

Причини та наслідки аварії на Чорнобильській атомній електростанції

26.04.1986-26.04.2024

круглий стіл

Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника

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

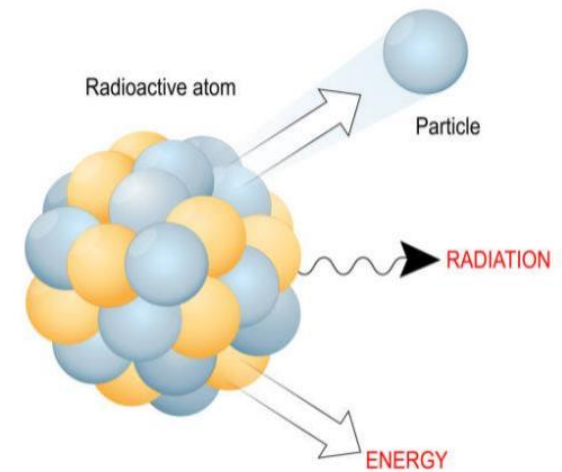
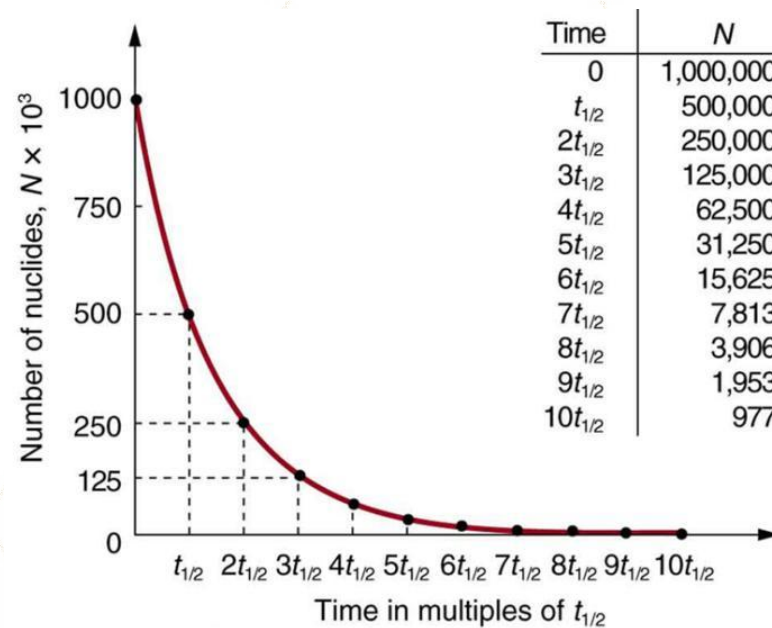


Лише певні комбінації нейтронів і протонів призводять до утворення стабільних атомів. Якщо на певну кількість протонів припадає забагато або замало нейтронів, ядро, що утворюється, матиме надлишкову енергію. *Нестабільний атом стане стабільним, віддаючи надлишок енергії у вигляді частинок або квантів енергії.*

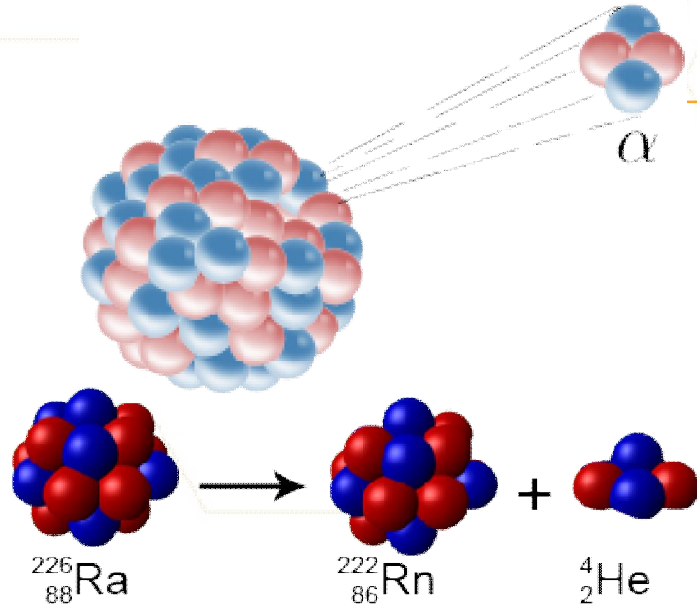
Випромінювання частинок або енергії з ядра називається **радіоактивним випромінюванням**. Нестабільні атоми також відомі як радіоактивні матеріали.

Існує близько 200 стабільних ядер і >1100 нестабільних (радіоактивних) ядер ізотопів.

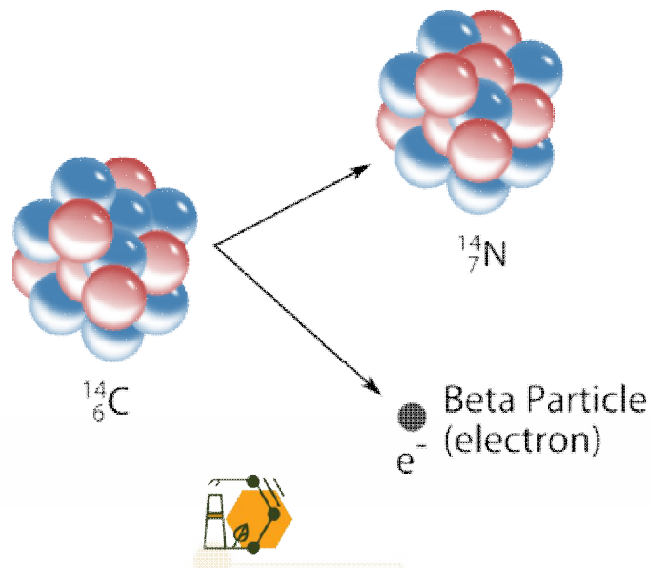
Радіонуклід	Період піврозпаду $T_{1/2}$
Йод-131	8 діб
Карбон-14	5700 років
Кобальт-60	5,3 року
Плутоній-239	24 тис. років
Радій-226	1600 років
Радон-220	56 с
Радон-222	3,8 доби
Уран-235	0,7 млрд років
Уран-238	4,5 млрд років
Цезій-137	30 років





Типи радіоактивного розпаду



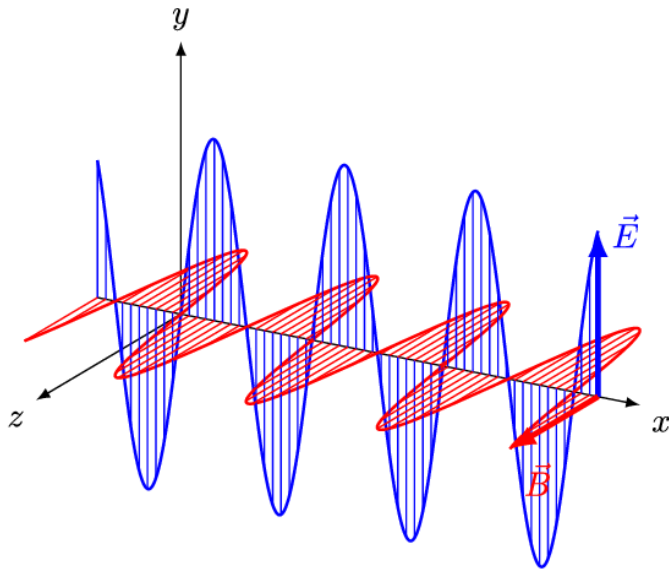
Альфа-розпад – ядро випроміює α –частинку - ядро гелію (He^{2+}), що складається з двох протонів та двох нейтронів



Бета -розпад – ядро випроміює β –частинку – швидкий електрон

 Neutron
 Proton

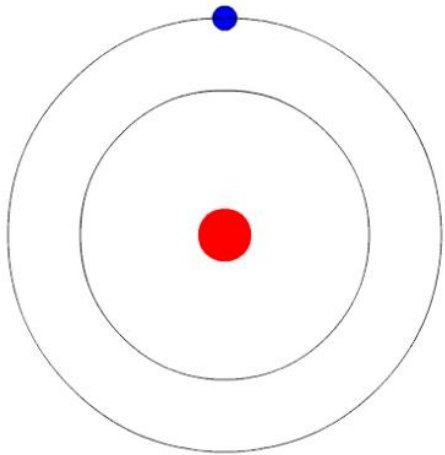
Типи радіоактивного розпаду



Гамма-промені (γ) і рентгенівські промені є електромагнітним випромінюванням і не мають електричного заряду

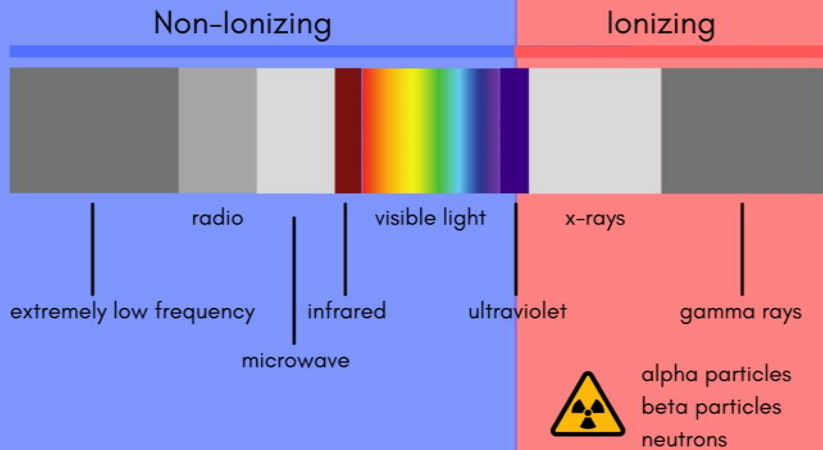
Гамма (γ) розпад – ядро в результаті перегрупування протонів і нейтронів, що утворюють ядро випромінює квант електромагнітного випромінювання

Гамма-промені від радіоактивного розпаду знаходяться в діапазоні енергій від декількох 1 кеВ до ~8 МеВ, що відповідає типовим енергетичним рівням в ядрах з досить довгим часом життя.



Іонізуюче випромінювання

Non-ionizing and Ionizing Radiation

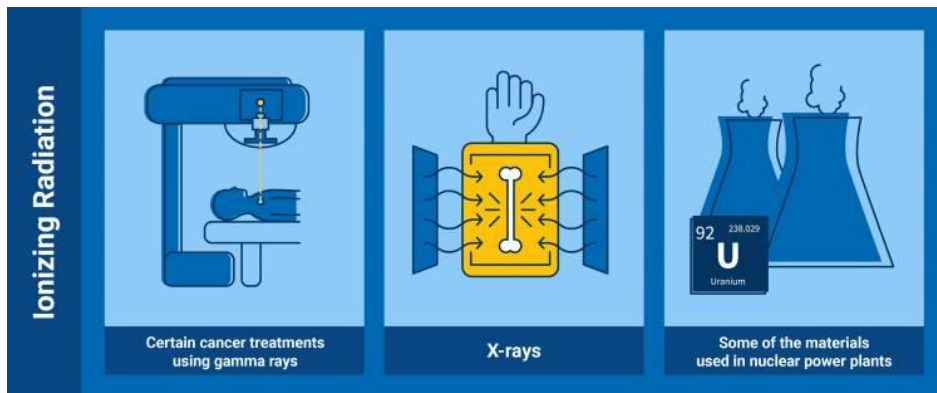


Іонізуюче випромінювання - це вид випромінювання з такою енергією, що здатне відірвати електрони від атомів або молекул, що викликає зміни на атомному рівні при взаємодії з речовиною, включаючи живі організми.

Такі зміни пов'язані з утворенням іонів - звідси і термін "іонізуюче" випромінювання.

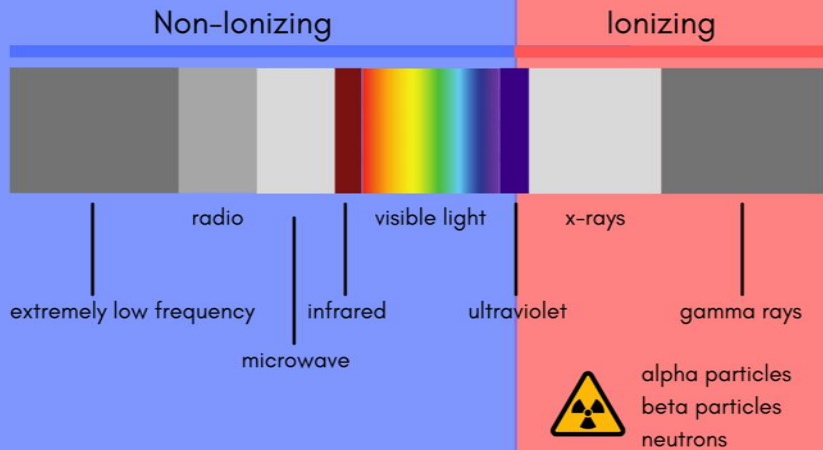
При високих дозах іонізуюче випромінювання може пошкодити клітини чи органи.

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.



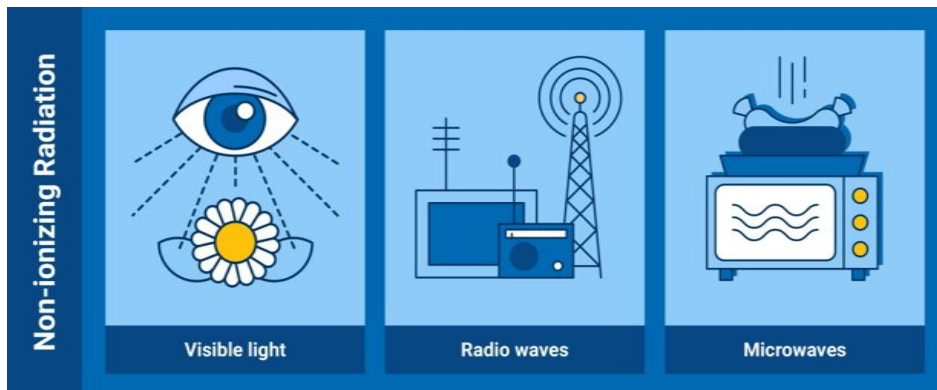
Неіонізуюче випромінювання

Non-ionizing and Ionizing Radiation

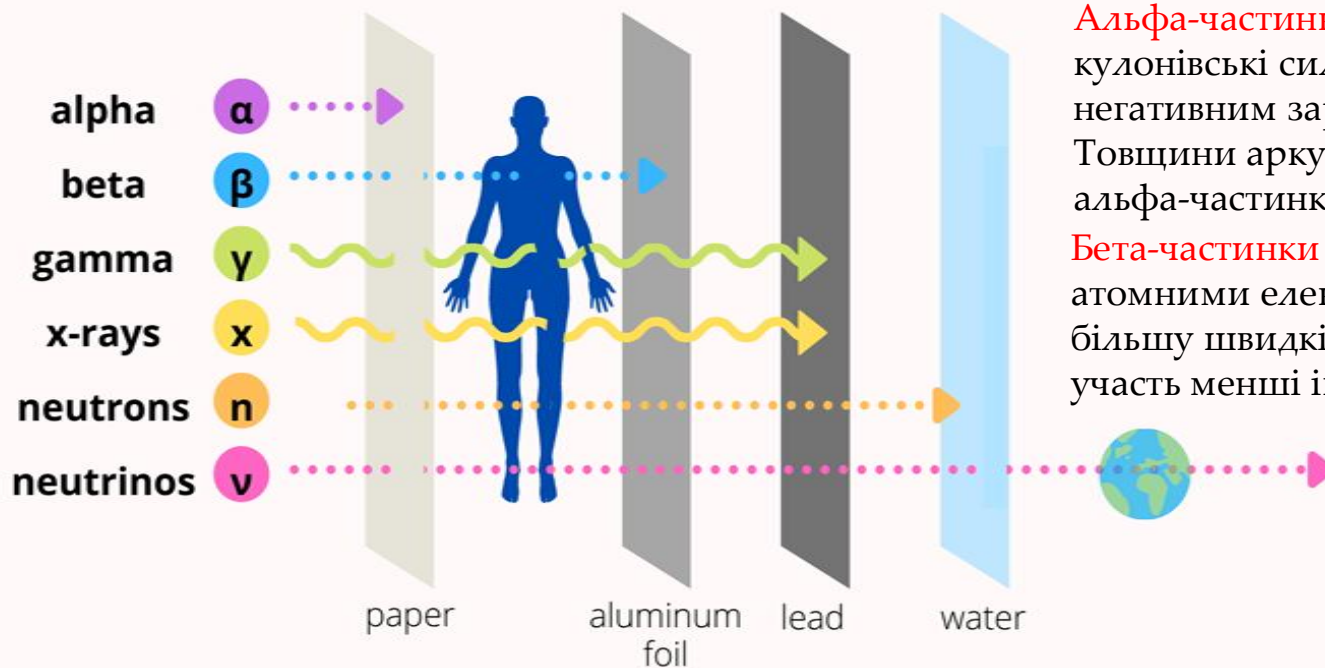


Люди щодня користуються джерелами неіонізуючого випромінювання і піддаються впливу неіонізуючого випромінювання. Ця форма випромінювання не несе достатньо енергії для іонізації атомів чи молекул. Мікрохвильові печі, GPS, мобільні телефони, телебачення, радіо – всі використовують неіонізуюче випромінювання.

Вони визначаються як хвилі надвисокочастотного випромінювання (НВЧ).



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.

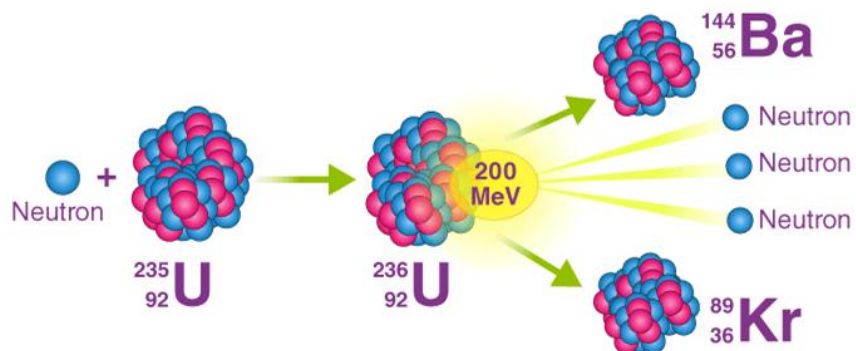
Таким чином, бета-частинки проникають у речовину значно глибше, ніж альфа-частинки, але через природу кулонівських взаємодій бета-частинки також зупиняються невеликою кількістю речовини (порівняно з гамма-частинками).

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.





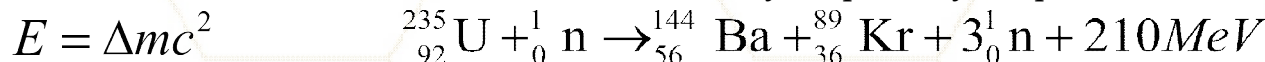
Коли атом урану-235 бомбардують нейтронами, він розщеплюється на два легших ядра - барій і криптон.

Ядерний поділ - це розщеплення ізоотопів урану і плутонію на атоми легших елементів в результаті бомбардування нейтронами. Окрім утворення легших атомів, у процесі поділу виділяються вільні нейтрони, а також значна кількість енергії.

Ядерний поділ - це екзотермічна реакція, яка може вивільнити велику кількість енергії як у вигляді електромагнітного випромінювання, так і у вигляді кінетичної енергії осколків

При повному поділі 1 кг урану або плутонію виділяється близько 17,5 кілотонн вибухової енергії в тротиловому еквіваленті.

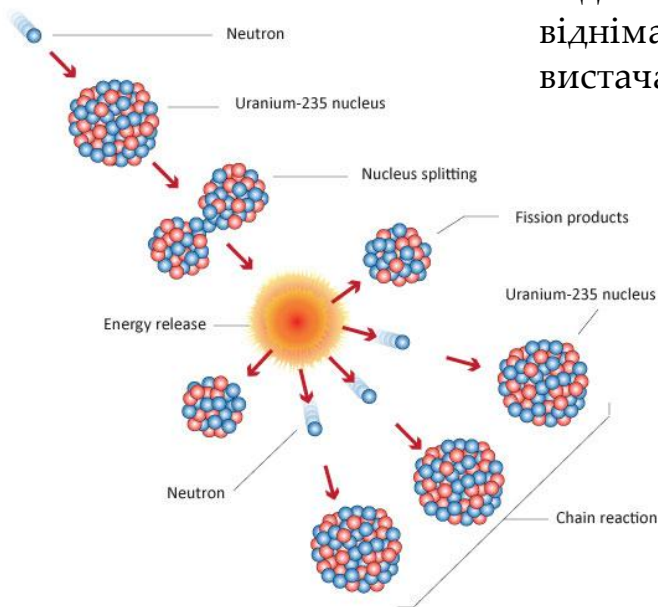
Під час **ядерного поділу** частина маси ядра перетворюється на енергію. Ця маса віднімається від загальної маси вихідних частинок, а в утвореному ядрі цієї маси не вистачає. :

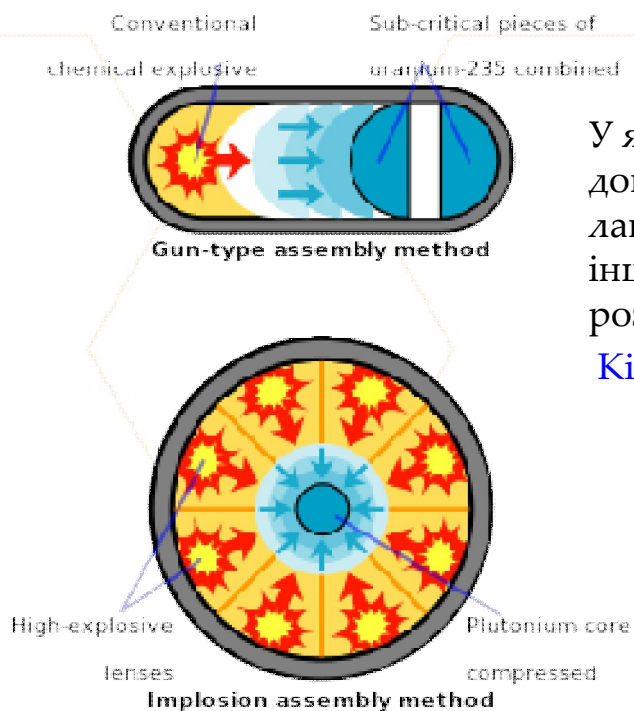


Ланцюгова реакція: нейтрони, що вивільняються при поділі, можуть захопитися іншими ядрами урану-235, які розщеплюються, утворюючи нові нейтрони, які, в свою чергу, запускають поділ у наступних ядрах урану-235 і так далі.

Ланцюгові реакції використовуються в ядерних реакторах та атомних бомбах.

В атомній бомбі уран використовується вище критичного розміру, щоб отримати неконтрольовану ланцюгову реакцію, гарантуючи, що весь наявний матеріал зазнає поділу за мінімально можливий час. У ядерних реакторах концентрація урану-235 набагато менша, і ланцюгова реакція контролюється для того, щоб зменшити її швидкість і зупинити, якщо це необхідно.





У ядерній зброї маса матеріалу, що розщеплюється (збагаченого урану або плутонію), доводиться до надкритичного стану - це дозволяє експоненціальне зростання ядерних ланцюгових реакцій - або шляхом влучання одного шматка підкритичного матеріалу в інший (1), або шляхом стиснення підкритичної сфери або циліндра з матеріалом, що розщеплюється, за допомогою вибухових лінз з хімічним паливом (2).

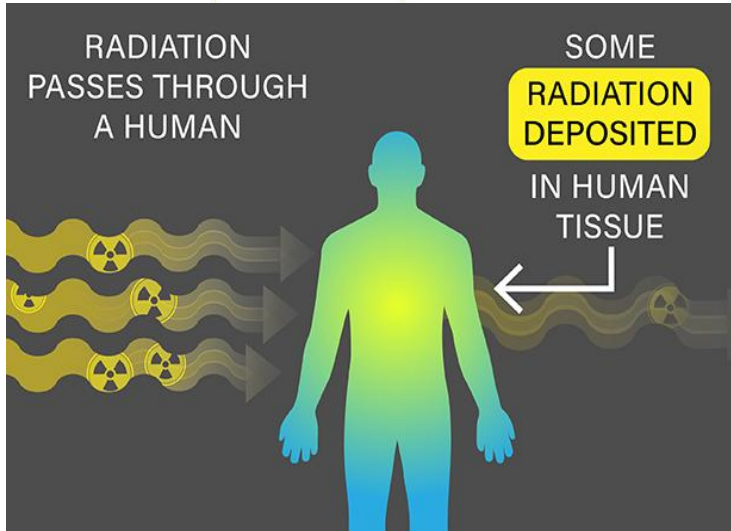
Кількість енергії, що виділяється при розщепленні, може варіюватися від еквіваленту трохи менше тонни до 500 000 тонн (500 кілотонн) тротилу (4.2 to 2.1×10^6 GJ)

Усі реакції поділу утворюють продукти поділу - залишки атомних ядер, що розділилися. Багато продуктів поділу є або високорадіоактивними (але короткоживучими), або помірно радіоактивними (але довгоживучими), і, як такі, вони є формою **радіоактивного забруднення**. Продукти поділу є основним радіоактивним компонентом ядерних опадів. Іншим джерелом радіоактивності є сплеск вільних нейтронів, вироблених зброєю.

Ядерні радіоактивні опади - це залишкові радіоактивні матеріали, що викидаються у верхні шари атмосфери після ядерного вибуху, тому що вони "випадають" з неба після вибуху і проходження ударної хвилі. Кількість і поширення радіоактивних опадів залежить від розміру боєприпасу і висоти, на якій він вибухнув. Радіоактивні опади можуть бути захоплені продуктами пірокумулятивними хмарами і випасти у вигляді чорного дощу.

Радіоактивний пил, що складається з продуктів поділу, змішаних зі збереженими атомами, які активуються нейтронами під впливом опромінення є однією з форм радіоактивного забруднення.

Radiation is all around us



- 0,05 мкГр - спати поруч з кимось
- 0,09 мкГр - проживання в радіусі 30 миль від атомної електростанції протягом року
- 0,1 мкГр - з'їдання одного банана
- 0,3 мкГр - проживання в радіусі 50 миль від вугільної електростанції протягом року
- 10 мкГр - середньодобова доза, отримана від природного радіаційного фону
- 20 мкГр - рентген грудної клітки
- 40 мкГр - 5-годинний переліт літаком
- 600 мкГр – мамографія
- 1 000 мкГр - ліміт дози для індивідуальної сумарної ефективної дози за рік
- 3 650 мкГр - середньорічна доза, отримана від природного фону
- 5 800 мкГр - КТ грудної клітки
- 10 000 мкГр - середня річна доза, отримана від природного фону в Рамсарі, Іран
- 20 000 мкГр - одноразова КТ всього тіла
- 175 000 мкГр - річна доза від природного випромінювання на монацитному пляжі (Гуарапарі, Бразилія).
- 5 000 000 мкГр - доза, яка вбиває людину з 50% ризиком (отримана протягом короткого часу)

З точки зору біологічних наслідків важливо розрізняти дози, отримані протягом короткого і тривалого періодів. "Гостра доза" виникає протягом короткого і обмеженого періоду, тоді як "хронічна доза" - це доза, яка набирається протягом тривалого періоду, тому потужність дози краще описує її. Великі дози, як правило, вбивають клітини, тоді як малі - пошкоджують або змінюють їх. Низькі дози, розподілені протягом тривалого часу, не спричиняють негайних проблем з жодним органом тіла. Вплив малих доз опромінення відбувається на клітинному рівні, і результати можуть не проявлятися протягом багатьох років.



Дві групи, які зазнали впливу промислових джерел іонізуючого випромінювання.

Опромінення населення - це опромінення окремих представників громадськості та населення в цілому

- ✓ Медичне опромінення
- ✓ Діагностичне рентгенівське випромінювання
- ✓ Процедури ядерної медицини
- ✓ Споживчі товари
- ✓ Будівельні та дорожньо-будівельні матеріали
- ✓ Сигарети для куріння (полоній-210)
- ✓ Паливо, включаючи газ і вугілля
- ✓ Рентгенівські системи безпеки
- ✓ Телевізори
- ✓ Детектори диму, ліхтарні плафони

Професійне опромінення - це опромінення працівників у ситуаціях, коли їхнє опромінення 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

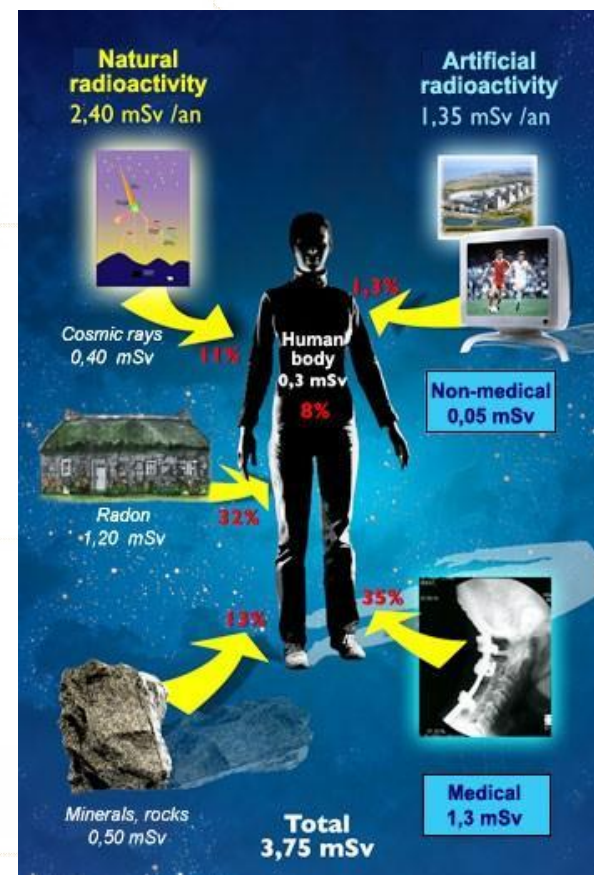


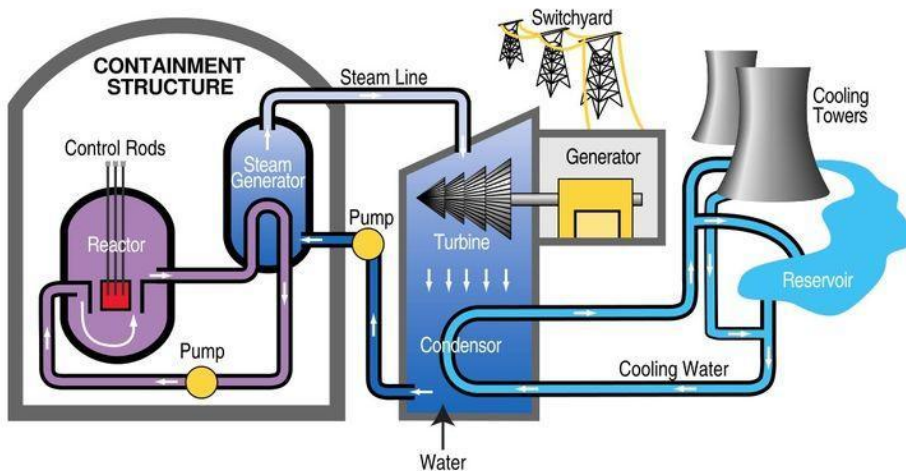
Штучні джерела радіоактивного випромінювання

Іонізуюче випромінювання має багато промислових і медичних застосувань. Штучні джерела включають медичне використання радіації, відходи при ядерних випробуваннях, промислове використання радіації, телебачення та численні інші пристрої, що виробляють радіацію.

Допустима доза
до 50 мЗв/рік
для населення

Допустима доза
500 мЗв/рік
для професіоналів





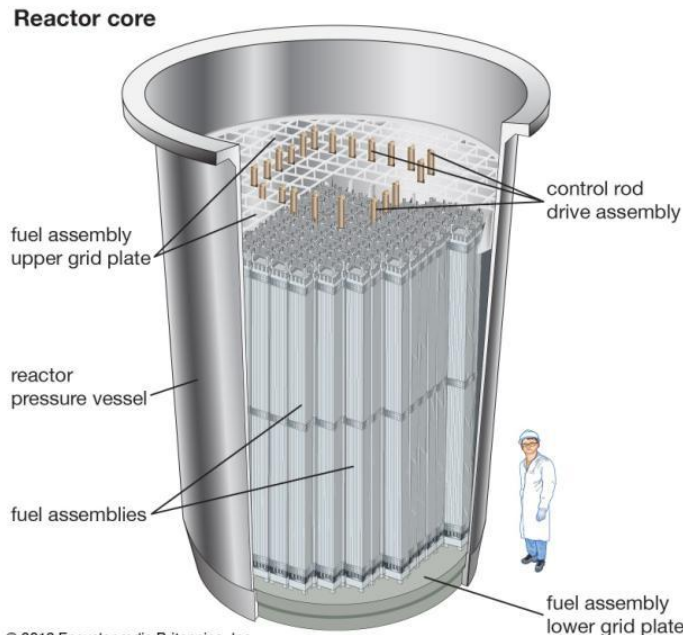
Атомна електростанція - це теплова електростанція, на якій ядерний реактор виробляє тепло, що використовується для утворення пари, яка приводить в дію парову турбіну, з'єднану з генератором, який виробляє електроенергію.

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 тепловиділяючі зборки (ТВЗ). ТВЗ складаються з *тепловиділяючих елементів, стержнів, серцевина яких вироблена з ядерного палива, охоплених оболонкою, або конструкційним матеріалом.* Теплота, яка виділяється в ТВЕЛах 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 ТВЕЛі однакових розмірів. Щоб реакція не зупинилась 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 біологічним екраном, до складу якого входить сповільнювач "швидких" нейтронів. Це може бути вода, свинець, залізо чи бетон, який містить залізну руду.



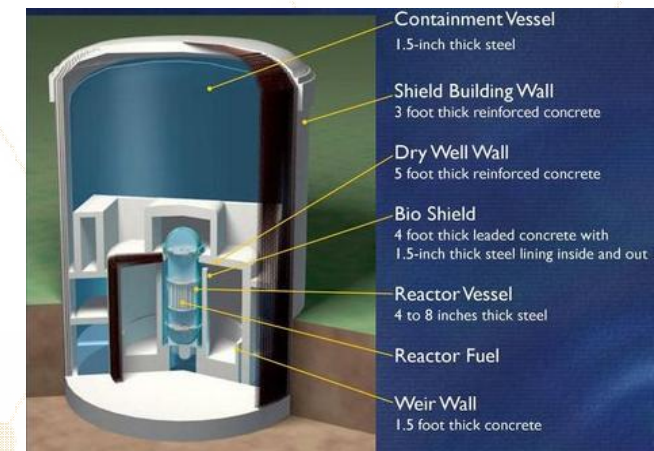
Ядерний реактор



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**:

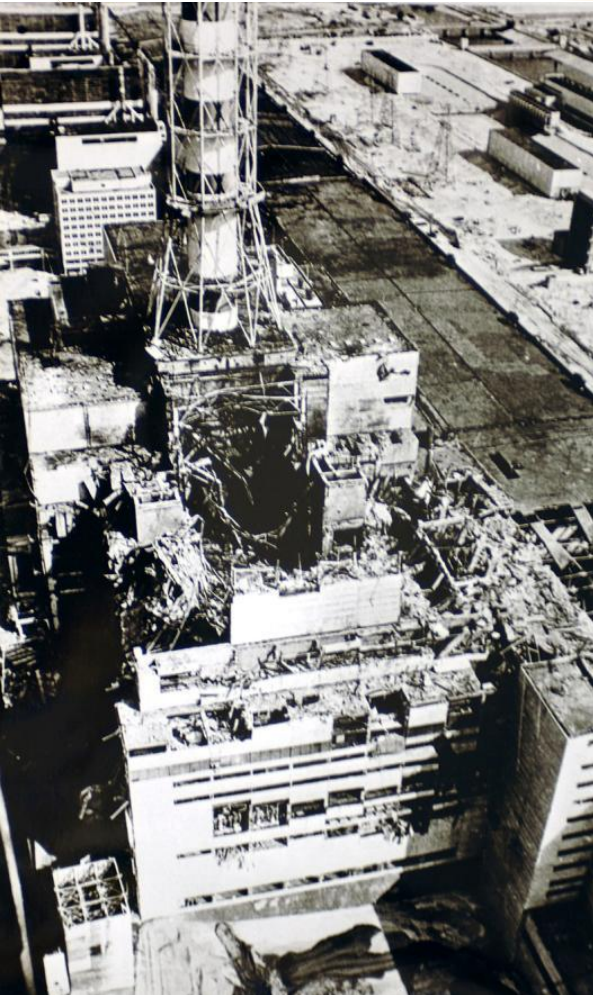
ядерне паливо, що складається з матеріалів, які розщеплюються, - урану-235 або плутонію-239; **ядерний сповільнювач** - сповільнює нейтрони для ініціювання поділу; **теплоносій реактора** - речовина, що циркулює через ядерний реактор для відведення або передачі тепла (найчастіше - вода); інші можливі 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.



Ядерна енергія в Україні





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.

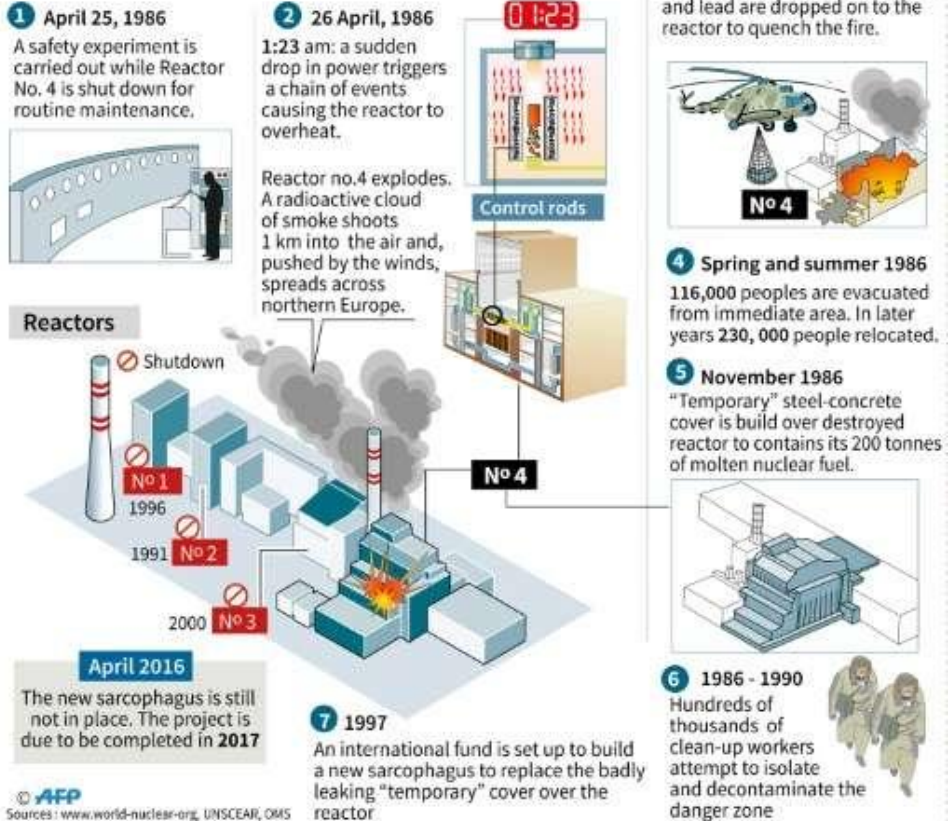
Справжню кількість жертв Чорнобильської катастрофи важко оцінити через довготривалі наслідки радіоактивного забруднення для здоров'я людей.

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



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

Chornobyl . Timeline of a disaster



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, 00:28.
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.

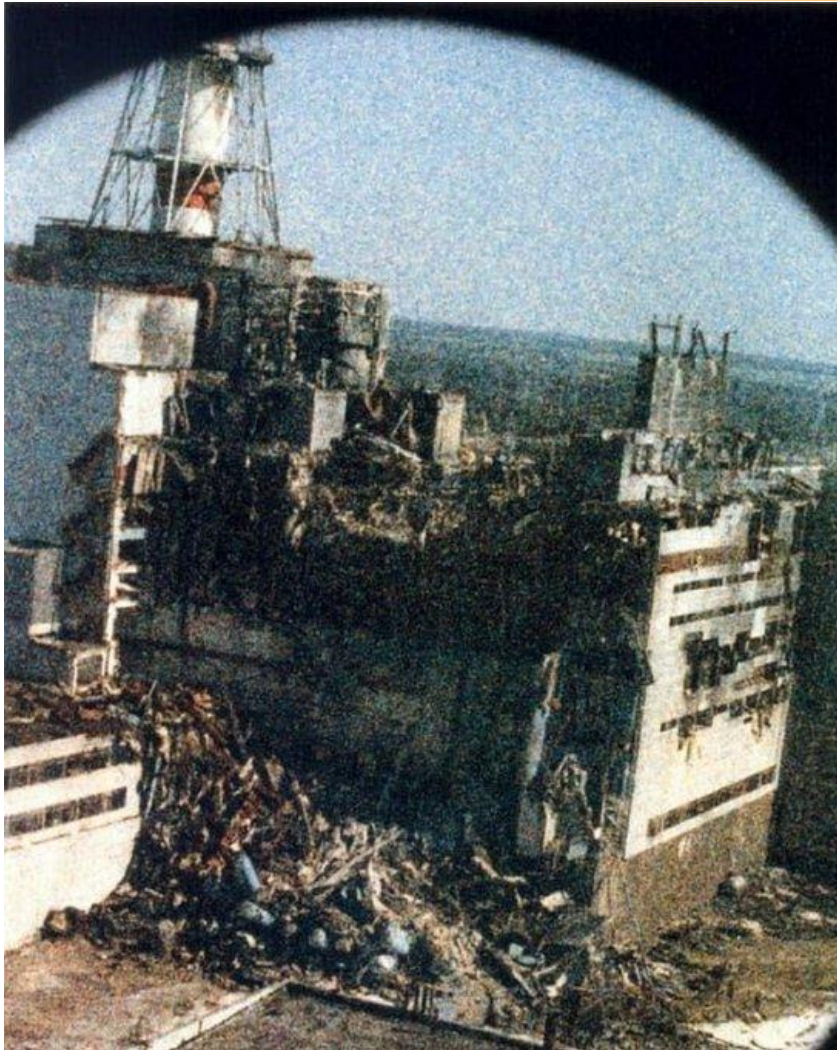
Оператор натискає кнопку аварійного вимкнення, але стрижні управління заклинює, коли вони входять в активну зону.

26 квітня 1986 року, 1:23:58.

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



Найбільш вражаюче фото



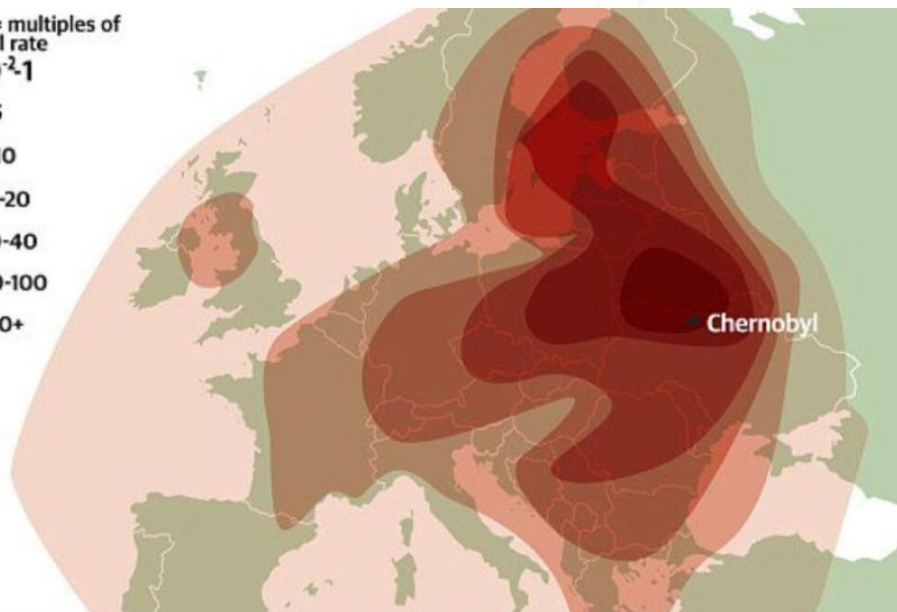
Це перше зображення Чорнобиля, зроблене через 14 годин після вибуху 26 квітня 1986 року. Фото було зроблено з гелікоптера, який оцінював рівень радіації над зоною катастрофи. **Зображення є зернистим через інтенсивну радіацію в повітрі, яка почала пошкоджувати плівку фотоапарата одразу після експозиції.**

Ігор Костін, фотограф, виявив, що радіація вплинула на його пристрій приблизно після 20 фотографій. Коли він обробив свої плівки, тільки одне зображення було придатним для використання. Всі інші фотографії, що постраждали від високого рівня радіації, вийшли повністю чорними.

Незважаючи на близькість до місця аварії, Костін не отримав смертельної дози радіації. Він загинув в автокатастрофі у 2015 році, коли йому було 78 років...

Dose = multiples of normal rate

- 10⁻²-1
- 1-5
- 5-10
- 10-20
- 20-40
- 40-100
- 100+

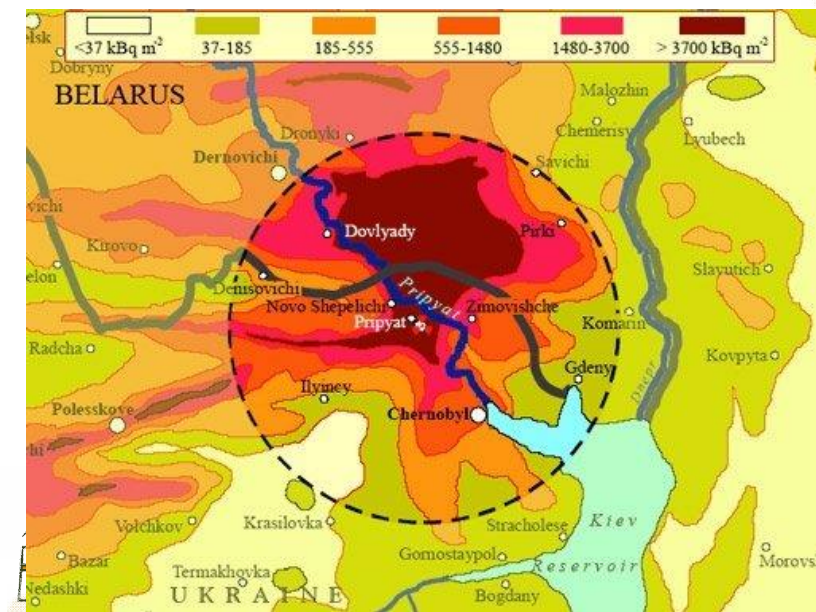


Чорнобиль та рівень радіаційного забруднення

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.

водночас

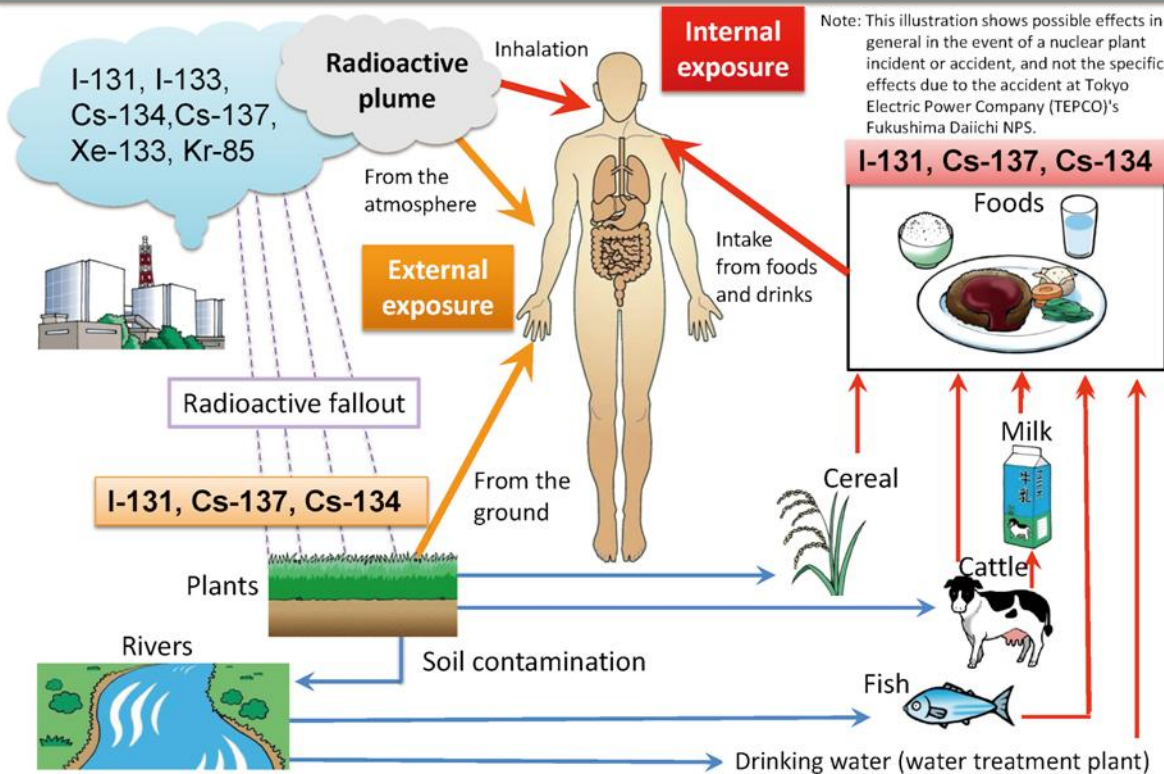
типова доза від одного сканування комп'ютерної томографії становить **5-9 мЗв**



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.

Nuclear Disaster

Effects of Reactor Accidents



Якщо на ядерній установці трапляється аварійна ситуація і відбувається витік радіоактивного газу, він потрапляє в атмосферу у стані, який називається "шлейф".

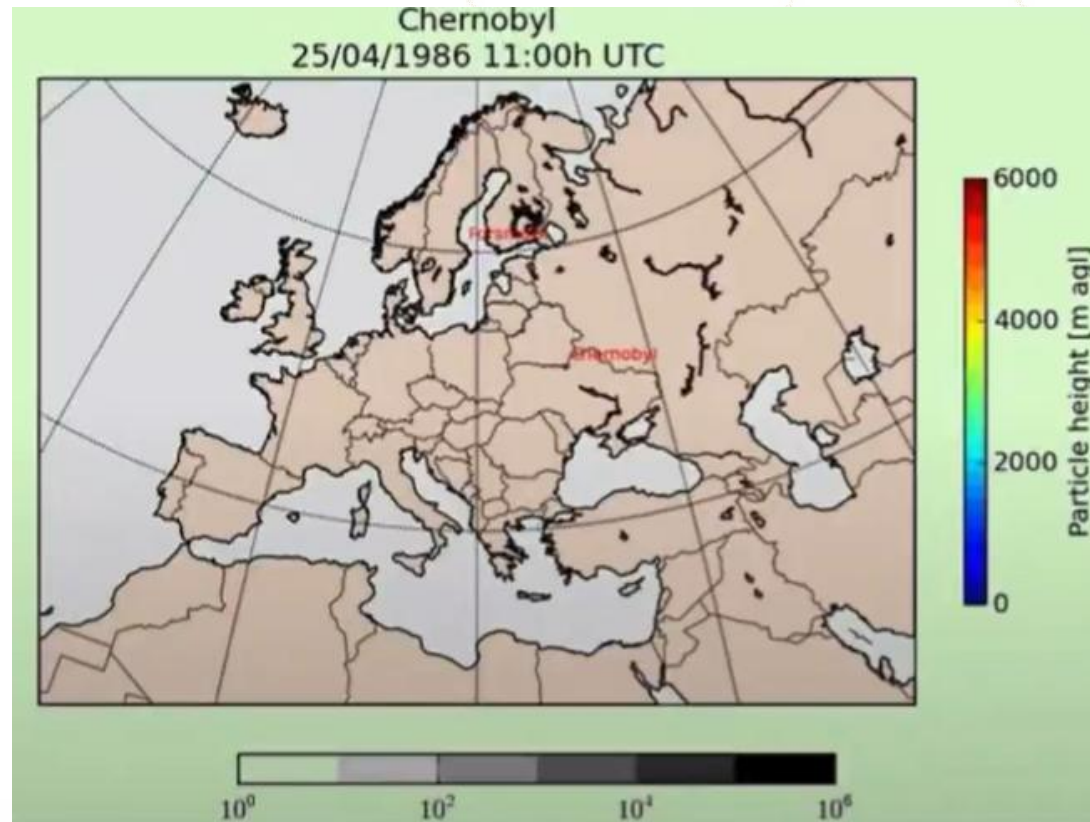
Шлейфи містять радіоактивні інертні гази та аерозолі (мікрокраплі та частинки рідини), такі як радіоактивний йод та радіоактивний цезій. Коли шлейф проходить у повітрі, то люди, що знаходяться під ним, піддаються зовнішньому опроміненню від радіоактивних матеріалів, що містяться в ньому. Крім того, люди, які вдихають радіоактивні матеріали, що містяться в шлейфі, піддаються внутрішньому опроміненню. Радіоактивні інертні гази не осідають на землю, і навіть якщо вони потрапляють в організм людини при вдиханні, вони не залишаються в ньому. Аерозолі, такі як радіоактивний йод і радіоактивний цезій, поступово опускаються вниз під час проходження шлейфу і осідають на поверхню землі та рослин.

Зовнішнє опромінення від осаджених радіоактивних матеріалів може відбутися навіть після того, як шлейф пройшов, а внутрішнє опромінення може також відбутися, якщо хтось споживає забруднену питну воду або продукти харчування.



Чорнобиль та рівень радіаційного забруднення

<https://twitter.com/i/status/1769061532732731436>



Радіоактивні матеріали, отримані внаслідок ядерних аварій

Nuclear Disaster		Radioactive Materials Derived from Nuclear Accidents				
	H-3 Tritium	Sr-90 Strontium-90	I-131 Iodine-131	Cs-134 Cesium-134	Cs-137 Cesium-137	Pu-239 Plutonium-239
Types of radiation	β	β	β, γ	β, γ	β, γ	α, γ
Biological half-life	10 days ^{*1 *2}	50 years ^{*3}	80 days ^{*2}	70-100 days ^{*4}	70-100 days ^{*3}	Liver: 20 years ^{*5}
Physical half-life	12.3 years	29 years	8 days	2.1 years	30 years	24,000 years
Effective half-life <small>(calculated from biological half-life and physical half-life)</small>	10 days	18 years	7 days	64-88 days	70-99 days	20 years
Organs and tissues where radioactive materials accumulate	Whole body	Bones	Thyroid	Whole body	Whole body	Liver and bones

Чотири типи радіоактивних матеріалів - йод-131, цезій-134, цезій-137 і стронцій-90 - викликають найбільше занепокоєння з точки зору здоров'я та навколишнього середовища.

Йод-131 має малий період напіврозпаду - близько 8 днів, але коли він потрапляє в організм, 10-30% його накопичується в щитовидній залозі. Якщо це станеться, щитовидна залоза продовжуватиме деякий час зазнавати локального опромінення β -частинками та γ -променями.

Цезій-134 і Цезій-137 є основними причинами забруднення внаслідок аварій на атомних електростанціях. Цезій-137 має великий період напіврозпаду - 30 років і продовжує забруднювати навколишнє середовище протягом тривалого часу. Оскільки радіоактивний цезій має подібні хімічні властивості з калієм, він буде розподілятися по організму, як і калій. Біологічний період напіврозпаду цезію та йоду залежить від віку людини, і, як відомо, він стає тим коротшим, чим молодша людина.

Стронцій-90 має великий період напіврозпаду, і, потрапляючи в організм, він накопичується в кістках, оскільки за своїми хімічними властивостями подібний до кальцію. Оскільки він не випромінює γ -промені, виявити, де і скільки його є в організмі, не так просто, як у випадку з цезієм-134 і цезієм-137. При аварії на АЕС стронцій-90 також утворюється в результаті ядерного поділу, хоча і в меншій кількості, ніж цезій-134 і цезій-137.



<https://www.env.go.jp/en/chemi/rhm/basic-info/1st/02-02-04.html>

Чорнобиль спричинив радіаційне забруднення. Цезій-137

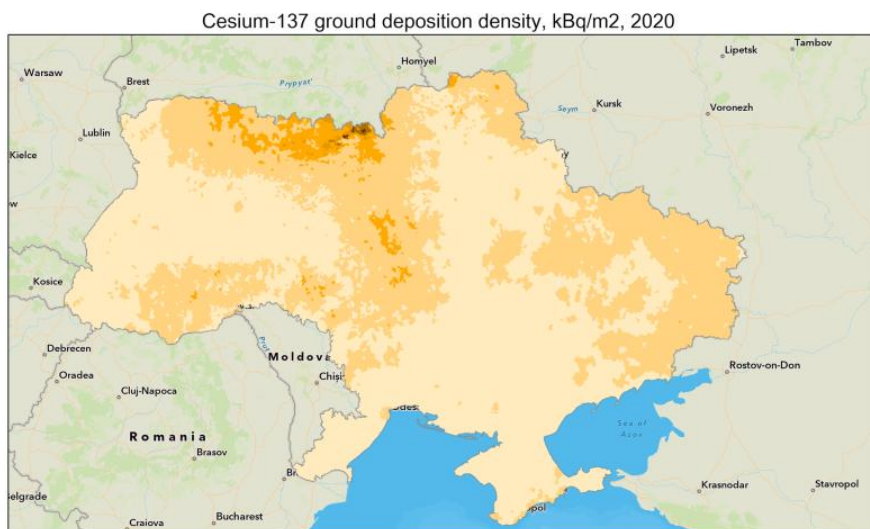
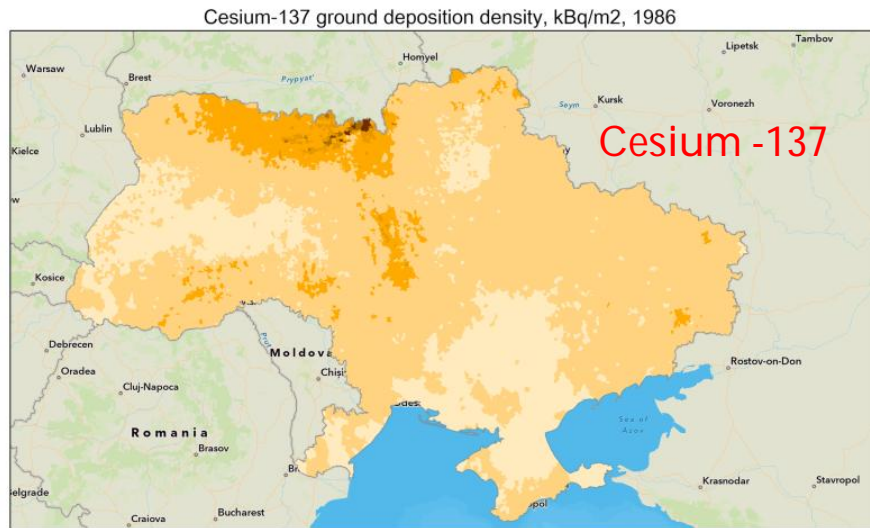
Період напіврозпаду: 30,17 років

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.



5/1/2023, 3:19:06 PM
Cesium-137, kBq/m², 2020 (estimated)

0.2 - 3.69	37 - 184.99	1480 - 6041.06
3.7 - 36.99	185 - 554.99	
	555 - 1479.99	

Oblasts

1:9,244,649
0 50 100 200 mi
0 80 160 320 km
HURI, ERI, HERE, Garmin, FAO, NOAA, USGS

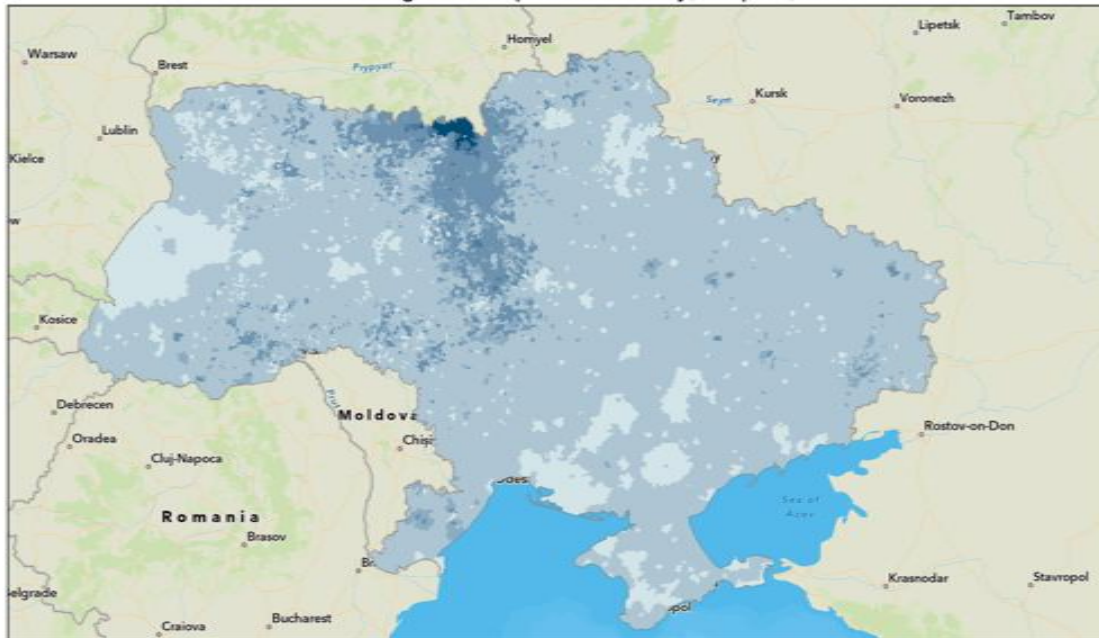
ERI, HERE, Garmin, FAO, NOAA, USGS | HURI



<https://huri.harvard.edu/news/mapa-advances-research-chornobyl-chernobyl-nuclear-disaster>

Чорнобиль спричинив радіаційне забруднення. Стронцій-90

Strontium-90 ground deposition density, kBq/m², 1986



5/1/2023, 3:22:47 PM
Strontium-90, kBq/m², 1986 (measured)

0 - 0.73	3.7 - 5.49	111 - 2614.21
0.74 - 3.69	5.5 - 36.99	Oblasts
	37 - 110.99	

1:9,244,649
0 50 100 200 mi
0 80 160 320 km
HERE, Esri, HERE, Garmin, FAO, NOAA, USGS

Esri, HERE, Garmin, FAO, NOAA, USGS | HERE

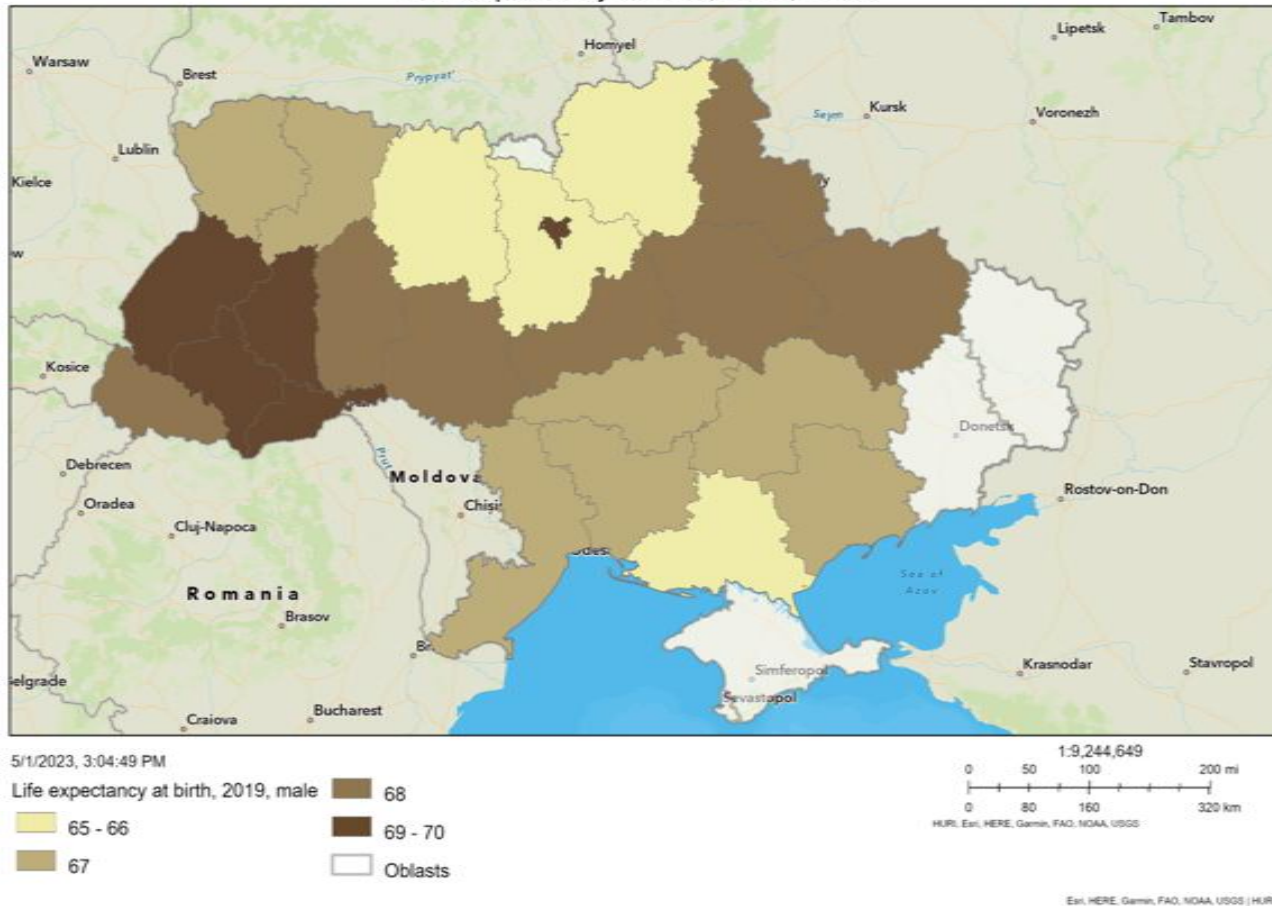
Період напіврозпаду: 29,1 років
Режим розпаду: Бета-випромінювання

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.



Чорнобиль спричинив радіаційне забруднення

Life expectancy at birth, 2019, male

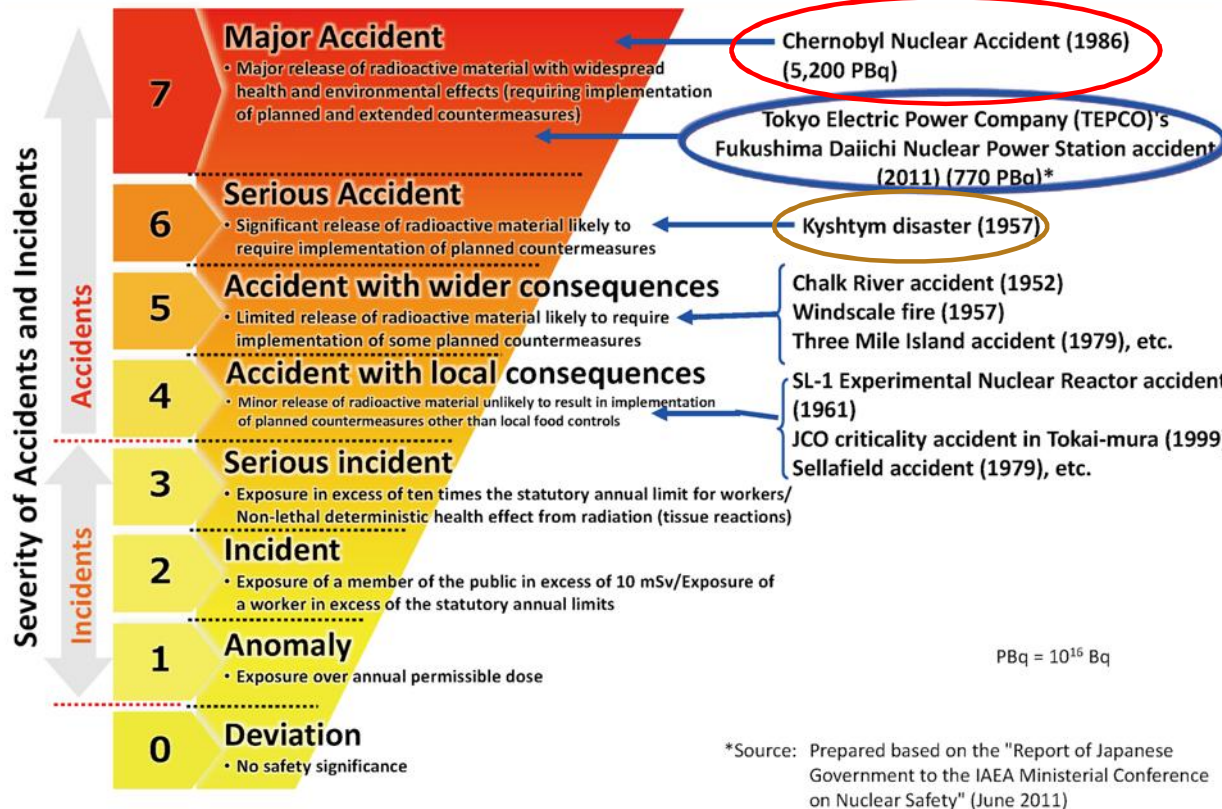


3,8-4,0% усіх смертей на забруднених територіях України з 1990 по 2004 роки були спричинені Чорнобильською катастрофою. Відсутність доказів підвищення смертності в інших постраждалих країнах не є доказом відсутності впливу радіоактивних опадів. З 1990 року смертність серед ліквідаторів перевищувала рівень 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 кількох мільйонного населення, якому не пощастило проживати на територіях, що зазнали радіоактивного забруднення.

Nuclear Disaster International Nuclear and Radiological Event Scale



Міжнародна шкала ядерних і радіологічних подій (INES) була створена МАГАТЕ (Міжнародним агентством з атомної енергії) та ОЕСР/АЯЕ (Організацією економічного співробітництва та розвитку/Агентством з ядерної енергії), і в 1992 році всім країнам було рекомендовано офіційно прийняти її.

Інциденти та аварії на ядерних об'єктах поділяються на сім категорій за ступенем тяжкості. Кожна країна визначає ступінь тяжкості інцидентів або аварій за цією шкалою і оголошує результати.

Аварії на Чорнобильській АЕС та на АЕС "Фукусіма-1" компанії ТЕРСО були попередньо віднесені до 7-го рівня, що свідчить про те, що це були найсерйозніші аварії через кількість викинутих радіоактивних матеріалів.



Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника

Кафедра матеріалознавства і новітніх технологій,

volodymyr.kotsuybysky@pnu.edu.ua

