманого випромінювання.

Дозиметри оптично стимульованої люмінесценції (OSLD): Подібно до TLD, OSLD використовують матеріали, які зберігають енергію випромінювання, але вони зчитуються за допомогою оптичної стимуляції (зазвичай лазером або світлом), а не тепла.

Плівкові дозиметри-жетони: Вони складаються з невеликих шматочків фотоплівки, вкладених у бейдж або тримач. Вплив радіації викликає зміни в щільності плівки, які можна проаналізувати, щоб визначити отриману дозу. Кишенькові іонізаційні камери: Ці портативні пристрої вимірюють іонізацію безпосередньо, зазвичай використовуються в зонах з потенційно високим рівнем радіації.

Електронні персональні дозиметри (EPD): Портативні пристрої, які використовують електронні компоненти для вимірювання та реєстрації радіаційного опромінювання в режимі реального часу. Вони часто оснащені сигналізацією, яка попереджає користувачів, коли рівень опромінювання перевищує встановлені порогові значення.

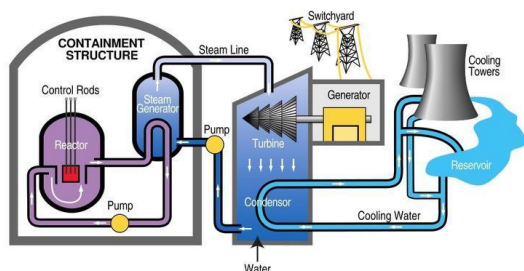
Твердотільні дозиметри: Використовуючи напівпровідникові матеріали, ці дозиметри виявляють і вимірюють радіаційне опромінювання за допомогою твердотільних пристроїв.



Кожен тип дозиметра має свої переваги та обмеження з точки зору чутливості, точності, вартості та простоти використання, що робить їх придатними для різних застосувань та середовищ.

14

Атомна електростанція



Атомна електростанція - це теплова електростанція, на якій ядерний реактор виробляє тепло, що використовується для утворення пари, яка приводить в дію парову турбіну, з'єднану з генератором, який виробляє електроенергію.

Ядерний реактор – пристрій для здійснення і підтримання ядерної реакції поділу ядер важких елементів вільними нейтронами.

Поділ супроводжується виділенням енергії, яка перетворюється в теплову в результаті зупинення осколків ядер. У центральній частині реактора розташована активна зона, в якій проходить ядерна реакція. Вона складається з уповільнювача з технологічними каналами, всередині яких знаходяться тепловідляючі зборки (ТВЗ). ТВЗ складаються з тепловідляючих елементів, стержнів, серцевина яких вироблена з ядерного палива, охоплених оболонкою, або конструкційним матеріалом. Тепло, яка виділяється в ТВЕ/лах і дорівнює 90 % усієї ядерної енергії поділу, виводиться з реактора потоком рідкої чи газоподібної речовини – теплоносієм по системі тепловідбору. Активній зоні надають форму кулі або циліндра і поміщають її в корпус, що дозволяє робити ТВЕ/ли однакових розмірів. Щоб реакція не зупинилася і не стала надкритичною, в активну зону вводять компенсуючі стержні з матеріалів, які добре поглинають нейтрони.

Пуск і зупинка реактора, перехід з одного рівня потужності на інший і підтримання його в критичному стані забезпечуються регулюючими стержнями. При аварійних ситуаціях в роботу вступають стержні аварійного захисту. Ядра U^{238} , які не розділились після захоплення нейтронів, перетворюються в ядра Pu^{239} . З метою отримання якомога більшої кількості Pu^{239} активну зону екранують і називають зоною відновлення. Для зниження радіації до безпечного рівня і створення нормальних умов праці реактор екранують матеріалом, до складу якого входить сповільнювач "швидких" нейтронів. Це може бути вода, свинець, залізо чи бетон, який містить залізну руду.



15

Атомна електростанція

Інші компоненти АЕС:

Парова турбіна - це пристрій, який теплову енергію з пари під тиском використовує для виконання механічної роботи на обертовому вихідному валу.

Генератор - це пристрій, який перетворює механічну енергію парової турбіни в електричну.

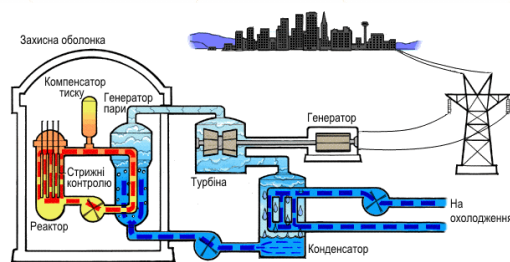
Конденсатор - це теплообмінник, який використовується для конденсації пари з останнього ступеня турбіни.

Система конденсат-рідина. Системи живлення конденсату виконують дві основні функції. Подати достатню кількість якісної води (конденсату) в парогенератор і нагріти воду (конденсат) до температури, близької до насичення.

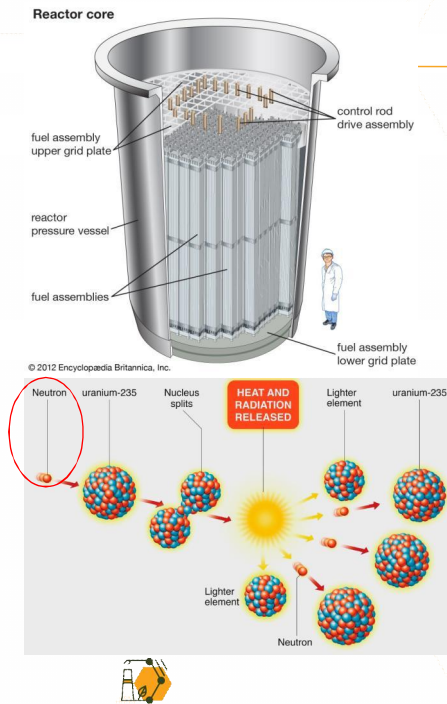
Перегрівачі сепаратора вологи зазвичай встановлюють між випускним отвором турбіни високого тиску та входом турбіни низького тиску для видалення вологи з вихлопної пари високого тиску турбіни та повторного нагрівання цієї пари перед тим, як її подати до турбін низького тиску.

Охолоджувальна система. Основною функцією системи охолодження на електростанціях є охолодження парового контуру для конденсації пари низького тиску та її рециркуляції. Оскільки пара у внутрішньому контурі конденсується назад у воду, надлишок (відпрацьоване) тепло, видалене з нього, потрібно відводити шляхом передачі в повітря або водойму.

Контрольно-вимірвальні прилади та система керування. Контрольно-вимірвальна система виконує роль центральної нервової системи атомної електростанції.



16

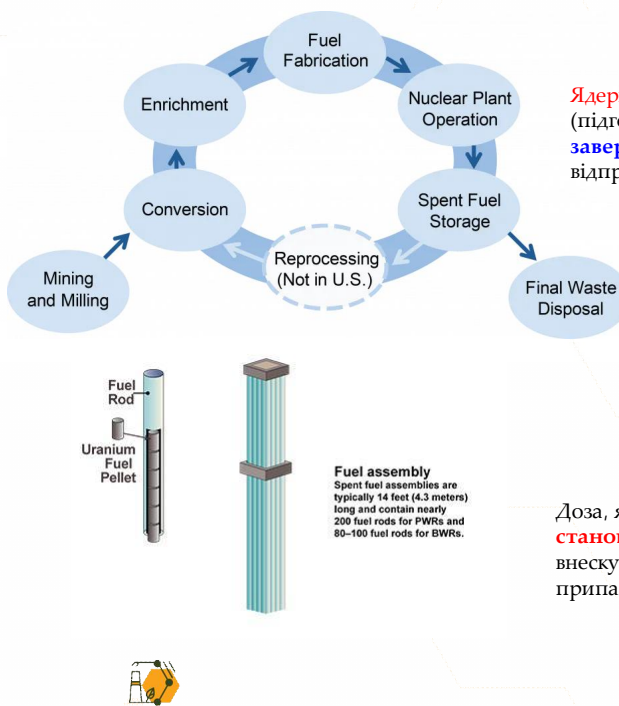
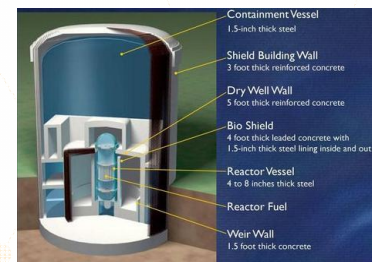


Ядерний реактор

Будь-який ядерний реактор, який виробляє енергію шляхом поділу урану (U-235) або плутонію (Pu-239) під час бомбардування нейтронами повинен мати щонайменше **п'ять компонент**:

ядерне паливо, що складається з матеріалів, які розщеплюються, - урану-235 або плутонію-239; **ядерний сповільнювач** - сповільнює нейтрони для ініціювання поділу; **теплоносії реактора** - речовина, що циркулює через ядерний реактор для відведення або передачі тепла (найчастіше - вода); інші можливі теплоносії - важка вода, повітря, вуглекислий газ, гелій, рідкий натрій або натрієво-калієвий сплав. **регулюючі стрижні** - стрижні або трубки, що містять матеріал, який поглинає нейтрони, наприклад, бор, гафній, кадмій, які використовуються для управління потужністю ядерного реактора; регулюючий стрижень виймається з активної зони реактора або вводиться в неї для збільшення або зменшення реактивності реактора (збільшення або зменшення потоку нейтронів); це, в свою чергу, впливає на теплову потужність реактора, кількість виробленої пари, а отже, на вироблену електроенергію.

екран/система захисту встановлюється навколо реактора, щоб утримувати будь-яке випромінювання від витoku в навколишнє середовище; зазвичай виготовлений зі свинцю або спеціальних видів пластику, екран необхідний як для транспортування, так і для зберігання джерел радіоактивних нейтронів.



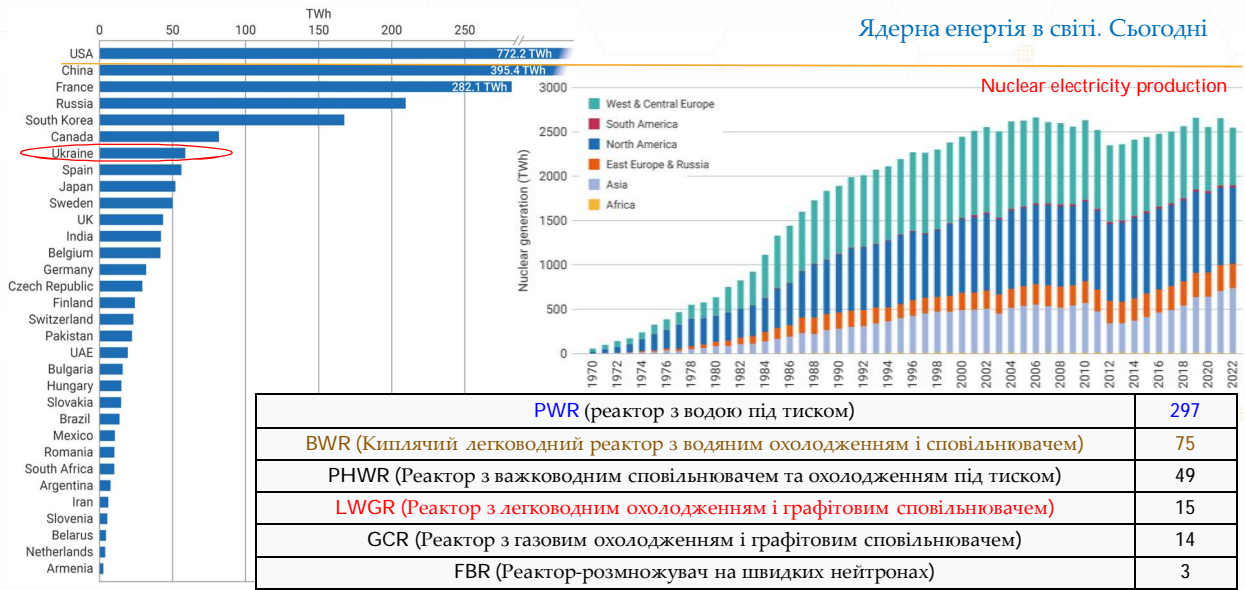
Радіаційне опромінення від ядерного паливного циклу

Ядерний паливний цикл складається з етапів: **початкового** (підготовка палива), **період експлуатації** (вигорання палива), **завершального етапу** (переробка або захоронення відпрацьованого ядерного палива).

Радіаційне випромінювання від ядерного паливного циклу оцінюється протягом усього життєвого циклу ядерного палива, що включає в себе **видобуток та збагачення урану, виготовлення паливних збірок, експлуатація електростанції (за винятком аварій), зберігання або переробка відпрацьованого палива, захоронення радіоактивних відходів, діяльність зі зняття з експлуатації.**

Доза, яка виникає в результаті ядерного паливного циклу, **становить 130 бер** для ядерного паливного циклу (половина внеску в опромінення населення від ядерного паливного циклу припадає на викиди радіонуклідів під час видобутку урану).

Ядерна енергія в світі. Сьогодні



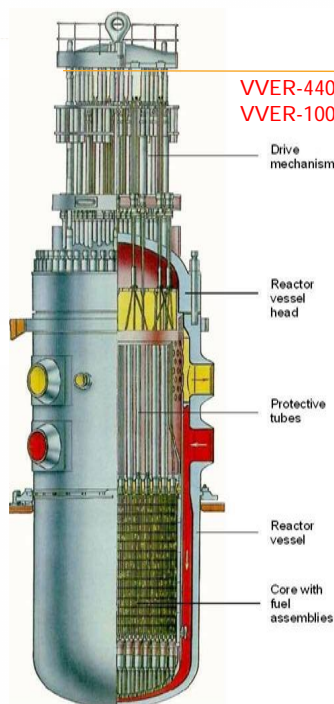
Ядерна енергетика зараз виробляє близько 10% світової електроенергії на близько 450 реакторах. Атомна енергетика забезпечує близько чверті низьковуглецевої електроенергії у світі. Атомна енергетика є другим за величиною джерелом низьковуглецевої енергії у світі (26% від загального обсягу у 2020 році). Понад 50 країн використовують ядерну енергію на близько 220 дослідницьких реакторах.



Ядерна енергія в Україні



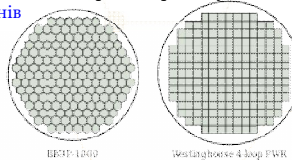
Ядерна енергія в Україні. Реактори. ВВЕР-1000



VVER-440
VVER-1000

ВВЕР-1000 (транслітерація російського ВВЭР-1000), російський ядерний енергетичний реактор типу PWR потужністю 1000 МВт.

Приводи регулюючих стрижнів
Головка корпусу реактора
Корпус реактора під тиском
Вхідні та вихідні сопла
Активна зона реактора
Паливні стрижні

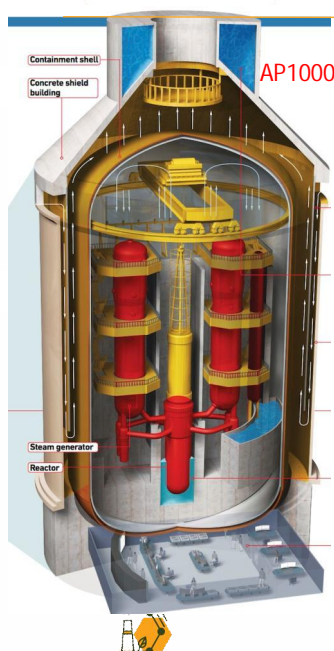


Розробник - Курчатовський інститут, Росія - енергетичний реактор з водяним охолодженням

Паливні стрижні реактора повністю занурені у воду під тиском близько 15 МПа, щоб вона не закипала при нормальних робочих температурах (від 220 до понад 320 °С). Вода в реакторі слугує одночасно і теплоносієм, і сповільнювачем, що важливо для безпеки. Якщо циркуляція теплоносія припиняється, ефект сповільнення нейтронів водою зменшується через підвищення температури, що створює бульбашки пари, які не сповільнюють нейтрони, таким чином зменшуючи інтенсивність реакції і компенсуючи втрату охолодження - стан, відомий як від'ємний коефіцієнт. Паливо - це низькозбагачений (2,4-4,4% ^{235}U) діоксид урану (UO_2) або його еквівалент, спресований в гранули і зібраний в паливні стрижні. Реактивність контролюється регулюючими стрижнями, які можна вставляти в реактор зверху. Ці стрижні виготовлені з матеріалу, що поглинає нейтрони, і, залежно від глибини введення, перешкоджають ланцюговій реакції. У разі виникнення аварійної ситуації, зупинка реактора може бути виконана шляхом повного введення стрижнів управління в активну зону.

21

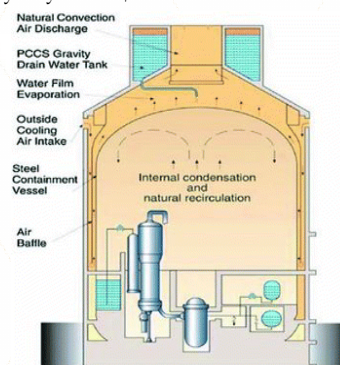
Ядерна енергія в Україні. Реактори. AP1000



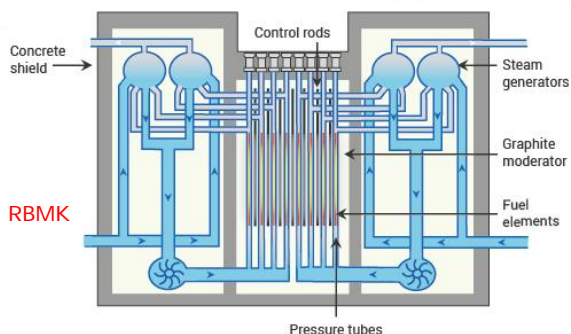
Розробник - Westinghouse Electric Company, США - енергетичний реактор з водяним охолодженням
AP1000 - це реактор з водою під тиском (PWR) з двома контурами охолодження

Проект AP1000 значно компактніший у використанні земельних ділянок, ніж більшість існуючих реакторів типу PWR, і використовує менше п'ятої частини бетону та арматури, ніж старі проекти. При проектуванні станцій використовувалась імовірнісна оцінка ризиків - максимальна частота пошкоджень активної зони $5,09 \times 10^{-7}$ на станцію на рік. Відпрацьоване паливо, вироблене на AP1000, може зберігатися протягом невизначеного часу у воді на майданчику станції. Вигримане відпрацьоване паливо можна також зберігати в наземному сухому сховищі в бочках.

Енергетичні реактори всіх типів продовжують виробляти тепло від продуктів радіоактивного розпаду навіть після зупинки основної реакції, тому необхідно відводити це тепло, щоб уникнути розплавлення активної зони реактора. AP1000 використовує бак з водою, розташований над реактором. Коли активується система пасивного охолодження, вода самопливом надходить до верхньої частини реактора, де вона випаровується, відводячи тепло. Система використовує декілька клапанів, які повинні спрацювати протягом перших 30 хвилин. Це має статися, навіть якщо оператори реактора не вживатимуть жодних заходів. Електрична система, необхідна для запуску пасивних систем, не залежить від зовнішньої або дизельної енергії, а клапани не залежать від гідравлічної системи або системи стисненого повітря.



22



РБМК - це водоохолоджуваний реактор з індивідуальними паливними каналами, що використовує графіт як сповільнювач (легководний графітовий реактор або LWGR). Як і в реакторі з киплячою водою (BWR), вода кипить в паливних каналах (при тиску близько 6,9 МПа), а пара відокремлюється над ними в єдиному контурі. (був розроблений у 1964-66 роках і дуже відрізняється від сучасних реакторів).

Паровий коефіцієнт реактивності - це число, за допомогою якого можна оцінити, наскільки змінюється реактивність ядерного реактора при утворенні порожнеч (як правило, бульбашок пари) в сповільнювачі або теплоносії реактора.



Ядерна енергетика в Україні. РБМК

Паровий коефіцієнт реактивності

Реактори, що охолоджуються киплячою водою, будуть містити пару в активній зоні. Оскільки вода є більш ефективним теплоносієм і більш ефективним поглиначем нейтронів, ніж пара, зміна частки парових бульбашок, або "порожнин", в теплоносії призведе до зміни реактивності активної зони.

Коли паровий коефіцієнт від'ємний, збільшення кількості пари призведе до зменшення реактивності.

У реакторах, де одна і та ж вода виконує функції сповільнювача і теплоносія, надлишкове утворення пари зменшує уповільнення кількості нейтронів, необхідне для підтримки ланцюгової ядерної реакції. У конструкціях реакторів, де сповільнювач і теплоносії виготовлені з різних матеріалів, надлишок пари зменшує охолодження реактора, але оскільки сповільнювач залишається неушкодженим, ланцюгова ядерна реакція продовжується.

У реакторах РБМК поглинання нейтронів відбувається охолоджуючою водою є важливим фактором, що впливає на експлуатаційні характеристики.

У таких випадках зменшення поглинання нейтронів в результаті виробництва пари і, як наслідок, поява додаткових вільних нейтронів, посилює ланцюгову реакцію. Це призводить до збільшення реактивності системи. Паровий коефіцієнт є лише одним з компонентів загального енергетичного коефіцієнта реактивності, але в реакторах РБМК він є домінуючим компонентом, що відображає високий ступінь залежності реактивності від вмісту пари в активній зоні.

23

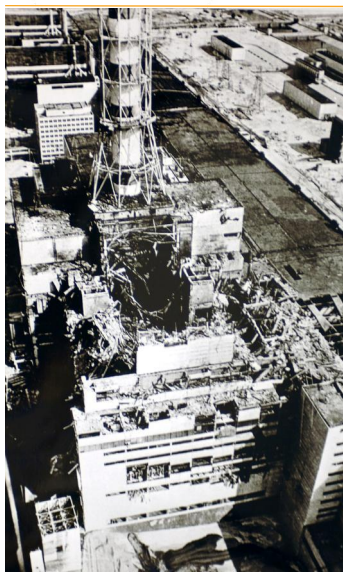
Ядерні аварії



<https://news.tochka.net/ua/116662-samy-e-masshtabnye-yadernye-katastrofy-v-mire-foto-video/>

24

Атомна енергетика в Україні. РМБК.Чорнобиль



На момент аварії на Чорнобильській АЕС паровий коефіцієнт реактивності був настільки додатнім, що переважав інші складові коефіцієнта потужності, і сам коефіцієнт потужності став додатнім. Коли потужність почала зростати, було вироблено більше пари, що, в свою чергу, призвело до збільшення потужності. Додаткове тепло, отримане в результаті збільшення потужності, підвищило температуру в контурі охолодження.

Більше пари означає менше охолодження і менше поглинання нейтронів, що призвело до швидкого збільшення потужності до 100-кратної потужності реактора.

Справжню кількість жертв Чорнобильської катастрофи важко оцінити через довготривалі наслідки радіоактивного забруднення для здоров'я людей.

Офіційна кількість загиблих, безпосередньо пов'язаних з Чорнобилем, визнана міжнародною спільнотою, становить лише 31 особу.



25

Ядерна аварія в Україні. РМБК.Чорнобиль. Хронологія подій.

Chornobyl . Timeline of a disaster

1 April 25, 1986

A safety experiment is carried out while Reactor No. 4 is shut down for routine maintenance.



2 26 April, 1986

1:23 am: a sudden drop in power triggers a chain of events causing the reactor to overheat.

Reactor no.4 explodes. A radioactive cloud of smoke shoots 1 km into the air and, pushed by the winds, spreads across northern Europe.



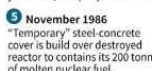
3 April 26 - May 5, 1986

Thousands of tonnes of sand, clay and lead are dropped on to the reactor to quench the fire.



4 Spring and summer 1986

116,000 peoples are evacuated from immediate area. In later years 230, 000 people relocated.



5 November 1986

"Temporary" steel-concrete cover is build over destroyed reactor to contains its 200 tonnes of molten nuclear fuel.



6 1986 - 1990

Hundreds of thousands of clean-up workers attempt to isolate and decontaminate the danger zone



25 квітня 1986 року, перша година ночі.

Оператори Чорнобильської АЕС починають зменшувати потужність на реакторі №4 для проведення тесту безпеки, який вони приурочили до планової зупинки для технічного обслуговування. Випробування мало визначити, чи зможуть турбіни станції, які все ще обертаються, виробити достатньо електроенергії, щоб підтримувати роботу насосів охолоджувача протягом короткого проміжку часу до того, як увімкнуться аварійні генератори.

25 квітня 1986 року, 14:00.

Аварійну систему охолодження активної зони реактора №4 відключають, щоб вона не заважала проведенню випробування.

25 квітня 1986 року, 23:10.

Оператори отримують дозвіл на випробування та зупинку. Менш досвідчена нічна зміна так і не отримала належних інструкцій про те, як проводити випробування.

26 квітня 1986 року, 12:28.

Потужність падає набагато нижче рівня, на якому реактор вважається стабільним. Оператори реагують на це, виймаючи більшість регулюючих стрижнів, порушуючи правила безпеки станції, але їм все одно не вдається підняти потужність.

26 квітня 1986 року, 1 година ночі.

Потужність стабілізується, хоча й на нижчому за бажаний рівні, і керівництво станції наказує продовжити випробування. Автоматичне аварійне відключення вимкнено.

26 квітня 1986 року, 1:23:04 ранку.

Випробування офіційно розпочалося, і стався несподіваний стрибок напруги.

26 квітня 1986, 1:23:40.

Оператор натискає кнопку аварійного вимкнення, але стрижні управління заклинює, коли вони входять в активну зону.

26 квітня 1986 року, 1:23:58.

Перший вибух, за яким незабаром буде щонайменше ще один, який зриває 1000-тонний дах з реактора і вистрілює вогняною кулею в нічне небо.

Reactors

Shutdown

1996 No.1

1991 No.2

2000 No.3

April 2016

The new sarcophagus is still not in place. The project is due to be completed in 2017

7 1997

An international fund is set up to build a new sarcophagus to replace the badly leaking "temporary" cover over the reactor

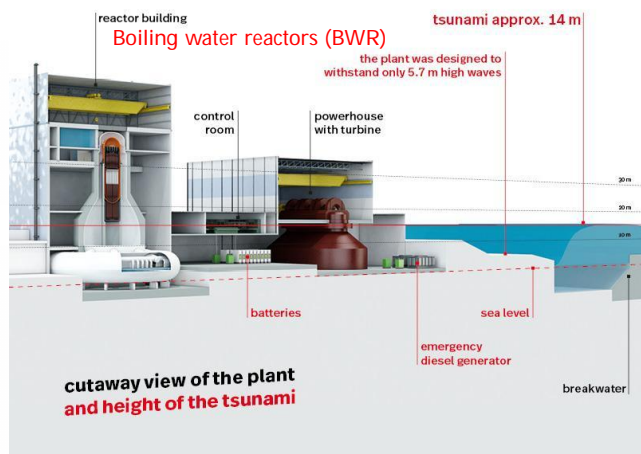
© AFP

Sources: www.world-nuclear.org, UNSCEAR, OMS



20

Ядерні аварії у світі. Фукусіма.



Аварія на АЕС "Фукусіма" - велика ядерна аварія на атомній електростанції "Фукусіма-1" в Японії, що сталася 11 березня 2011 року. Причиною аварії стали землетрус і цунамі в регіоні Тохоку в 2011 році, які призвели до виходу з ладу електромережі і пошкодили майже всі резервні джерела енергії електростанції. Подальша нездатність забезпечити достатнє охолодження реакторів після зупинки поставила під загрозу утримання і призвела до викиду радіоактивних забруднювачів у навколишнє середовище. Не було задокументовано жодних негативних наслідків для здоров'я мешканців Фукусіми або працівників електростанції, які можна було б безпосередньо пов'язати з радіаційним опроміненням внаслідок аварії. Після аварії щонайменше 164 000 мешканців прилеглих територій були постійно або тимчасово переміщені. Ця реакція призвела до щонайменше 51 летального випадку, [причому більше пов'язано з подальшим стресом або страхом перед радіологічною небезпекою...].

27

Ядерні аварії у світі. Фукусіма. Хронологія подій



11 березня 2011 року

О 14:46 біля острова Хонсю стався землетрус магнітудою 9,0 балів. Реактори 1,2 і 3 на АЕС Фукусіма автоматично зупинилися, реактори 4,5,6 на той час вже були відключені для технічного обслуговування. Спочатку станція охолоджувалася резервними генераторами. Годиною пізніше сталося 14-метрове цунамі, яке переповнило 6-метрову морську стіну, затопило станцію і вивело з ладу всі генератори. Більша частина аварійної системи охолодження активної зони виходить з ладу.

12 березня 2011 року

Аварійна резервна батарея для реактора 3 розряджається, і паливні стрижні оголюються. У повітрі виділяється пара. Оскільки ситуація на 3 реакторі погіршується, зона евакуації розширюється - спочатку до 10 км, потім до 20 км

13 березня 2011 року

Пошкодження активної зони починається на 3-му блоці, 2-й блок вважається стабільним.

14 березня 2011 року

Потужний вибух у будівлі реактора №3 пошкоджує систему охолодження реактора №2, що призводить до пошкодження активної зони в цьому блоці.

15 березня 2011 року

Вибух завдає серйозних пошкоджень реактору 4. Ще один вибух стався на третьому енергоблоці.

Починається пожежа на 4-му енергоблоці. Радіація біля реактора 3 вимірюється на рівні 0,4 Зв/год.

17 березня 2011 року

Будівельники починають підключати зовнішнє джерело живлення до всіх 6 енергоблоків. Гелікоптери прилітають, щоб скинути воду на басейни витримки відпрацьованого ядерного палива на енергоблоках 3 і 4.

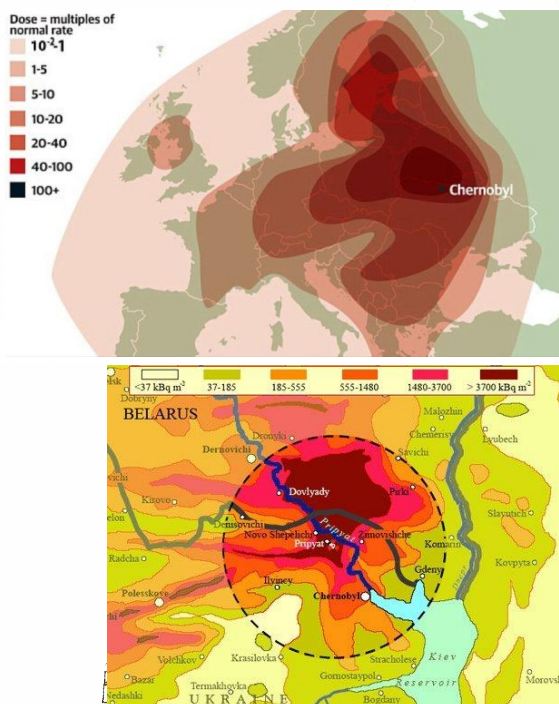
18 березня 2011 року

30 пожежних машин Токійської пожежної компанії починають розпилювати воду на уражені реактори.

20 березня 2011 року

Успішно підключено живлення до енергоблоку №2. Відремонтовано генератор, що забезпечує живлення 5-го і 6-го енергоблоків, що дозволило перевести їх обидва в режим холодної зупинки.

28



Чорнобиль спричинив радіаційне забруднення

Середня ефективна доза опромінення осіб, які найбільше постраждали внаслідок аварії, становить близько **120 мЗв** для 530 000 працівників аварійно-відновлювальних робіт, **30 мЗв** для 115 000 евакуйованих осіб та **9 мЗв** протягом перших двох десятиліть після аварії для тих, хто продовжував проживати на забруднених територіях.

АЛЕ

типова доза від одного сканування комп'ютерної томографії становить **9 мЗв**

Радіонукліди, що були викинуті з реактора і спричинили опромінення людей, - це переважно йод-131, цезій-134 і цезій-137. Йод-131 має малий радіоактивний період піврозпаду (вісім днів), але він може відносно швидко потрапляти в організм людини з повітря та через споживання забрудненого молока і листових овочів. Йод локалізується в щитовидній залозі.

29

Чорнобиль спричинив радіаційне забруднення. Цезій-137

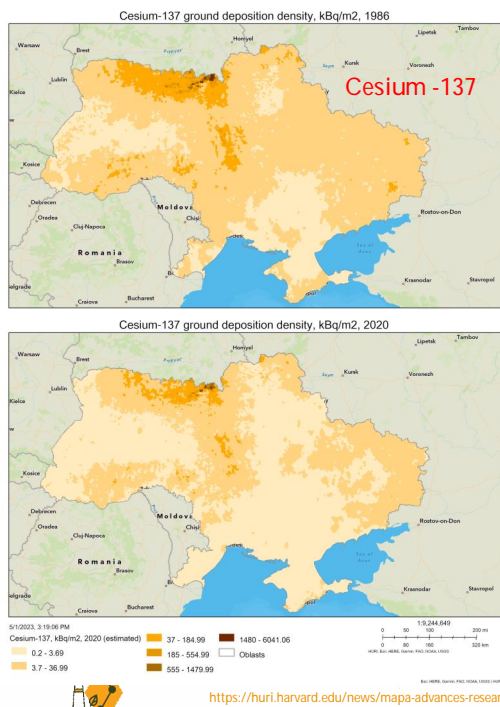
Період напіврозпаду: 30,17 років

Режим розпаду: Бета- та гамма-випромінювання

Cs-137 є одним з побічних продуктів процесів ядерного поділу в ядерних реакторах та випробувань ядерної зброї. Невеликі кількості Cs-137 можна знайти в навколишньому середовищі внаслідок випробувань ядерної зброї, що відбувалися в 1950-х і 1960-х роках, а також внаслідок аварій на ядерних реакторах, таких як аварія на Чорнобильській електростанції в 1986 році, в результаті якої Cs-137 потрапив до багатьох країн Європи.

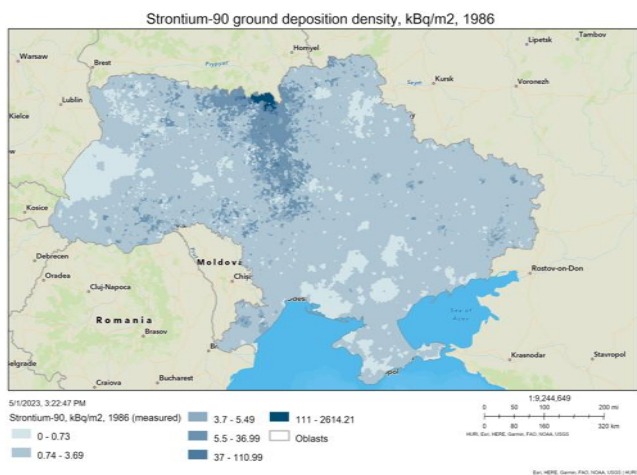
Опромінення Cs-137 може збільшити ризик розвитку раку через наявність високоенергетичного гамма-випромінювання.

Внутрішнє опромінення Cs-137 при прийомі всередину або вдиханні дозволяє радіоактивному матеріалу розподілятися в м'яких тканинах, особливо в м'язовій тканині, що підвищує ризик виникнення раку.



30

Чорнобиль спричинив радіаційне забруднення. Стронцій-90

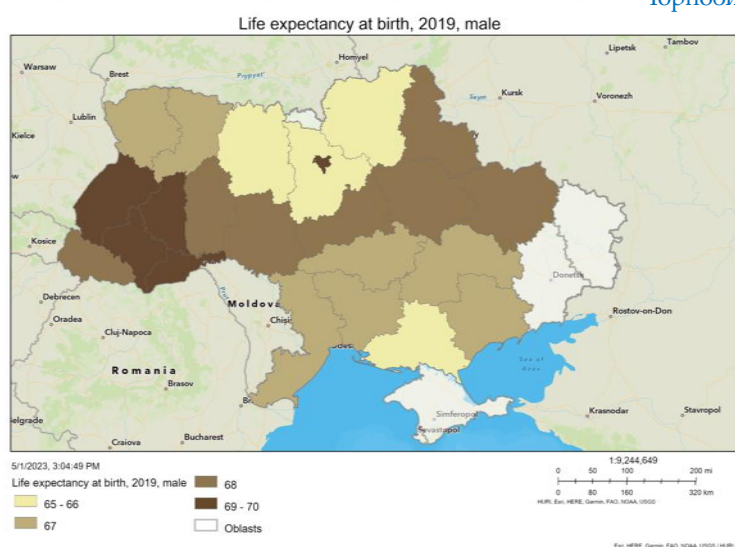


Період напіврозпаду: 29,1 років
Режим розпаду: Бета-випромінювання

Sr-90 можна вдихати, але найбільшу небезпеку для здоров'я становить потрапляння в організм з їжею та водою. Потрапляючи в організм, Sr-90 діє як кальцій і легко вбудовується в кістки і зуби, де може викликати рак кісток, кісткового мозку і м'яких тканин навколо кісток.

31

Чорнобиль спричинив радіаційне забруднення



3,8-4,0% усіх смертей на забруднених територіях України з 1990 по 2004 роки були спричинені Чорнобильською катастрофою. Відсутність доказів підвищення смертності в інших постраждалих країнах не є доказом відсутності впливу радіоактивних опадів. З 1990 року смертність серед ліквідаторів перевищувала рівень смертності у відповідних групах населення. Від 112 000 до 125 000 ліквідаторів померли до 2005 року - тобто близько 15% з 830 000 членів команд з ліквідації наслідків аварії на Чорнобильській АЕС. Розрахунки показують, що Чорнобильська катастрофа вже забрала життя кількох сотень тисяч людей з кількостями населення, якому не пощастило проживати на територіях, що зазнали радіоактивного забруднення.

32

Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника

Кафедра матеріалознавства і новітніх технологій,

volodymyr.kotsuybysky@pnu.edu.ua

