

Ochrona radiologiczna

Szkolenie dla jednostek straży pożarnej

Promieniowanie jonizujące - wprowadzenie

Promieniowaniem nazywamy każdą formę energii wysyłaną w postaci fali elektromagnetycznej lub strumienia cząstek

Promieniowanie, w zależności od zdolności jonizacji* ośrodka materialnego, dzieli się na:

- **promieniowanie niejonizujące** - promieniowanie nie wywołujące jonizacji atomów ośrodka; np. promieniowanie ciepłe, słoneczne, wyładowania atmosferyczne
- **promieniowanie jonizujące** - promieniowanie o bezpośredniej lub pośredniej zdolności jonizacji atomów ośrodka

* Jonizacja - zjawisko powstawania jonu z obojętnego atomu lub cząsteczki poprzez wybicie elektronu

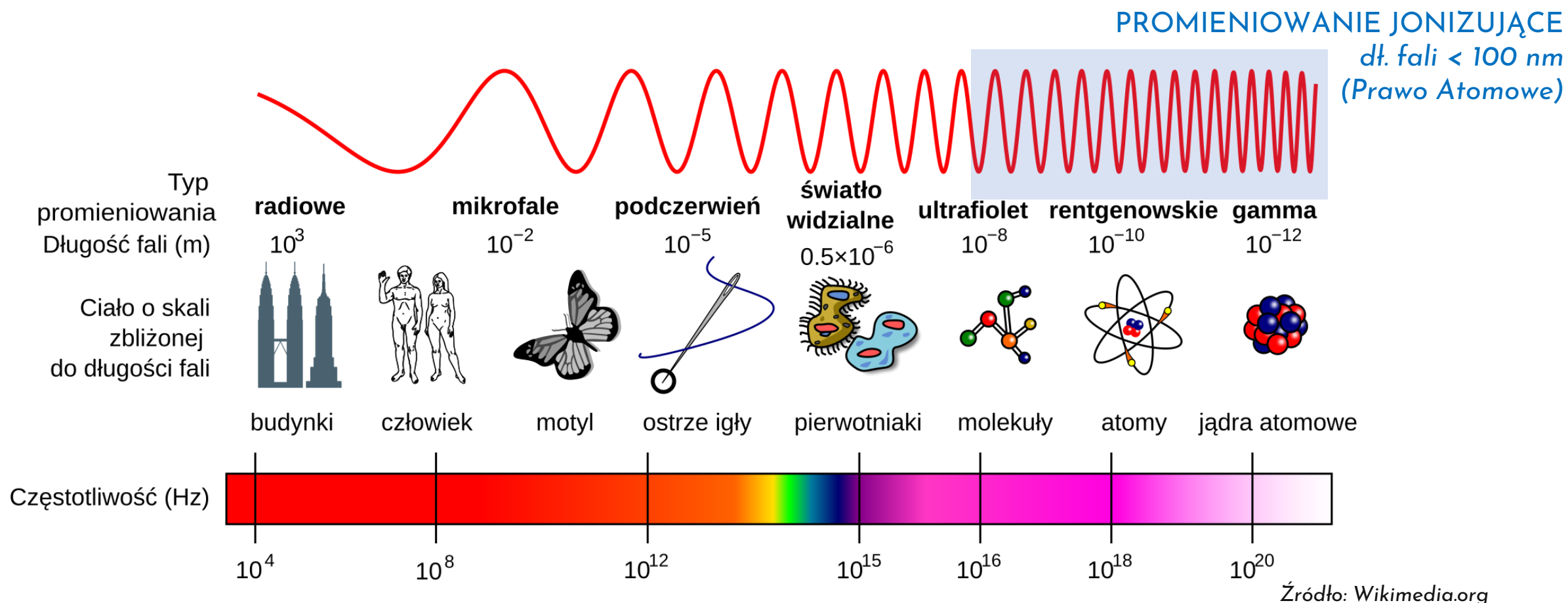
Promieniowanie jonizujące - wprowadzenie

Promieniowanie jonizujące - promieniowanie składające się z cząstek bezpośrednio lub pośrednio jonizujących albo z obu rodzajów tych cząstek lub fal elektromagnetycznych o długości do 100 nm (nanometrów);

(Prawo Atomowe)

- **promieniowanie falowe** (fale elektromagnetyczne o dł. < 100 nm):
 - promieniowanie X (RTG), gamma
- **promieniowanie korpuskularne** (cząstki):
 - alfa, beta, protony, neutrony i inne

Widmo fal elektromagnetycznych



Jak powstaje promieniowanie jonizujące ?

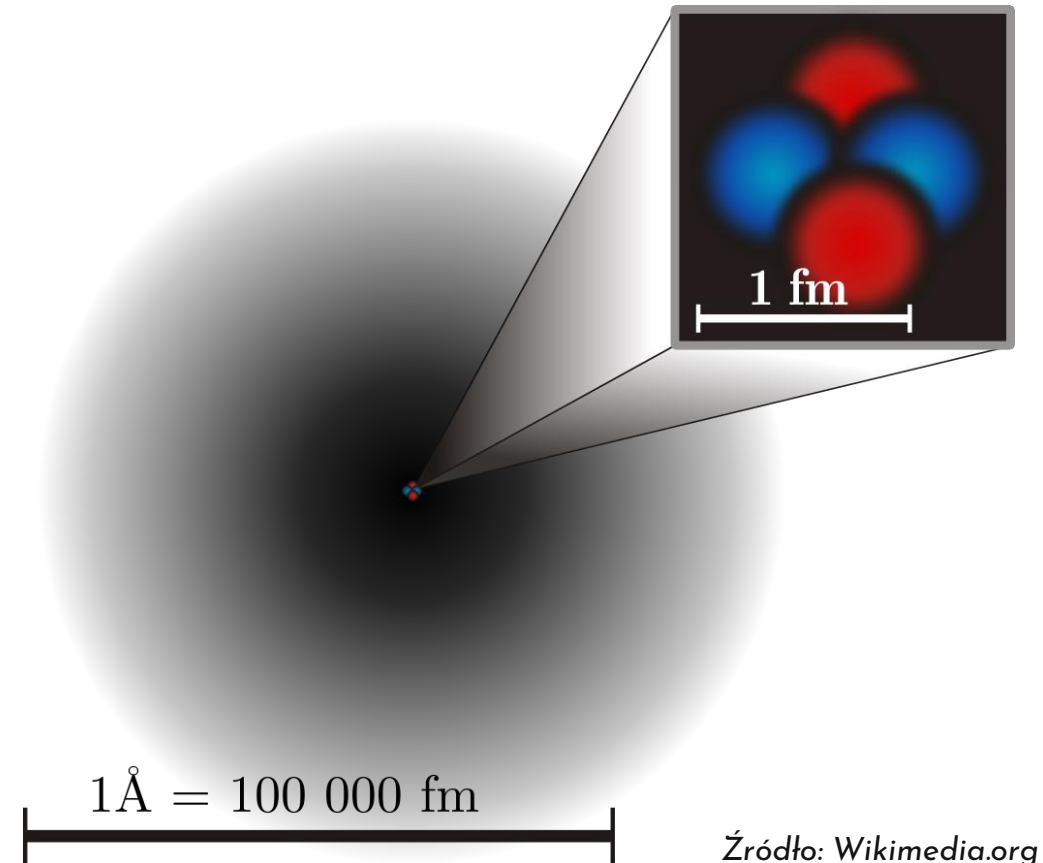
Budowa atomu

Atom składa się z:

- o dodatnio naładowanego jądra o dużej gęstości
- o chmury elektronowej o ujemnym ładunku elektrycznym

Atomy mają rozmiary rzędu 10^{-10} m i masę rzędu 10^{-26} - 10^{-25} kg

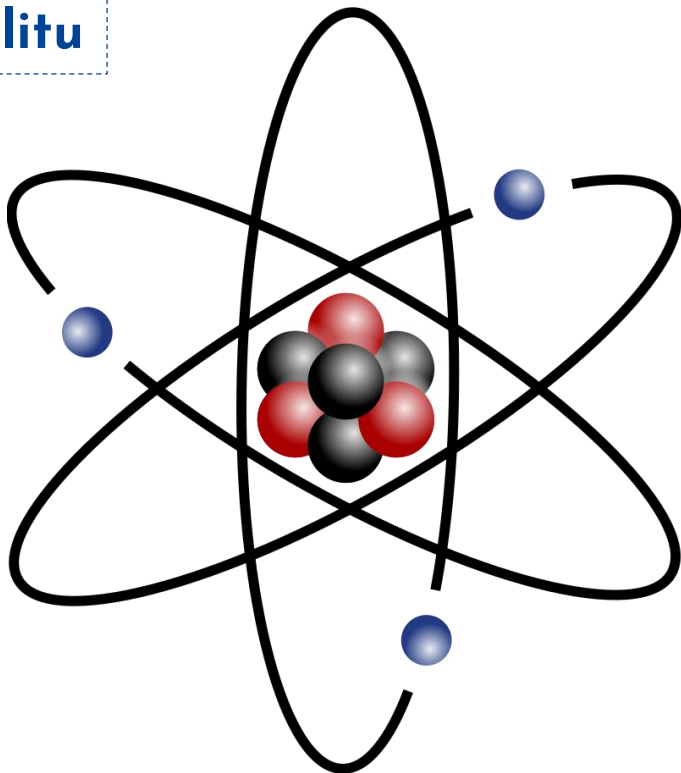
Ponad 99,9% masy atomu jest zawarte w jego jądrze, którego rozmiary są 100 000 razy mniejsze od rozmiarów atomu.



Źródło: Wikimedia.org

Budowa atomu

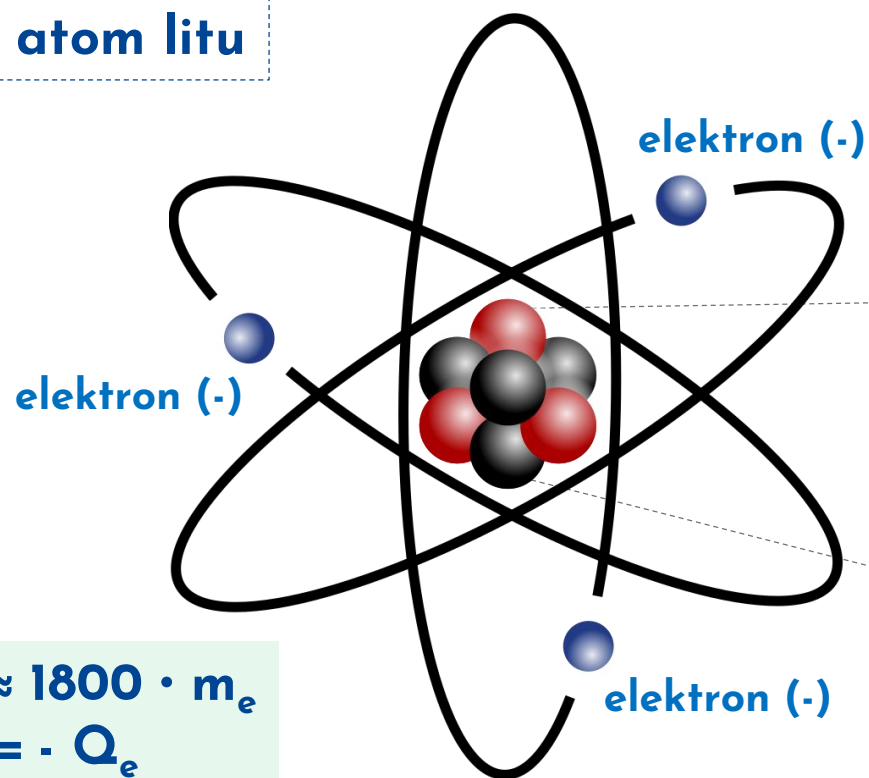
Przykład: atom litu



Źródło: Wikimedia.org

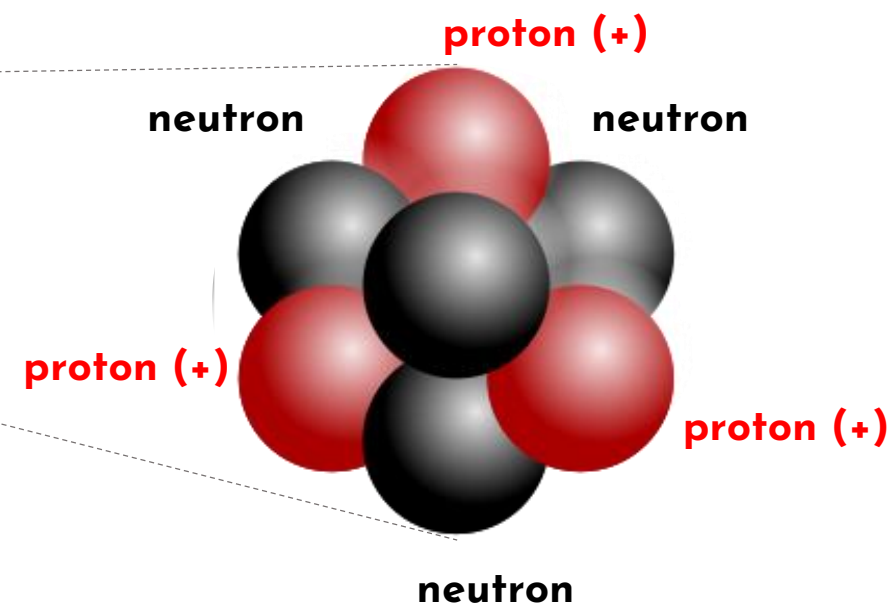
Budowa atomu

Przykład: atom litu



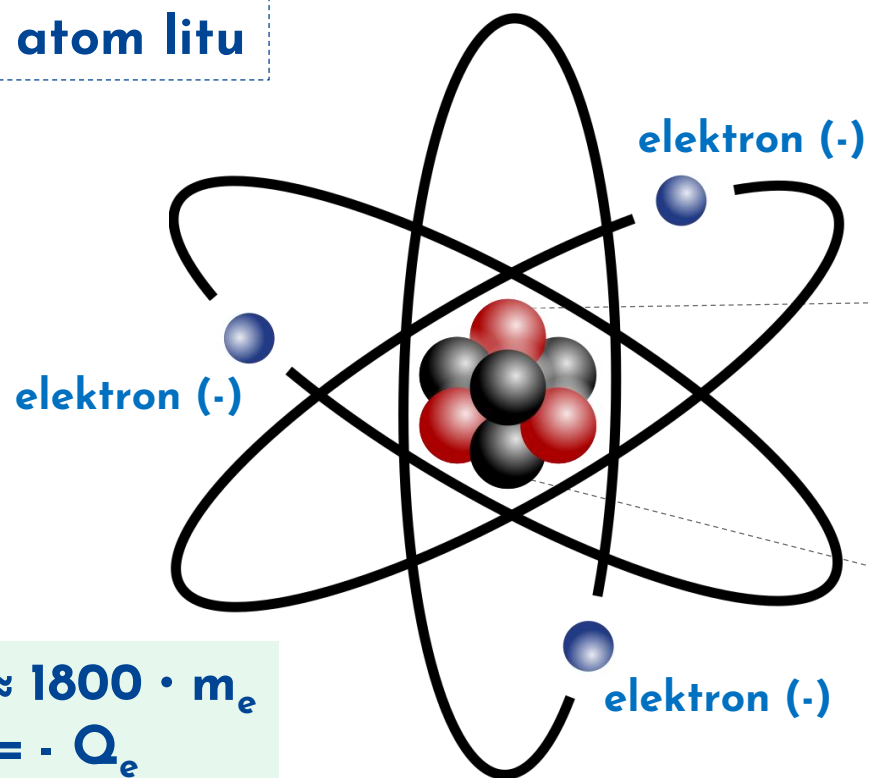
$$m_p \approx m_n \approx 1800 \cdot m_e$$
$$Q_p = - Q_e$$
$$Q_n = 0$$

Atom jest elektrycznie obojętny
l. elektronów = l. protonów



Budowa atomu

Przykład: atom litu



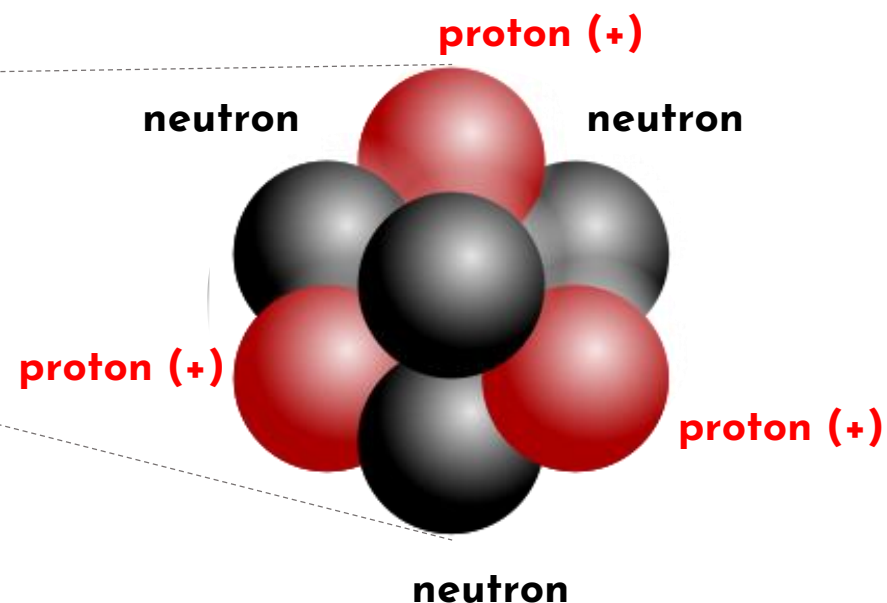
$$m_p \approx m_n \approx 1800 \cdot m_e$$
$$Q_p = -Q_e$$
$$Q_n = 0$$

Liczba masowa, $A = n + p$ →

Liczba atomowa, $Z = p$ →

6
3Li

Symbol
pierwiastka

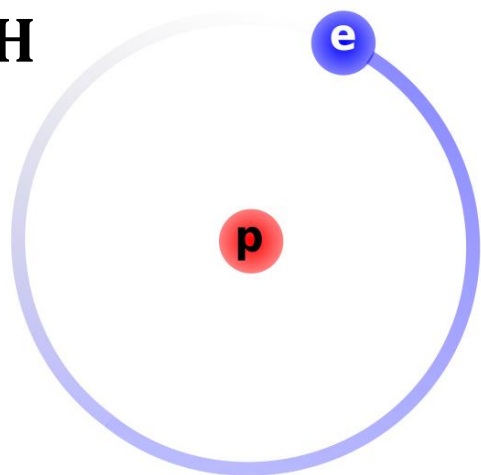


Izotopy

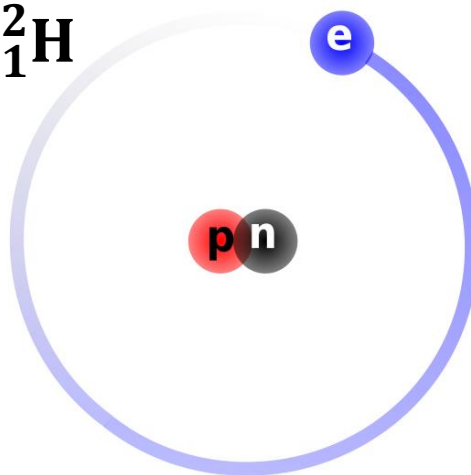
Izotopy to atomy tego samego pierwiastka różniące się liczbą neutronów w jądrze atomowym

Przykład: izotopy wodoru

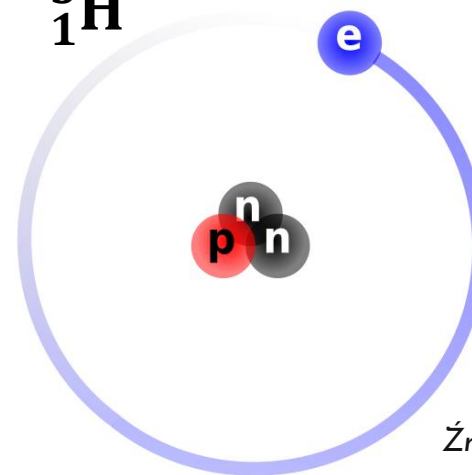
${}^1_1\text{H}$



${}^2_1\text{H}$



${}^3_1\text{H}$



Źródło: Wikimedia.org

Izotopy promieniotwórcze

Poszczególne izotopy mogą być stabilne lub niestabilne, o czym decyduje m.in. wypadkowa wszystkich oddziaływań zachodzących wewnątrz jądra.

Radioaktywność (promieniotwórczość) to właściwość jąder atomowych polegająca na rozpadzie promieniotwórczym, który najczęściej jest związany z emisją cząstek alfa, cząstek beta oraz promieniowania gamma. Efektem rozpadu jest powstawanie nowych izotopów, które nadal mogą być niestabilne.

- **promieniowanie alfa (α)** - strumień dodatnio naładowanych ciężkich cząstek α (jąder atomów helu)
- **promieniowanie beta (β)** - strumień lekkich cząstek naładowanych ujemnie (elektronów) lub dodatnio (pozytonów)
- **promieniowanie gamma (γ)** - towarzyszy często rozpadom α i β , po których jądro pozostało w stanie wzbudzone energetycznie. Przejście do stanu podstawowego jest związane z emisją fali elektromagnetycznej, zwanej kwantem gamma.

Izotopy promieniotwórcze - własności

- **Aktywność promieniotwórcza**, A - wyraża liczbę przemian promieniotwórczych zachodzących w jednostce czasu.

Jednostka: bekerel [Bq]

$$1 \text{ Bq} = \frac{1 \text{ rozpad}}{1 \text{ s}}$$

- **Czas połowicznego rozpadu**, $T_{1/2}$ - czas niezbędny do tego, aby izotop promieniotwórczy stracił połowę swojej aktywności wskutek rozpadu promieniotwórczego.

Przykłady: ^{226}Ra ($T_{1/2} = 1\,600$ lat), ^{131}I ($T_{1/2} = 8$ dni), ^{137}Cs ($T_{1/2} = 30$ lat), ^{60}Co ($T_{1/2} = 5,3$ lat),
 ^{239}Pu ($T_{1/2} = 24\,110$ lat), ^{192}Ir ($T_{1/2} = 74$ dni), ^{238}U ($T_{1/2} = 4,5$ mld lat)

- **Energia**, E - jednostką energii powszechnie stosowaną w fizyce jądrowej jest **elektronowolt (eV)**. Odpowiada energii jaką uzyskuje elektron w różnicy potencjałów równej 1 V.

$$1 \text{ eV} \cong 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

Przykłady: $E_{\alpha} \approx 4\text{-}5 \text{ MeV}$; $E_{\beta} \approx \text{keV} - \text{MeV}$; $E_{\gamma} \approx \text{keV} - \text{MeV}$

Urządzenia wytwarzające prom. jon.

Urządzenia wytwarzające promieniowanie jonizujące, w odróżnieniu od izotopów, emitują promieniowanie tylko gdy są włączone.

Stosowane w medycynie, przemyśle, nauce.

Przykłady:

- Aparat RTG

Urządzenie wytwarzające **promieniowanie X** (podobne do promieniowania gamma)

- Akcelerator

Urządzenie emitujące różnego rodzaju **przyspieszone cząstki naładowane** np. elektrony, protony. *Uwaga ! Zaktywowane elementy akceleratora są promieniotwórcze*

Promieniowanie neutronowe

Neutrony mogą być emitowane w wyniku rozszczepienia jąder atomowych lub reakcji jądrowych.

Przykłady:

- izotop Cf-252

podczas samorzutnego rozszczepienia emituje neutrony

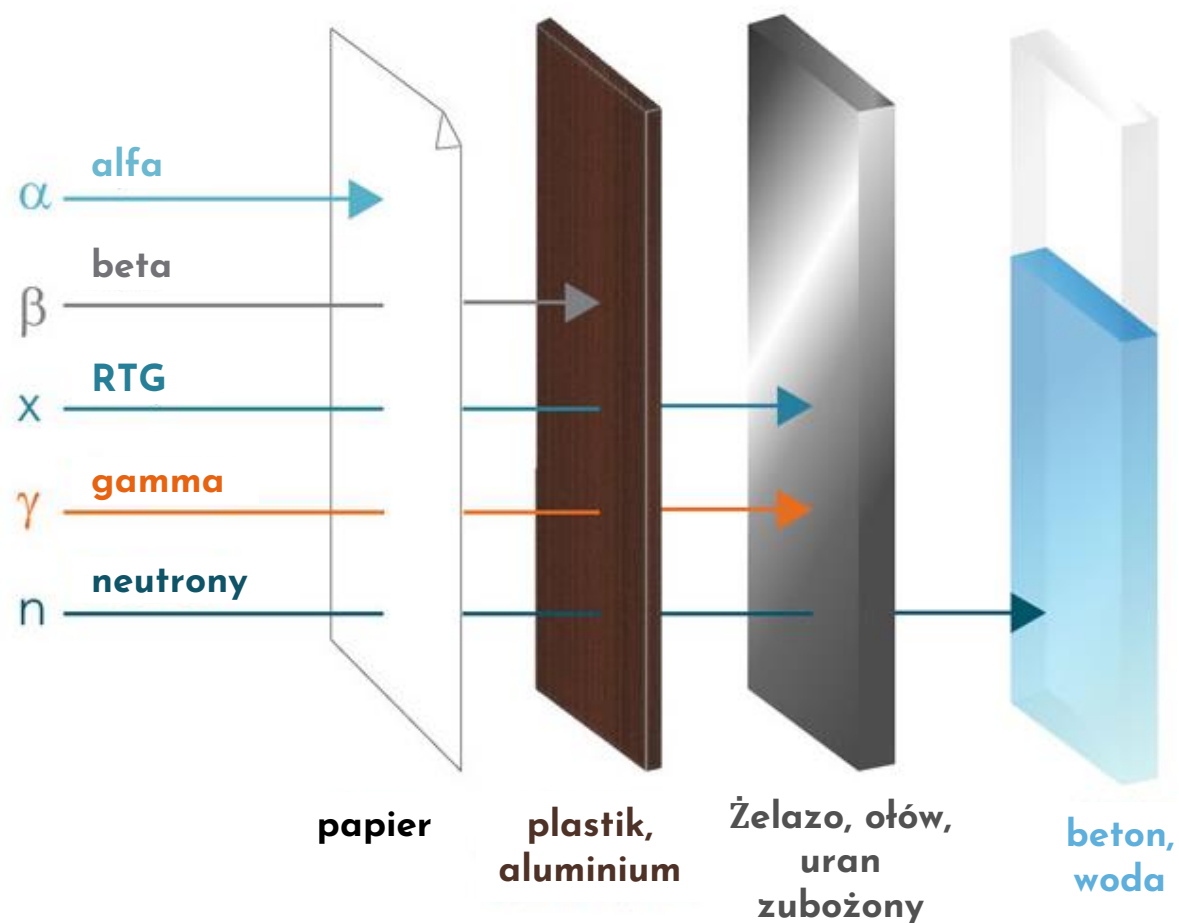
- źródła neutronowe np. Am-Be, Pu-Be, Ra-Be

Specjalna konstrukcja stanowiąca połączenie izotopu alfa-promieniotwórczego oraz berylu gdzie w wyniku reakcji jądrowej emitowane są neutrony $\alpha + {}^9\text{Be} \rightarrow {}^{12}\text{C} + \text{n}$

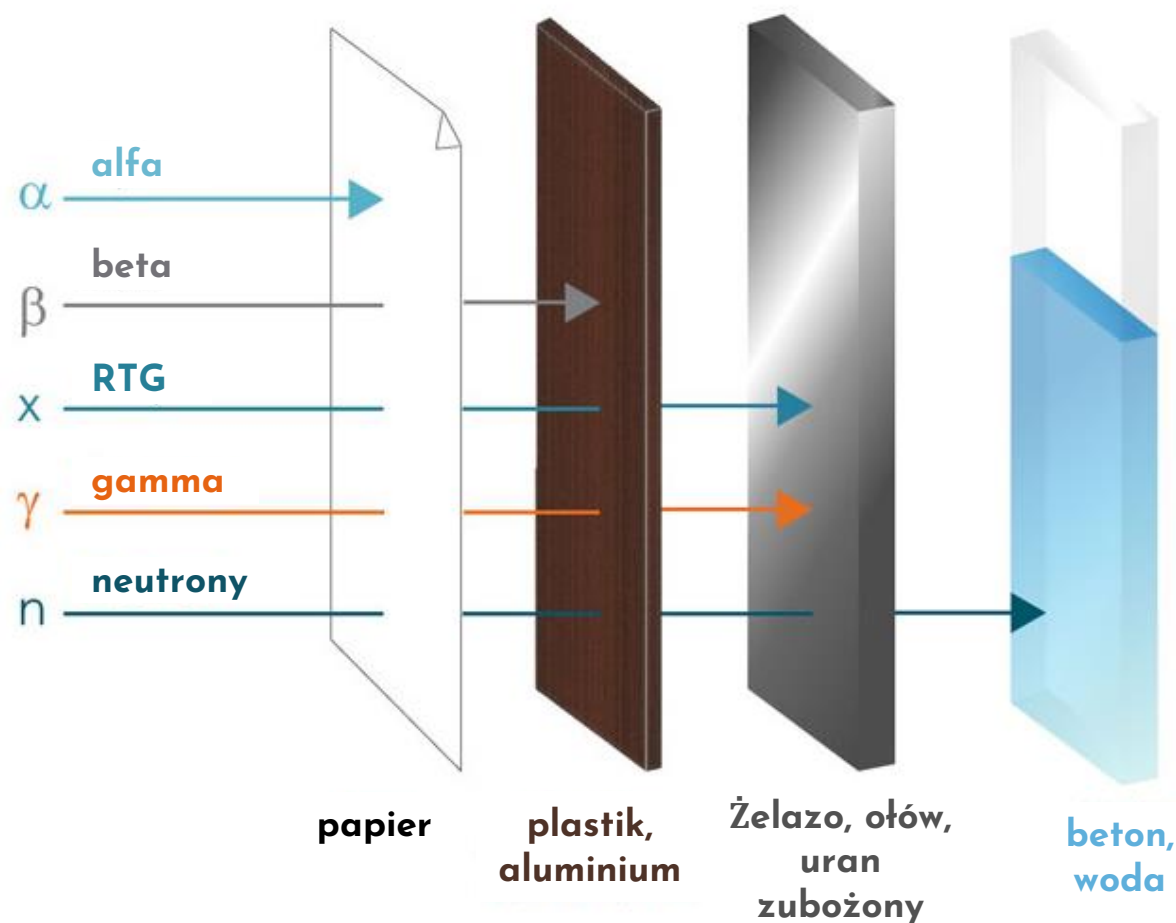
- generator neutronów

rodzaj akceleratora cząstek (deuter) gdzie w reakcji jądrowej z tarczą zawierającą tryt emitowane są neutrony $\text{d} + \text{t} \rightarrow \alpha + \text{n}$

Odziaływanie prom. jonizującego z materią



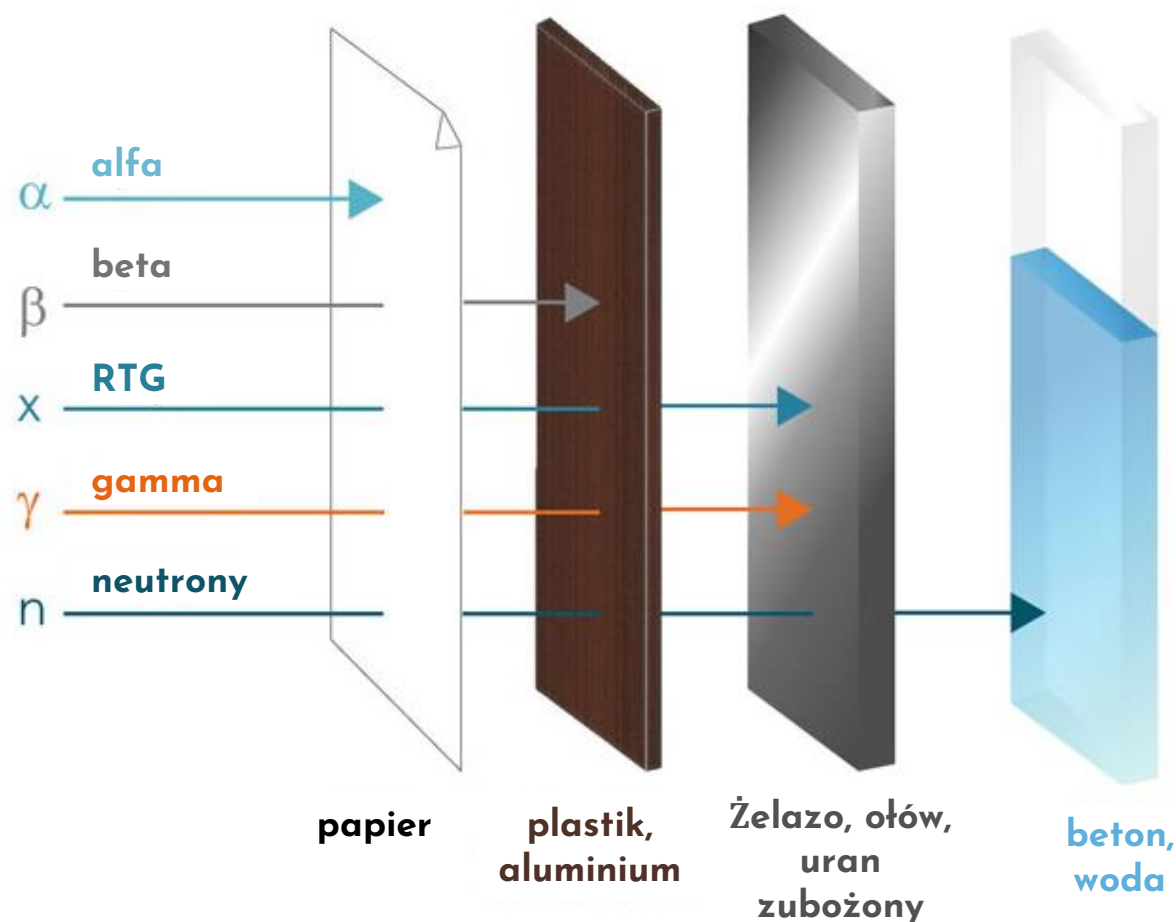
Odziaływanie prom. jonizującego z materią



Promieniowanie alfa

- Mało przenikliwe → krótki zasięg kilku cm
- Duża zdolność jonizacji ośrodka
- Łatwo zatrzymać np. kartka papieru

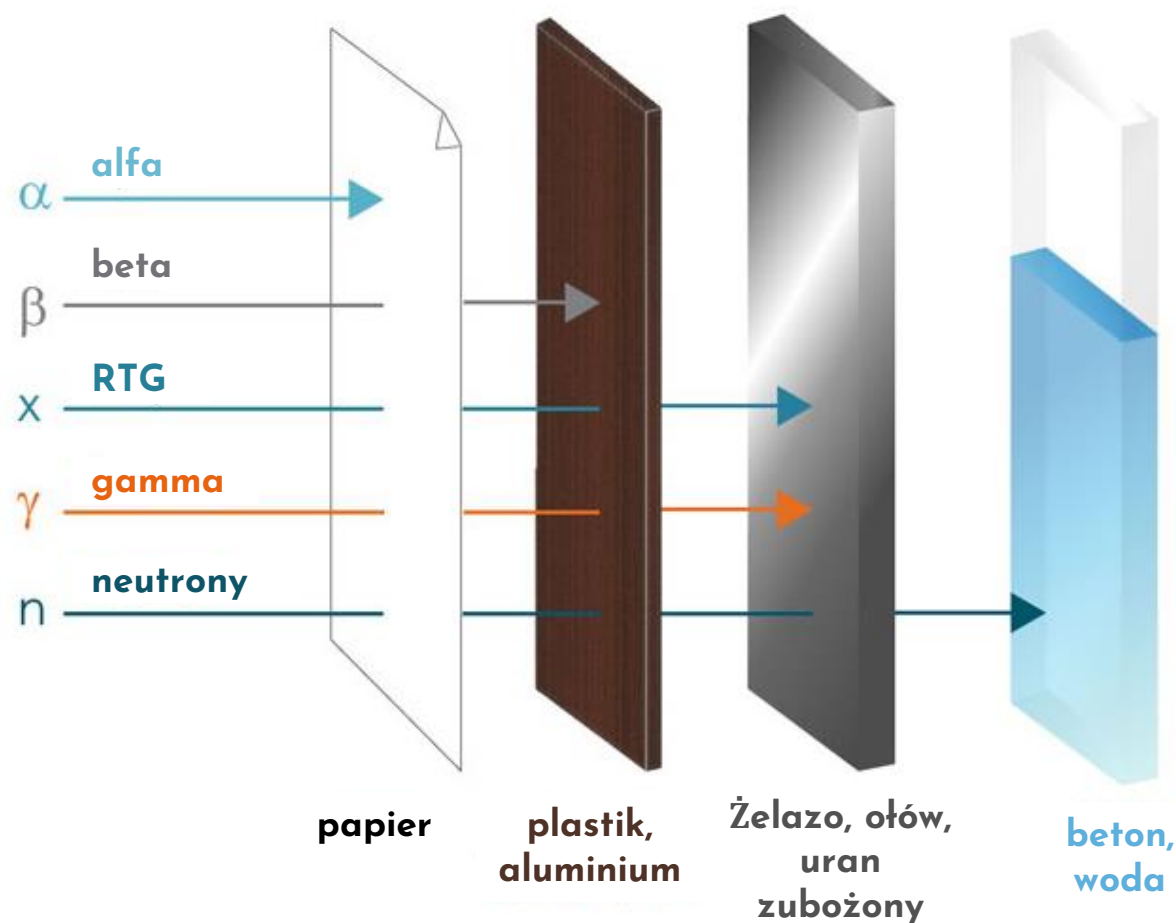
Odziaływanie prom. jonizującego z materią



Promieniowanie beta

- Średnia przenikliwość, zależna od energii → zasięg w powietrzu od kilku cm do kilku m
- Średnia zdolność jonizacji ośrodka
- Osłony z materiałów lekkich aby uniknąć wtórnego promieniowania X

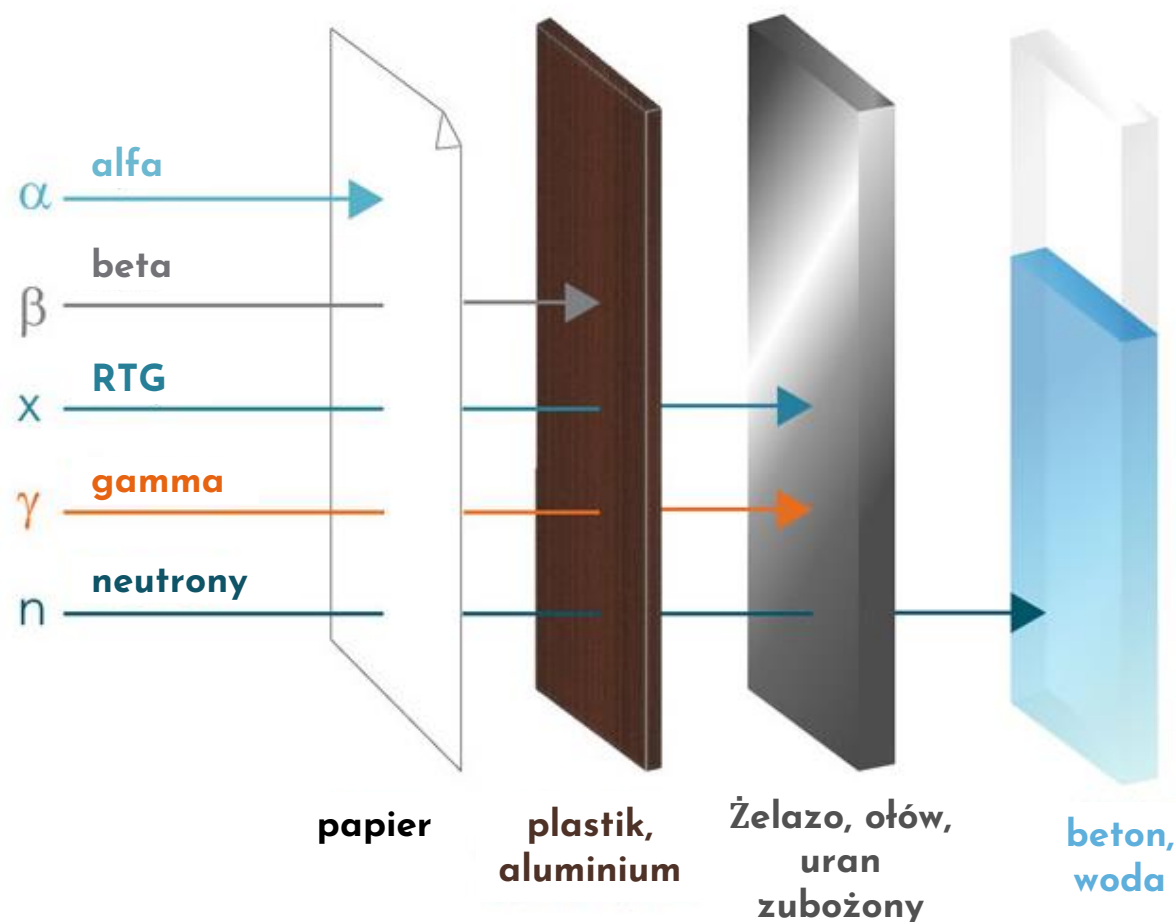
Odziaływanie prom. jonizującego z materią



Promieniowanie RTG, gamma

- Bardzo przenikliwe → zasięg w powietrzu praktycznie nieograniczony
- Najmniejsza zdolność jonizacji ośrodka
- Osłony z materiałów ciężkich jak beton, ołów

Odziaływanie prom. jonizującego z materią



Promieniowanie neutronowe

- Bardzo przenikliwe → zasięg w powietrzu praktycznie nieograniczony
- Duża zdolność jonizacji ośrodka, zależna od energii
- Osłony z materiałów zawierających wodór np. woda, parafina, beton oraz kadm/bor

Wielkości dozymetryczne - dawka pochłonięta

Dawka pochłonięta, D - jest to średnia energia, jaką traci promieniowanie, a pochłania ośrodek, przez który promieniowanie przechodzi, przypadająca na jednostkę masy tego ośrodka.

Jednostka: **Grey [Gy]** $1 \text{ Gy} = 1 \text{ J} / \text{kg}$

$$D = \frac{d\bar{E}}{dm} [\text{Gy}]$$

Dawne jednostki: *rad [rd]* $1 \text{ rd} = 10^{-2} \text{ Gy}$

Roentgen [R] $1 \text{ R} = 8,77 \text{ mGy}$ (w powietrzu)

Moc dawki pochłoniętej, $\dot{D}$ - przyrost dawki pochłoniętej w przedziale czasu

$$\dot{D} = \frac{dD}{dt} \left[\frac{\text{Gy}}{\text{h}} \right]$$

Wielkości dozymetryczne - dawka równoważna

Dawka równoważna, H_T - Dawka pochłonięta w tkance lub w narządzie T, ważona dla rodzaju i energii promieniowania R

$$H_T = w_R \cdot D_{T,R} \text{ [Sv]}$$

Jednostka: **Siwert [Sv]** 1 Sv = 1 J / kg

TABELA 1. WARTOŚCI CZYNNIKA WAGOWEGO PROMIENIOWANIA (w_R)

Rodzaj promieniowania (R)	Czynnik wagowy promieniowania (w_R) ¹⁾
Fotony	1
Elektrony i miony	1
Protony i piony naładowane	2
Cząstki alfa, fragmenty rozszczepienia, ciężkie jony	20
Neutrony, $E_n < 1 \text{ MeV}$	$2,5 + 18,2e^{-[\ln(E_n)]^2 / 6}$
Neutrony, $1 \text{ MeV} \leq E_n \leq 50 \text{ MeV}$	$5,0 + 17,0e^{-[\ln(2E_n)]^2 / 6}$
Neutrony, $E_n > 50 \text{ MeV}$	$2,5 + 3,25e^{-[\ln(0,04E_n)]^2 / 6}$

Moc dawki równoważnej, $\dot{H}$

przyrost dawki równoważnej
w przedziale czasu

$$\dot{H}_T = \frac{dH_T}{dt} \left[\frac{\text{Sv}}{\text{h}} \right]$$

Wielkości dozymetryczne - dawka efektywna (skuteczna)

Dawka efektywna (skuteczna), E - suma iloczynów dawek równoważnych dla poszczególnych narządów (T) i odpowiednich czynników wagowych danego narządu.

$$E = \sum_T w_T \cdot H_T \quad [\text{Sv}]$$

Jednostka: Siwert [Sv] $1 \text{ Sv} = 1 \text{ J} / \text{kg}$

Moc dawki efektywnej (skutecznej), $\dot{E}$

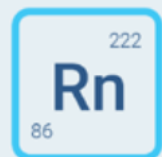
przyrost dawki efektywnej (skutecznej)
w przedziale czasu

$$\dot{E} = \frac{dE}{dt} \quad \left[\frac{\text{Sv}}{\text{h}} \right]$$

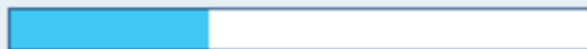
TABELA 2. WARTOŚCI CZYNNIKA WAGOWEGO TKANKI LUB NARZĄDU (w_T)

Tkanka lub narząd (T)	Czynnik wagowy tkanki lub narządu (w_T)
Gruczoły piersiowe	0,12
Płuca	0,12
Okreźnica	0,12
Pozostałe tkanki ²⁾	0,12
Szpiłk kostny (czerwony)	0,12
Żołądek	0,12
Gonady	0,08
Pęcherz moczowy	0,04
Przełyk	0,04
Tarczycyca	0,04
Wątroba	0,04
Gruczoły ślinowe	0,01
Mózg	0,01
Powierzchnia kości	0,01
Skóra	0,01

Naturalne źródła promieniowania jonizującego



RADON
27,53% 1,20 mSv



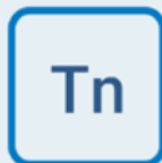
PROMIENIOWANIE GAMMA
15,34% 0,67mSv



PROMIENIOWANIE KOSMICZNE
7,34% 0,32 mSv



PROMIENIOWANIE Z CIAŁA CZŁOWIEKA
6,03% 0,26 mSv



TORON
2,29% 0,10 mSv



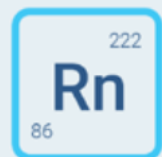
Dawka roczna od tła naturalnego: **2,55 mSv**

Kraków, listopad-grudzień 2024

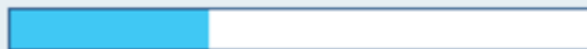


Co-funded by
the European Union

Naturalne źródła promieniowania jonizującego



RADON
27,53% 1,20 mSv



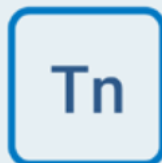
PROMIENIOWANIE GAMMA
15,34% 0,67mSv



PROMIENIOWANIE KOSMICZNE
7,34% 0,32 mSv



PROMIENIOWANIE Z CIAŁA CZŁOWIEKA
6,03% 0,26 mSv



TORON
2,29% 0,10 mSv



Dawka roczna od tła naturalnego: 2,55 mSv

Radon i jego pochodne

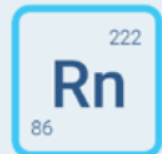
Radon jest gazem, który przedostaje się do wnętrza domów z podłoża i z materiałów budowlanych, a także z wody i gazu ziemnego używanych w codziennych czynnościach domowych. Jego stężenie wewnątrz domu mocno zależy od konstrukcji budowli oraz od rodzaju podłoża. W materiałach budowlanych radon powstaje jako jeden z pochodnych pierwiastków z szeregów promieniotwórczych uranu i toru. Stężenie radonu w materiałach budowlanych bardzo mocno zależy od miejsca gdzie były one wykonane.

Kraków, listopad-grudzień 2024

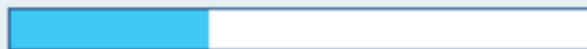


Co-funded by
the European Union

Naturalne źródła promieniowania jonizującego



RADON
27,53% 1,20 mSv



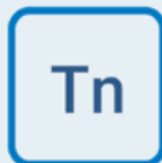
PROMIENIOWANIE GAMMA
15,34% 0,67mSv



PROMIENIOWANIE KOSMICZNE
7,34% 0,32 mSv



PROMIENIOWANIE Z CIAŁA CZŁOWIEKA
6,03% 0,26 mSv



TORON
2,29% 0,10 mSv



Dawka roczna od tła naturalnego: **2,55 mSv**

Promieniowanie gamma

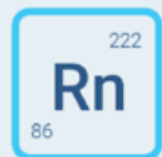
Promienie pochodzące od izotopów promieniotwórczych naturalne występujących w przyrodzie

Kraków, listopad-grudzień 2024

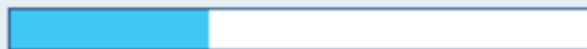


Co-funded by
the European Union

Naturalne źródła promieniowania jonizującego



RADON
27,53% 1,20 mSv



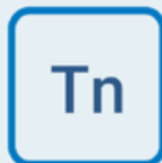
PROMIENIOWANIE GAMMA
15,34% 0,67mSv



PROMIENIOWANIE KOSMICZNE
7,34% 0,32 mSv



PROMIENIOWANIE Z CIAŁA CZŁOWIEKA
6,03% 0,26 mSv



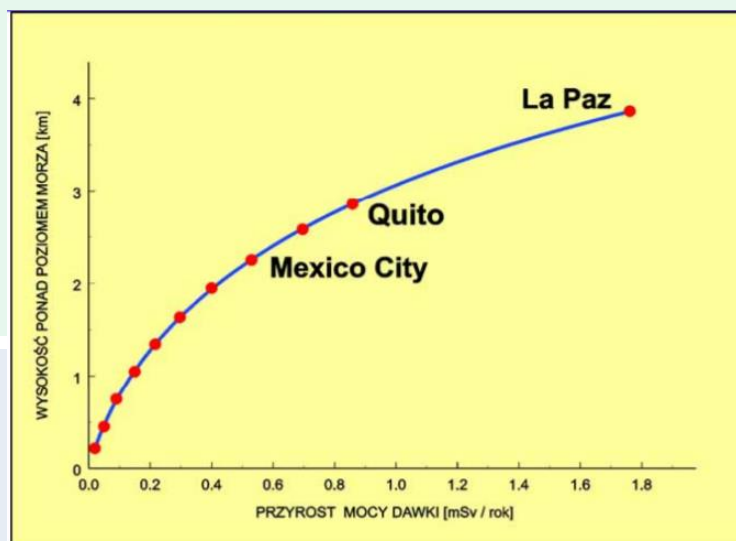
TORON
2,29% 0,10 mSv



Dawka roczna od tła naturalnego: 2,55 mSv

Promieniowanie kosmiczne

Promieniowanie kosmiczne w postaci protonów (87%), jąder helu (11%), a także nieznacznie w postaci innych jąder (1%) i elektronów (1%) dolatuje do atmosfery Ziemi. Łańcuch reakcji jądrowych inicjowany promieniowaniem kosmicznym prowadzi do powstania izotopów ^{14}C jak i ^3H - głównie w wyniku oddziaływań neutronów z azotem i tlenem.

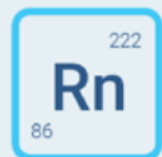


Im wyżej tym
większa moc
dawki

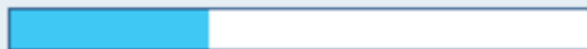


Co-funded by
the European Union

Naturalne źródła promieniowania jonizującego



RADON
27,53% 1,20 mSv



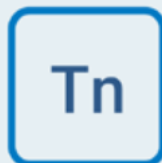
PROMIENIOWANIE GAMMA
15,34% 0,67mSv



PROMIENIOWANIE KOSMICZNE
7,34% 0,32 mSv



PROMIENIOWANIE Z CIAŁA CZŁOWIEKA
6,03% 0,26 mSv



TORON
2,29% 0,10 mSv



Dawka roczna od tła naturalnego: 2,55 mSv

Promieniowanie z ciała człowieka

w ciągu 1 sekundy rozpada się w naszym ciele ok. 8000 atomów o charakterze promieniotwórczym.

Nuklid	Masa izotopu	Aktywność
²³⁸ U	90 mg	1,1 Bq
²³² Th	30 mg	0,11 Bq
⁴⁰ K	17 mg	4400 Bq
²²⁶ Ra	31 pg	1,1 Bq
¹⁴ C	22 ng	3700 Bq
³ H	0,06 pg	23 Bq
²¹⁰ Po	0,2 pg	37 Bq

Kraków, listopad-grudzień 2024



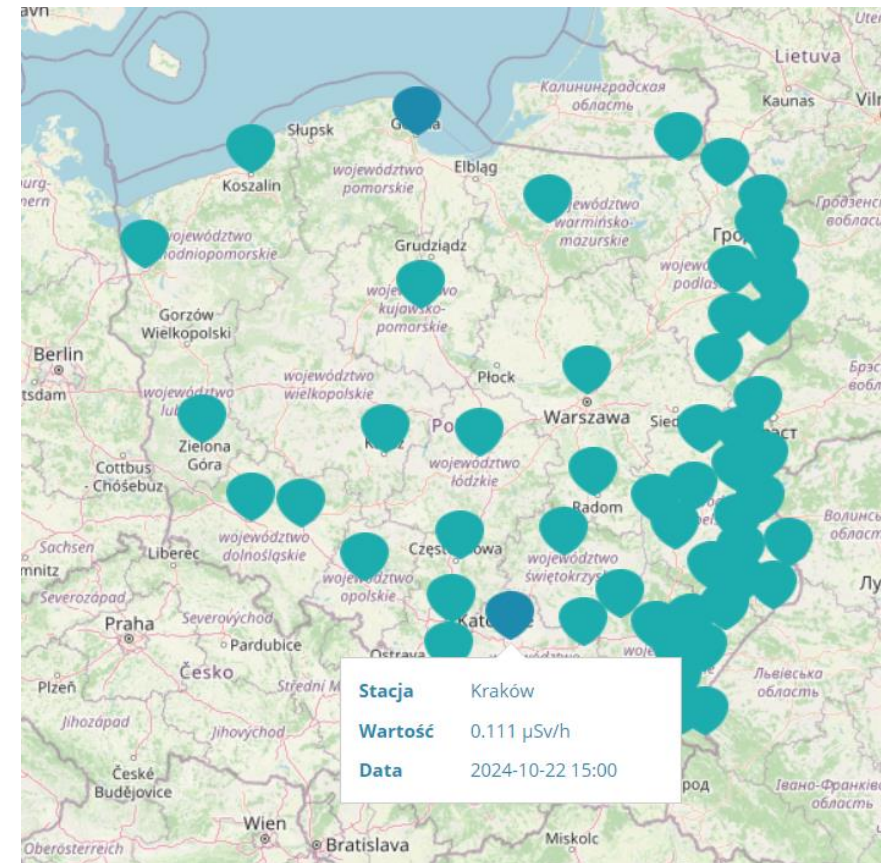
Co-funded by
the European Union

Monitoring radiacyjny w Polsce

Prezes Państwowej Agencji Atomistyki dokonuje systematycznej oceny sytuacji radiacyjnej kraju. Podstawą do takiej oceny są m.in. dane pozyskiwane z monitoringu radiacyjnego, który obejmuje Stacje systemu pomiaru ciągłego PMS (ang. Permanent Monitoring System) zapewniające monitorowanie poziomu promieniowania jonizującego na terenie kraju 24 godziny na dobę, 7 dni w tygodniu.

Wszelkie informacje dotyczące bieżącej sytuacji radiacyjnej Polski pojawiają się na stronie Państwowej Agencji Atomistyki (PAA):

<https://monitoring.paa.gov.pl/maps-portal/>



Oddziaływanie promieniowania jonizującego na organizm człowieka

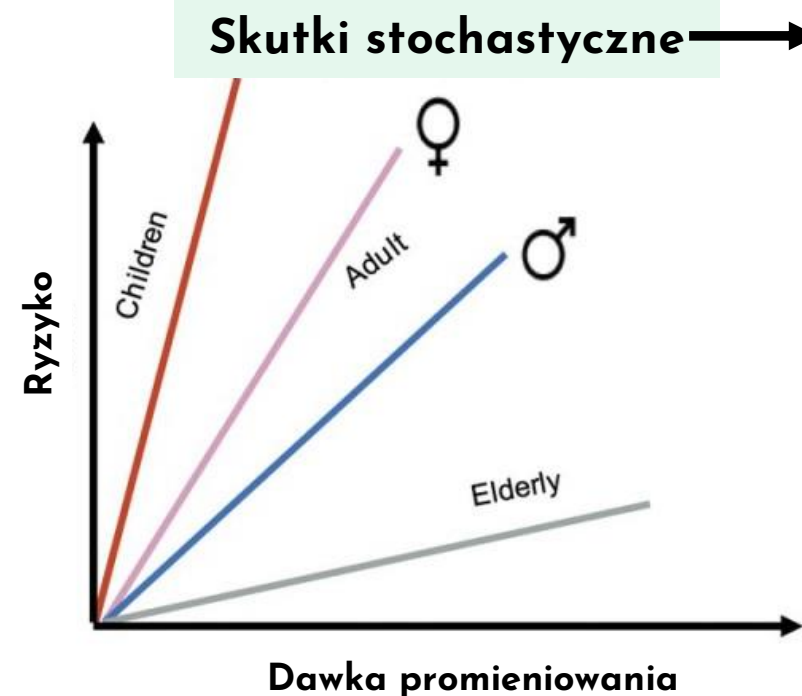
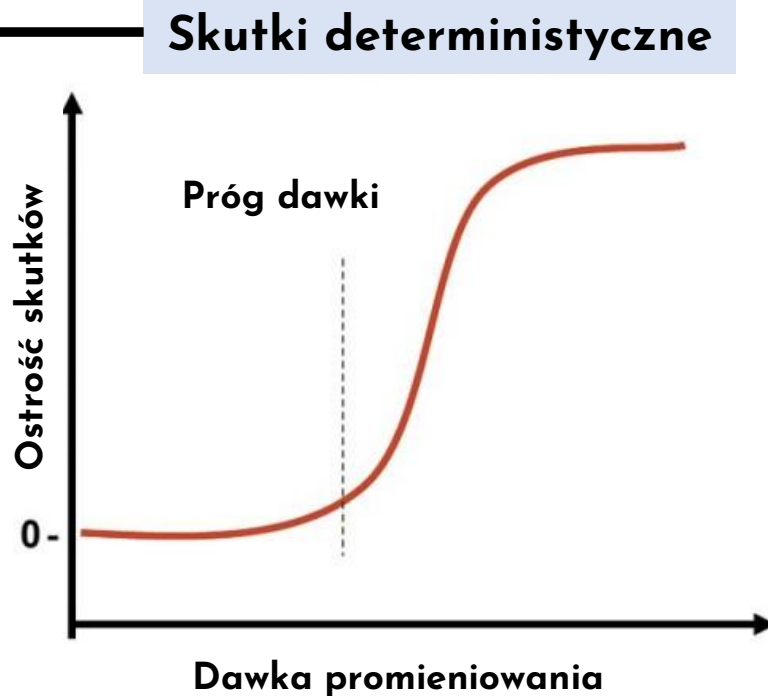
Najbardziej wrażliwą na promieniowanie częścią komórki jest jej materiał genetyczny - DNA. Uszkodzenia DNA, o ile nie zostaną bezbłędnie naprawione, mogą prowadzić do transformacji nowotworowej lub śmierci komórki.

Czynniki mające wpływ na efekt napromienienia żywego organizmu:

- ilość pochłoniętej energii (dawka pochłonięta)
- rodzaj promieniowania (gęstość jonizacji)
- rozkład dawki w czasie (moc dawki)
- wielkość napromienionego obszaru ciała
- jaki narząd lub tkanka zostały napromienione
- napromienienie zewnętrzne czy wewnętrzne
- wiek, płeć i stan zdrowia
- wrażliwość osobnicza i gatunkowa

Oddziaływanie promieniowania jonizującego na organizm człowieka

...są konsekwencją pochłonięcia przez organizm na tyle dużej dawki promieniowania jonizującego, że powoduje ona zniszczenie lub bezpowrotne uszkodzenie pewnej liczby komórek. Przejawem skutków deterministycznych jest choroba popromienna.



... są rezultatem uszkodzenia materiału genetycznego i przejawiają się w postaci nowotworów lub chorób dziedzicznych. Dawka, która wywołuje te schorzenia, może być dowolnie mała, a o ich początku decyduje przypadek.

Przewidywane skutki biologiczne jednorazowego napromieniowania całego ciała

Dawka [Sv]	Skutki
0,25	Brak objawów klinicznych
0,5	Małe przemijające zmiany we krwi. Niskie prawdopodobieństwo wystąpienia skutków późnych
1 - 2	Objawy kliniczne. Okresowe zmiany w obrazie krwi. Duże prawdopodobieństwo skutków późnych
2 - 3	Ciężkie objawy kliniczne. Zmiany w obrazie krwi. Częste skutki późne. Dawka śmiertelna dla 25% napromienionych osób.
3 - 5	Ciężkie objawy kliniczne. Ostra choroba popromienna. Dawka śmiertelna dla 50% napromienionych osób
6 - 7	Śmierć w ciągu kilkunastu do kilkudziesięciu dni
10 - 30	Śmierć w ciągu kilku do kilkunastu dni
50	Śmierć w ciągu kilkunastu godzin do 3 dni



Co-funded by
the European Union

Przewidywane skutki biologiczne jednorazowego napromieniowania całego ciała

Dawka [Sv]	Skutki
0,25	Brak objawów klinicznych
0,5	Małe przemijające zmiany we krwi. Niskie prawdopodobieństwo wystąpienia skutków późnych
1 - 2	Objawy kliniczne. Okresowe zmiany w obrazie krwi. Duże prawdopodobieństwo skutków późnych
2 - 3	Ciężkie objawy kliniczne. Zmiany w obrazie krwi. Częste skutki późne. Dawka śmiertelna dla 25% napromienionych osób.
3 - 5	Ciężkie objawy kliniczne. Ostra choroba popromienna. Dawka śmiertelna dla 50% napromienionych osób
6 - 7	Śmierć w ciągu kilkunastu do kilkudziesięciu dni
10 - 30	Śmierć w ciągu kilku do kilkunastu dni
50	Śmierć w ciągu kilkunastu godzin do 3 dni

Postać subkliniczna (0,5 - 2 Gy)

Objawy: ogólne osłabienie, zmniejszenie ilości limfocytów we krwi obwodowej (limfopenia) występujące kilkanaście dni po napromieniowaniu.

Bezpośrednia przyczyna: depresja narządów limfatycznych (limfocyty są najbardziej promieniowrażliwymi komórkami u człowieka).



Co-funded by
the European Union

Przewidywane skutki biologiczne jednorazowego napromieniowania całego ciała

Dawka [Sv]	Skutki
0,25	Brak objawów klinicznych
0,5	Małe przemijające zmiany we krwi. Niskie prawdopodobieństwo wystąpienia skutków późnych
1 - 2	Objawy kliniczne. Okresowe zmiany w obrazie krwi. Duże prawdopodobieństwo skutków późnych
2 - 3	Ciężkie objawy kliniczne. Zmiany w obrazie krwi. Częste skutki późne. Dawka śmiertelna dla 25% napromienionych osób.
3 - 5	Ciężkie objawy kliniczne. Ostra choroba popromienna. Dawka śmiertelna dla 50% napromienionych osób
6 - 7	Śmierć w ciągu kilkunastu do kilkudziesięciu dni
10 - 30	Śmierć w ciągu kilku do kilkunastu dni
50	Śmierć w ciągu kilkunastu godzin do 3 dni

Postać hematologiczna (2 - 4 Gy)

Objawy: ogólne osłabienie, zmniejszenie ilości limfocytów we krwi obwodowej (limfopenia) występujące kilka dni po napromieniowaniu, później niedokrwistość i obniżenie odporności ustroju, niekiedy skaza krwotoczna.

Bezpośrednia przyczyna: depresja szpiku.



Co-funded by
the European Union

Przewidywane skutki biologiczne jednorazowego napromieniowania całego ciała

Dawka [Sv]	Skutki
0,25	Brak objawów klinicznych
0,5	Małe przemijające zmiany we krwi. Niskie prawdopodobieństwo wystąpienia skutków późnych
1 - 2	Objawy kliniczne. Okresowe zmiany w obrazie krwi. Duże prawdopodobieństwo skutków późnych
2 - 3	Ciężkie objawy kliniczne. Zmiany w obrazie krwi. Częste skutki późne. Dawka śmiertelna dla 25% napromienionych osób.
3 - 5	Ciężkie objawy kliniczne. Ostra choroba popromienna. Dawka śmiertelna dla 50% napromienionych osób
6 - 7	Śmierć w ciągu kilkunastu do kilkudziesięciu dni
10 - 30	Śmierć w ciągu kilku do kilkunastu dni
50	Śmierć w ciągu kilkunastu godzin do 3 dni

Postać jelitowa (4 - 8 Gy)

Objawy: dominują objawy ze strony przewodu pokarmowego z charakterystycznymi krwawymi biegunkami, skaza krwotoczna oraz zaburzenia gospodarki wodno-elektrolitowej z obrzękami. Objawy pojawiają się wkrótce po napromieniowaniu, najpóźniej do kilkunastu godzin.

Bezpośrednia przyczyna: popromienne uszkodzenie nabłonka przewodu pokarmowego z pojawieniem się owrzodzeń.



Co-funded by
the European Union

Przewidywane skutki biologiczne jednorazowego napromieniowania całego ciała

Dawka [Sv]	Skutki
0,25	Brak objawów klinicznych
0,5	Małe przemijające zmiany we krwi. Niskie prawdopodobieństwo wystąpienia skutków późnych
1 - 2	Objawy kliniczne. Okresowe zmiany w obrazie krwi. Duże prawdopodobieństwo skutków późnych
2 - 3	Ciężkie objawy kliniczne. Zmiany w obrazie krwi. Częste skutki późne. Dawka śmiertelna dla 25% napromienionych osób.
3 - 5	Ciężkie objawy kliniczne. Ostra choroba popromienna. Dawka śmiertelna dla 50% napromienionych osób
6 - 7	Śmierć w ciągu kilkunastu do kilkudziesięciu dni
10 - 30	Śmierć w ciągu kilku do kilkunastu dni
50	Śmierć w ciągu kilkunastu godzin do 3 dni

Postać mózgowa (8 - 50 Gy)

Objawy: drgawki, utrata przytomności wkrótce po napromieniowaniu.

Bezpośrednia przyczyna: uszkodzenie przewodnictwa nerwowego, zwłaszcza synaptycznego.



Co-funded by
the European Union

Przewidywane skutki biologiczne jednorazowego napromieniowania całego ciała

Dawka [Sv]	Skutki
0,25	Brak objawów klinicznych
0,5	Małe przemijające zmiany we krwi. Niskie prawdopodobieństwo wystąpienia skutków późnych
1 - 2	Objawy kliniczne. Okresowe zmiany w obrazie krwi. Duże prawdopodobieństwo skutków późnych
2 - 3	Ciężkie objawy kliniczne. Zmiany w obrazie krwi. Częste skutki późne. Dawka śmiertelna dla 25% napromienionych osób.
3 - 5	Ciężkie objawy kliniczne. Ostra choroba popromienna. Dawka śmiertelna dla 50% napromienionych osób
6 - 7	Śmierć w ciągu kilkunastu do kilkudziesięciu dni
10 - 30	Śmierć w ciągu kilku do kilkunastu dni
50	Śmierć w ciągu kilkunastu godzin do 3 dni

Postać enzymatyczna (> 50 Gy)

Objawy: utrata przytomności, prawie natychmiastowa śmierć.

Bezpośrednia przyczyna: zablokowanie aktywności enzymatycznej w wyniku bezpośredniego rozerwania wiązań chemicznych białek enzymatycznych przez kwanty promieniowania jonizującego (tzw. efekt tarczy).



Co-funded by
the European Union

Dawki graniczne

Dawka graniczna - wartość dawki promieniowania jonizującego, wyrażona jako dawka skuteczna lub równoważna, dla określonych osób, pochodzącą od kontrolowanej działalności zawodowej, której nie wolno przekroczyć (poza wyjątkami ^{*,**}).

Dawka / rok	Narażenie zawodowe	Praktykanci 16-18 lat	Ogół ludności
Efektywna (skuteczna)	20 mSv *	6 mSv	1 mSv
Równoważna (soczewki oczu)	20 mSv **	15 mSv	15 mSv
Równoważna (skóra)	500 mSv	150 mSv	50 mSv

Dawki graniczne nie obejmują narażenia ani od tła naturalnego, ani od narażenia medycznego.

* Za zgodą PAA można przekroczyć do 50 mSv, ale średnia roczna dawka skuteczna (efektywna) w każdym okresie pięciu kolejnych lat kalendarzowych, w tym lat, w których dawka graniczna została przekroczona, nie może przekroczyć 20 mSv

** Za zgodą PAA można przekroczyć do 50 mSv, jednakże w każdym okresie pięciu kolejnych lat kalendarzowych, w tym lat, w których dawka graniczna została przekroczona, nie może przekroczyć 100 mSv

Ogranicznik dawki (limit użytkowy dawki)

ogranicznik dawki (limit użytkowy dawki) - ograniczenie przewidywanych dawek indywidualnych, wyrażonych jako dawki skuteczne (efektywne) lub dawki równoważne, które mogą pochodzić od określonego źródła promieniowania jonizującego, uwzględnione podczas planowania ochrony radiologicznej w celach związanych z optymalizacją;

- Osoba najbardziej narażona w danej sytuacji chroniona jest przez przestrzeganie ograniczników dawki, przypisanych każdemu źródłu. **Powinny być one zawsze niższe niż dawki graniczne.**
- Dawki graniczne stanowią barierę przed przekroczeniem łącznego poziomu narażenia od wszystkich źródeł.
- Ogranicznik dawki jest narzędziem organizacyjnym i nie powinien być traktowany jako granica między sytuacją bezpieczną i niebezpieczną - nie jest też progiem powyżej, którego wzrost ryzyka z dawką ulega gwałtownemu przyspieszeniu. Sporadyczne przekroczenie ogranicznika nie jest złamaniem prawa, ale wymaga wyjaśnienia przyczyn takiej sytuacji.

Kategorie narażenia pracowników

Pracownik - pracownik w rozumieniu przepisów Prawa pracy, osoba wykonującą pracę na podstawie innej niż stosunek pracy, jak również osoba wykonująca działalność na własny rachunek, którzy w warunkach narażenia na promieniowanie jonizujące mogą otrzymać dawki przekraczające wartości dawek granicznych określonych dla osób z ogółu ludności

Kategoria A

Mogą otrzymać dawkę skuteczną (efektywną) przekraczającą 6 mSv w ciągu roku lub dawkę równoważną przekraczającą 15 mSv rocznie dla soczewek oczu lub dawkę równoważną przekraczającą 150 mSv rocznie dla skóry lub kończyn;

Badanie lekarskie co najmniej raz na rok

Kategoria B

Nie zaliczeni do kat. A

Badanie lekarskie co najmniej raz na 3 lata

Źródło promieniotwórcze

źródło promieniotwórcze - źródło promieniowania jonizującego zawierające materiał promieniotwórczy w celu wykorzystania promieniotwórczości tego materiału

- **zamknięte** - źródło promieniotwórcze o takiej budowie, która w warunkach określonych dla jego stosowania uniemożliwia przedostanie się do środowiska zawartej w nim substancji promieniotwórczej
- **otwarte** - źródło niebędące zamkniętym źródłem promieniotwórczym

źródło niekontrolowane - źródło promieniotwórcze, z którym działalność podlega reglamentacji, a które nie jest objęte nadzorem i kontrolą regulacyjną albo zostało nimi objęte, ale kontrola i nadzór nad tym źródłem zostały przerwane, w szczególności z powodu porzucenia, zaginięcia, kradzieży, umieszczenia w miejscu do tego nieprzeznaczonym albo niezgodnego z prawem przekazania tego źródła

Zasady ochrony radiologicznej

Ochrona radiologiczna - zapobieganie narażeniu ludzi i skażeniu środowiska, a w przypadku braku możliwości zapobieżenia takim sytuacjom - ograniczenie ich skutków do poziomu tak niskiego, jak tylko jest to rozsądnie osiągalne, przy uwzględnieniu czynników ekonomicznych, społecznych i zdrowotnych

Generalnie, zadaniem ochrony radiologicznej jest całkowite zabezpieczenie ludzi przed szkodliwymi skutkami deterministycznymi i ograniczenie prawdopodobieństwa skutków stochastycznych do poziomów uznawanych za akceptowalne.

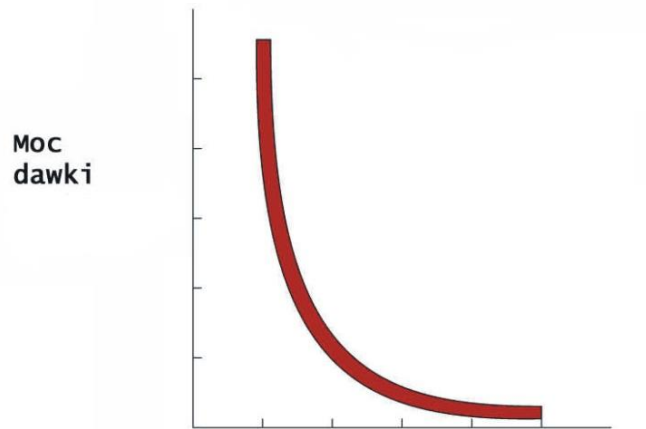
W praktyce jest to realizowane poprzez system oparty o trzy reguły:

- uzasadnienia
- optymalizacji
- limitowania dawek indywidualnych

Zasady ochrony radiologicznej - odległość, czas, osłony

Bezpieczna odległość

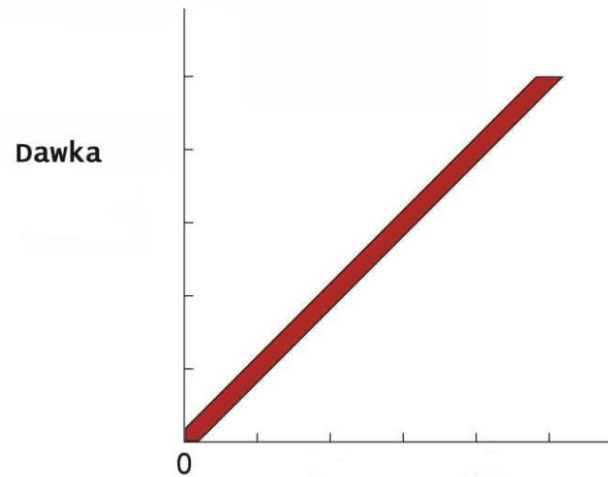
Moc dawki jest odwrotnie proporcjonalna do kwadratu odległości



odległość od źródła promieniowania

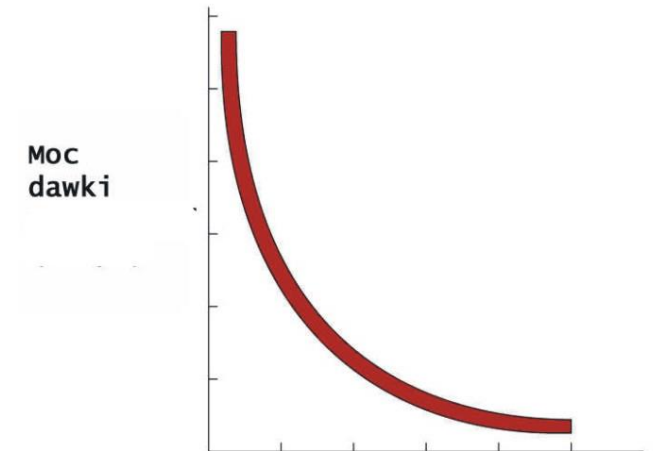
Bezpieczny czas

$Dawka = \text{moc dawki} \times \text{czas pracy}$



Czas

Osłony



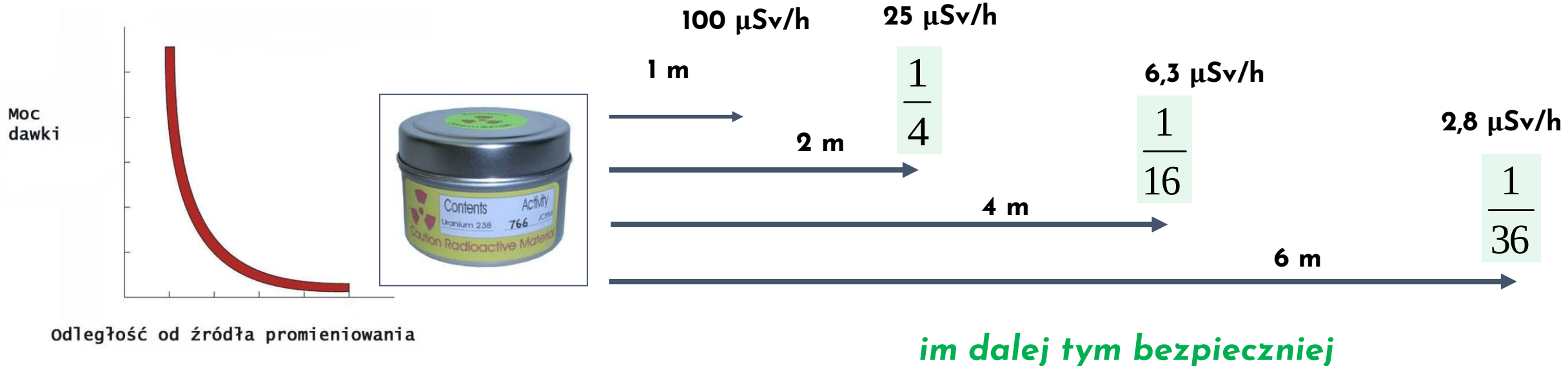
warstwa betonu

Zasady ochrony radiologicznej - odległość

Bezpieczna odległość

Moc dawki jest odwrotnie proporcjonalna do kwadratu odległości

$$D \approx \frac{1}{r^2}$$



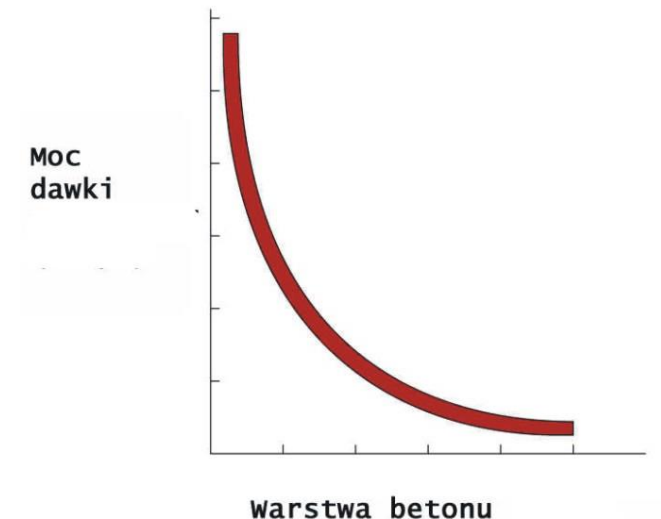
Zasady ochrony radiologicznej - osłony

O skuteczności osłony mówi jej zdolność do osłabienia promieniowania, czyli wartość ułamka:
$$\frac{\text{dawka przed osłoną}}{\text{dawka za osłoną}}$$

Kryteria doboru materiału na osłony możemy podzielić ogólnie na dwie zasadnicze grupy:

- wynikające z własności różnych rodzajów promieniowania jonizującego w oddziaływaniu z materią
- wynikające z wymagań eksploatacyjnych osłanianych źródeł i stanowisk pracy, uwarunkowań techniczno - konstrukcyjnych osłon, ich lokalizacji i czynników ekonomicznych.

Osłony



Zasady ochrony radiologicznej - osłony

Osłony

Osłony stałe - beton, cegła, panele naścienne zawierające ołów, barytobeton, szkło (akryl) ołowiowe itd.

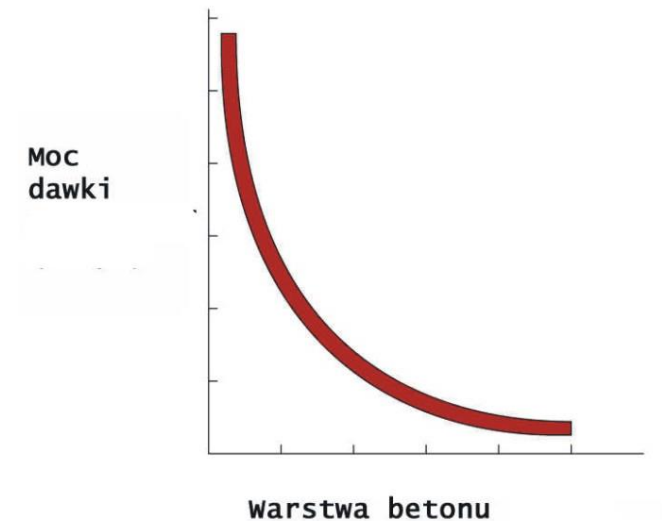
Są to przeważnie ściany osłonowe. Jako osłony stałe zwykle kwalifikuje się też osłony rozbieralne, które są zbudowane z elementów prefabrykowanych.

Mogą to być ściany zbudowane z kształtek ołowianych lub specjalnie ukształtowanych bloczków betonowych.

Osłony ruchome - szkło ołowiowe, szkło „akryl” ołowiowe, blacha ołowiana, blacha stalowa itd.

Wszelkiego typu pojemniki transportowe, oraz pojemniki służące do przechowywania źródeł, odpadów, głowice i kolimatory urządzeń radiacyjnych.

Do osłon ruchomych zaliczamy także ekrany, parawany ochronne itp. Elementy ustawiane dla bieżących potrzeb.



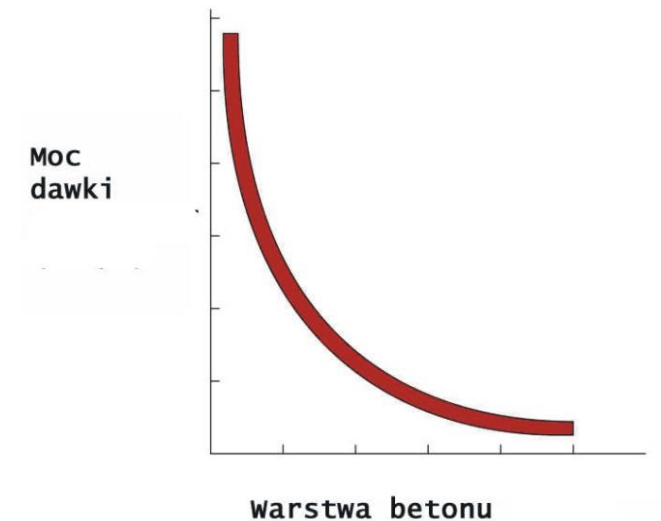
Zasady ochrony radiologicznej - osłony

Osłony indywidualne - guma ołowiowa, lateks / bizmut, ołów, szkło (akryl) ołowiowe itd.

Są to na ogół dodatkowe elementy osłaniające, zalecane do stosowania przez pracowników w czasie pracy w celu zmniejszenia narażenia.

Mogą to być przykładowo: fartuchy z gumy ołowiowej (pracownie rentgenowskie), osłony na strzykawki, osłony miejscowe różnych narzędzi (pracownie medycyny nuklearnej) rękawice, okulary ochronne itp.

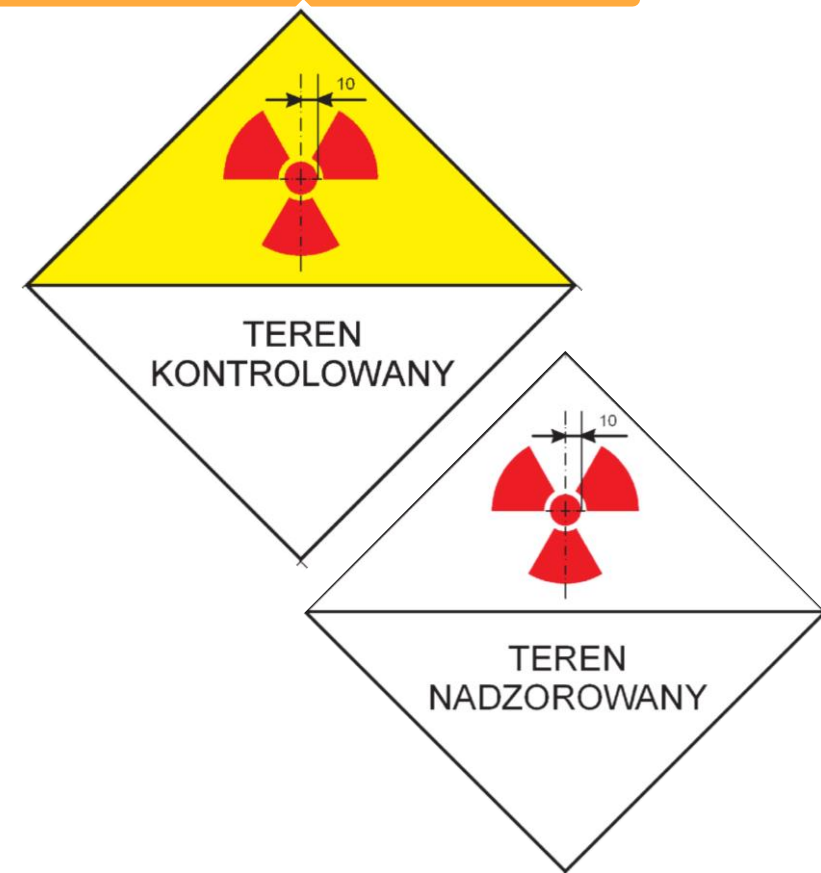
Osłony



Teren nadzorowany i kontrolowany

W celu dostosowania działań i środków ochrony radiologicznej pracowników do wielkości i rodzaju zagrożeń, kierownik jednostki organizacyjnej wprowadza podział lokalizacji miejsc pracy na:

- teren kontrolowany - tam gdzie istnieje możliwość otrzymania dawek określonych dla pracowników kategorii A, istnieje możliwość rozprzestrzeniania się skażeń promieniotwórczych lub mogą występować duże zmiany mocy dawki
- teren nadzorowany - tam gdzie istnieje możliwość otrzymania dawek określonych dla pracowników kategorii B i które nie zostały zaliczone do terenów kontrolowanych



Rodzaje narażenia - definicje

NARAŻENIE - proces, w którym organizm ludzki podlega napromienieniu promieniowaniem jonizującym:

- zewnętrznemu lub jest wystawiony na możliwość takiego napromienienia (narażenie zewnętrzne)
- wewnętrznemu lub jest wystawiony na możliwość takiego napromienienia (narażenie wewnętrzne)

ZAGROŻENIE - narażenie, którego wystąpienie nie jest pewne, lecz które może być skutkiem zdarzenia lub serii zdarzeń o charakterze probabilistycznym, w tym awarii sprzętu i błędów eksploatacyjnych

Rodzaje narażenia - definicje

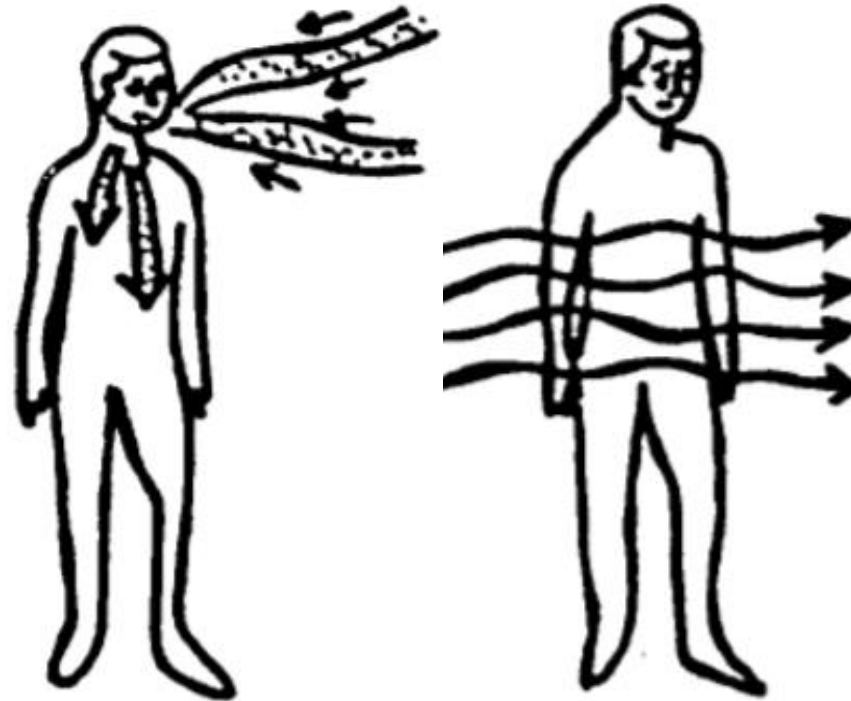
Narażenie wewnętrzne

- wchłonięcie izotopu

(narażenie zawodowe, sytuacje awaryjne)

Istotne: α (najsilniej jonizujące),
 β (mniej jonizujące)

- droga pokarmowa
- droga oddechowa
- nieciągłości skóry



Narażenie zewnętrzne

- źródła zewnętrzne

(narażenie medyczne, zawodowe, ogół ludności)

Istotne: X , γ i n (najbardziej przenikliwe)

Rodzaje narażenia - definicje

ZDARZENIE RADIACYJNE - nietypowa sytuacja lub zdarzenie związane ze źródłem promieniowania jonizującego, wymagające podjęcia pilnych działań interwencyjnych w celu:

- złagodzenia poważnych niepożądanych skutków dla zdrowia ludzi, ich bezpieczeństwa, jakości życia, mienia lub środowiska lub,
- zmniejszenia ryzyka, które mogłoby doprowadzić do poważnych niepożądanych skutków, o których mowa powyżej

NARAŻENIE PRZYPADKOWE - narażenie w wyniku wypadku osób innych niż członkowie ekip awaryjnych

NARAŻENIE WYJĄTKOWE - narażenie członka ekipy awaryjnej w sytuacji zdarzenia radiacyjnego

Zdarzenie radiacyjne - zabezpieczenie miejsca

Zabezpieczenie miejsca zdarzenia radiacyjnego realizuje się tak, żeby:

- uniemożliwić przebywanie osób postronnych w miejscu zdarzenia radiacyjnego;
- zapobiec rozprzestrzenianiu się skażeń promieniotwórczych.

W przypadku zdarzenia radiacyjnego z terenu, na którym stwierdzono:

- 1000 Bq/cm² dla izotopów gamma i beta promieniotwórczych lub
- 100 Bq/cm² dla izotopów alfa promieniotwórczych, lub
- moc dawki promieniowania przekraczającą poziom 100 µSv/h

- kierujący akcją likwidacji zagrożenia i usuwania skutków zdarzenia radiacyjnego zapewnia niezwłoczne usunięcie osób poszkodowanych oraz innych osób niebiorących udziału w postępowaniu awaryjnym.

Kontroluje się dostęp do tego terenu oraz prowadzi się monitoring radiologiczny na tym terenie i wokół niego.

Zdarzenie radiacyjne - poziomy odniesienia

poziom odniesienia - poziom dawki skutecznej (efektywnej), dawki równoważnej lub stężenia promieniotwórczego w przypadku zdarzenia radiacyjnego lub w sytuacji narażenia istniejącego, powyżej którego za niewłaściwe uznaje się dopuszczenie do występowania narażenia

Grupa	Poziom odniesienia
Pracownicy ekip awaryjnych 	Sytuacja zdarzenia radiacyjnego: <100 mSv lub <500 mSv w sytuacji narażenia wyjątkowego Sytuacja narażenia istniejącego: Obowiązują dawki graniczne określone dla narażenia planowanego
Osoby z ogółu ludności 	Sytuacja zdarzenia radiacyjnego: <100 mSv; Sytuacja narażenia istniejącego: <20 mSv

Rodzaje narażenia - skażenia promieniotwórcze

Skażenie promieniotwórcze - niezamierzona lub niepożądana obecność substancji promieniotwórczych:

- ❖ na powierzchni lub w ciałach stałych, cieczech lub gazach
- ❖ wewnątrz lub na powierzchni ciała ludzkiego

Dekontaminacja to usuwanie i neutralizowanie substancji szkodliwych, które zagrażają życiu lub zdrowiu zarówno przez kontakt bezpośredni, jak i pośredni (na przykład przez używanie sprzętów). Mogą nimi być substancje chemiczne, biologiczne, czy promieniotwórcze.

Celem dekontaminacji jest:

- najszybsze możliwe usunięcie zagrożenia związanego ze skażeniem osoby poszkodowanej lub skażeniem powierzchni roboczej;
- uniknięcie wtórnego skażenia osób trzecich, sprzętu i budynków.

Skażenia promieniotwórcze - zasady dekontaminacji

Osoba przystępująca do prac powinna zabezpieczyć siebie przed ewentualnymi skażeniami oraz przygotować niezbędne środki absorpcyjne zapobiegające dalszemu rozprzestrzenianiu się skażeń.

Dodatkowo osoba ta powinna dysponować przrządem do oceny mocy dawki promieniowania oraz monitorem skażeń promieniotwórczych.

Wykaz materiałów i ochron osobistych:

- rękawice zabezpieczające dłonie przed skażeniami;
- okulary ochronne;
- odzież ochronna;
- szczelne worki foliowe o różnych rozmiarach dostosowanych do gabarytów odpadów promieniotwórczych powstających w wyniku usuwania skażeń,
- materiały absorpcyjne (np. wata, bibuła, ręczniki papierowe, granulaty, sorbenty);



Skażenia promieniotwórcze - zasady dekontaminacji

W przypadku stwierdzenia skażeń promieniotwórczych u osoby poszkodowanej należy:

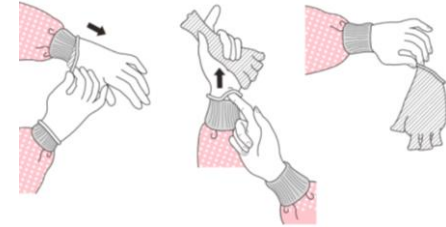
- skażoną odzież zdjąć i złożyć w osobnym miejscu w workach foliowych
- skażenia osobiste z powierzchni całego ciała i ekspozowanych błon śluzowych usunąć poprzez mycie/splukiwanie osoby przy wykorzystaniu strumienia ciepłej wody z dodatkiem substancji myjących i/lub dezaktywujących (nie wolno używać rozpuszczalników organicznych!!!!);
- wyposażyć osobę poszkodowaną w odzież zastępczą.

W przypadku stwierdzenia skażeń promieniotwórczych na powierzchniach roboczych:

- skażenia promieniotwórcze usuwać w sposób dostosowany do rodzaju powierzchni

Po przeprowadzeniu dekontaminacji wstępnej należy zweryfikować jej skuteczność przy pomocy sprzętu dozymetrycznego.

W przypadku osoby poszkodowanej po zakończonej dekontaminacji przekazać ją pod opiekę pracowników ochrony zdrowia z wszelkimi informacjami dotyczącymi przeprowadzonej dekontaminacji.



Źródło: gov.pl

Sprzęt dozymetryczny

Sprzęt dozymetryczny - narzędzia pomiarowe (detektory promieniowania) umożliwiające bezpośredni lub pośredni pomiar i ocenę zewnętrznych dawek promieniowania jonizującego

Wzorcowanie sprzętu dozymetrycznego przeprowadza się nie rzadziej niż:

- **raz na 12 miesięcy** - gdy sprzęt nie posiada kontrolnego źródła promieniotwórczego
- **raz na 24 miesiące** - gdy sprzęt posiada kontrolne źródło promieniotwórcze

Detektory promieniowania dzielimy na:

- **aktywne** - w których informacja o przejściu cząstki pojawia się w postaci impulsu elektrycznego natychmiast
- **pasywne** - zbierające informacje o przejściu wielu cząstek, których odczyt wymaga dodatkowej obróbki

Sprzęt dozymetryczny - detektory pasywne

- **emulsje jądrowe (fotograficzna emulsja) i klisze rentgenowskie** (zmiany wywołane działaniem w nich promieniowania jonizującego uwidaczniają się w postaci wytrąconych kryształów srebra)
- **detektory luminescencyjne** (promieniowanie pochłonięte w substancji czynnej powoduje przeniesienie elektronów w cząsteczkach do stanu metatrwałego; pod wpływem pewnych czynników, np. ogrzania, elektrony powracają do stanu podstawowego emitując światło o natężeniu proporcjonalnym do pochłoniętej dawki promieniowania)
- **detektory dielektryczne** (cząstka naładowana powoduje obserwowalne zmiany mechaniczne — uszkodzenia — na powierzchni dielektryka)
- **detektory aktywacyjne** (pod wpływem promieniowania pewna liczba jąder atomowych substancji czynnej ulega aktywacji — zmienia się w izotopy promieniotwórcze)
- **detektory chemiczne** (zmiany w składzie chemicznym substancji pod wpływem promieniowania)

Dawkomierze TLD



Sprzęt dozymetryczny - detektory aktywne

- **detektory gazowe**, zbudowane ze zbiornika ze specjalnym gazem i elektrod, do których jest podłączone wysokie — różne w różnych detektorach — napięcie; wytworzone pole elektryczne powoduje dryf elektronów, a w konsekwencji powstanie impulsu elektrycznego; należą do nich:
 - licznik Geigera-Müllera
 - komora jonizacyjna,
 - komora proporcjonalna (licznik proporcjonalny)
- **detektory półprzewodnikowe** — podstawowym elementem jest złącze p-n spolaryzowane w kierunku zaporowym; swobodne nośniki prądu elektrycznego generowane w obszarze czynnym detektora są zbierane na elektrodach; powstający impuls prądu jest następnie wzmacniany i rejestrowany.
- **licznik scyntylacyjny** — ośrodkiem czynnym jest scyntylator połączony bezpośrednio lub poprzez światłowód z fotopowielaczem

Monitor skażeń
EKO-C (licznik G-M)



Dozymetr Rad-60S
(dioda krzemowa)



Sonda scyntylacyjna SSA-1P



Transport materiałów promieniotwórczych - definicje

Opakowanie - zestaw elementów i materiałów, które razem mają zapewnić szczelność (utrzymać materiał niebezpieczny wewnątrz opakowania), a także spełniać inne funkcje związane z bezpieczeństwem

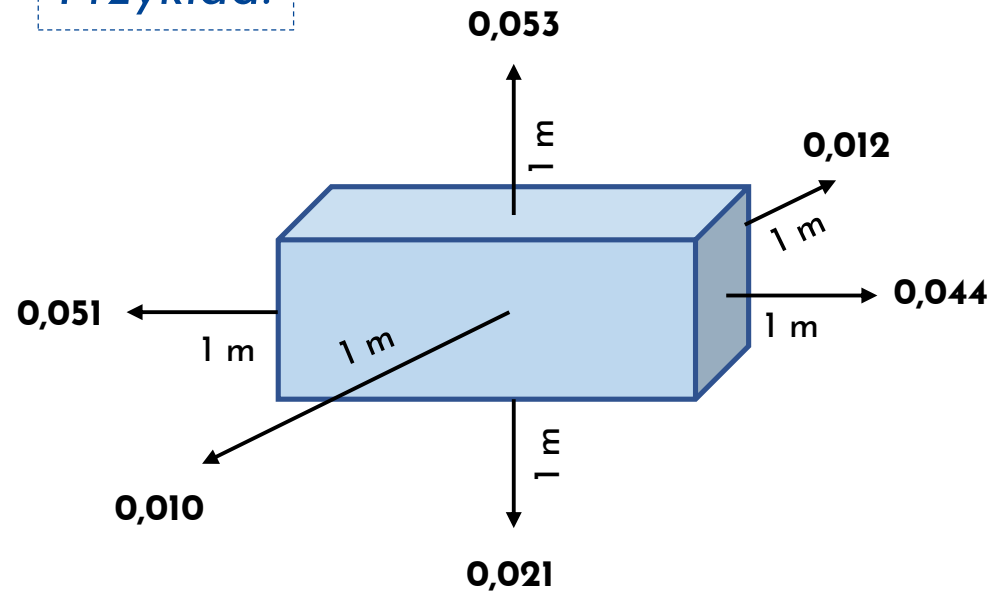
Sztuka przesyłki - końcowy produkt operacji pakowania, składający się z opakowania wraz z jego zawartością, które przygotowane są do wysyłki.

Kategoria sztuki przesyłki - jedna z trzech ustalonych w przepisach transportowych kategorii, do której zalicza się sztuki przesyłki lub opakowania zbiorcze, w zależności od wartości parametrów radiologicznych (poziomu promieniowania na powierzchni i wskaźnika transportowego)

Transport materiałów promieniotwórczych - definicje

wskaźnik transportowy (TI) - najwyższy poziom promieniowania zmierzony w odległości 1 metra od zewnętrznych powierzchni sztuki przesyłki

Przykład:



$$TI = 5,3$$

największa ze zmierzonych wartości
w mSv/h, pomnożona przez 100
i zaokrąglona w górę do jednej
cyfry po przecinku

Transport materiałów promieniotwórczych

Moc dawki na powierzchni przesyłki [mSv/h]	$0 < \dot{H} \leq 0,005$	$0,005 < \dot{H} \leq 0,5$	$0,5 < \dot{H} \leq 2$ $2 < \dot{H} \leq 10$ ¹⁾
--	--------------------------	----------------------------	--

Kategoria sztuki przesyłki	I-Biała	II-Żółta	III-Żółta ²⁾
----------------------------	---------	----------	-------------------------

Nalepka ostrzegawcza



7A



7B



7C

¹⁾ - użycie wyłączone , ²⁾ - przesyłka specjalna