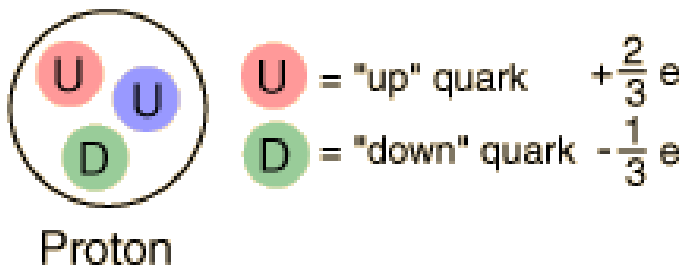
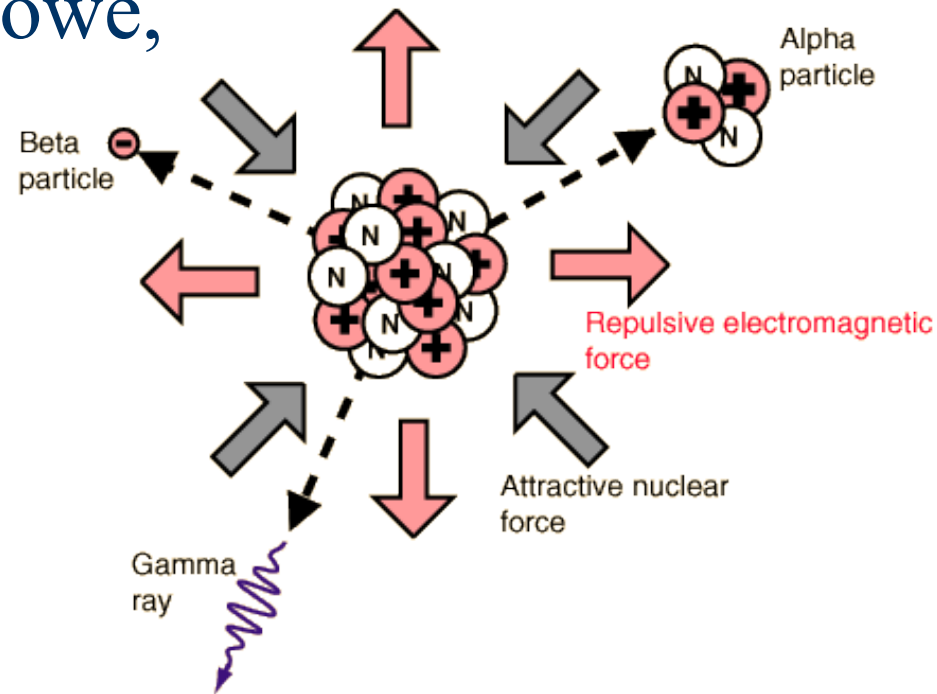


# Ochrona radiologiczna

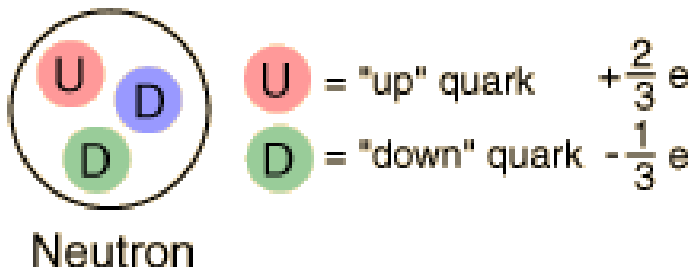
- ◆ Budowa jądra
- ◆ Promieniowanie jonizujące
- ◆ Rodzaje rozpadów promieniotwórczych
- ◆ Definicje dawek promieniowania
- ◆ Zasady ochrony radiologicznej
- ◆
  - **Promieniowaniem jonizującym** nazywamy klasę obiektów atomowych i subatomowych wywołujących jonizację ośrodka materialnego, tj. oderwanie przynajmniej jednego elektronu od atomu lub cząsteczki albo wybicie go ze struktury krystalicznej.

# Budowa atomu, jądro atomowe, protony i neutrony

- ♦ Jądro atomowe zbudowane jest nukleonów : **protonów** (o ładunku + ) i **neutronów** (elektrycznie neutralne)
- ♦ Nukleony są związane w jądrze poprzez silne oddziaływanie jądrowe, silniejsze niż elektryczne oddziaływanie odpychające dodatnio naładowanych protonów



$$\begin{aligned} m_p &= 1836.15 m_e \\ \text{Mass} &= 1.6726 \times 10^{-27} \text{ kg} \\ &= 938.27231 \text{ MeV}/c^2 \\ &= 1.00727647 \text{ u} \end{aligned}$$

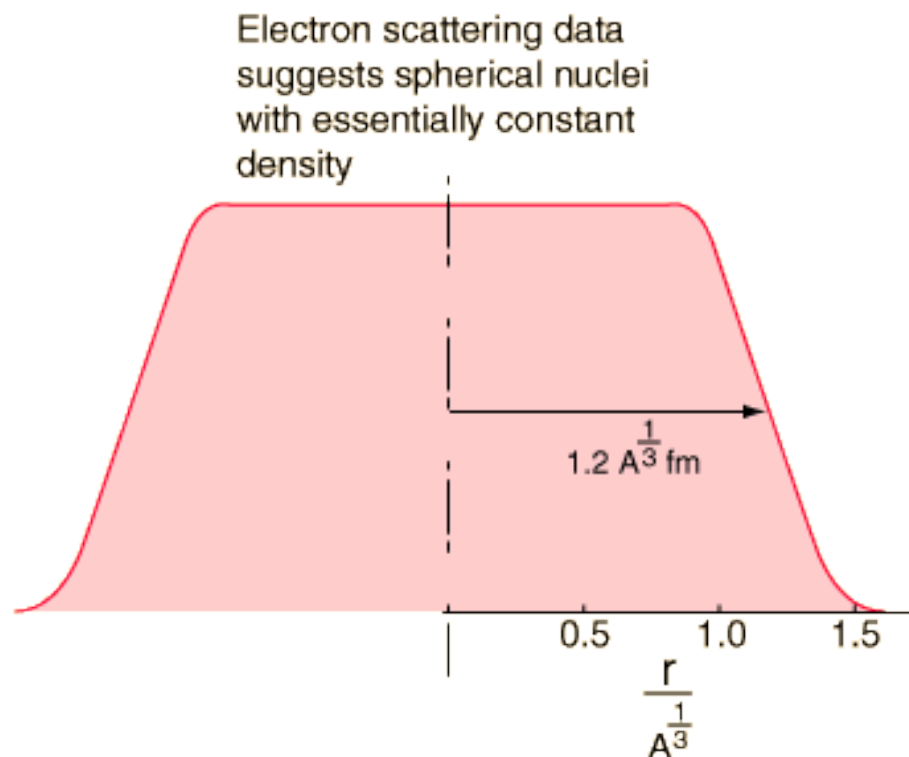


$$\begin{aligned} m_p &= 1838.68 m_e \\ \text{Mass} &= 1.6749 \times 10^{-27} \text{ kg} \\ &= 939.5656 \text{ MeV}/c^2 \\ &= 1.0086647 \text{ u} \end{aligned}$$

# Rozmiar jądra, gęstość materii jądrowej

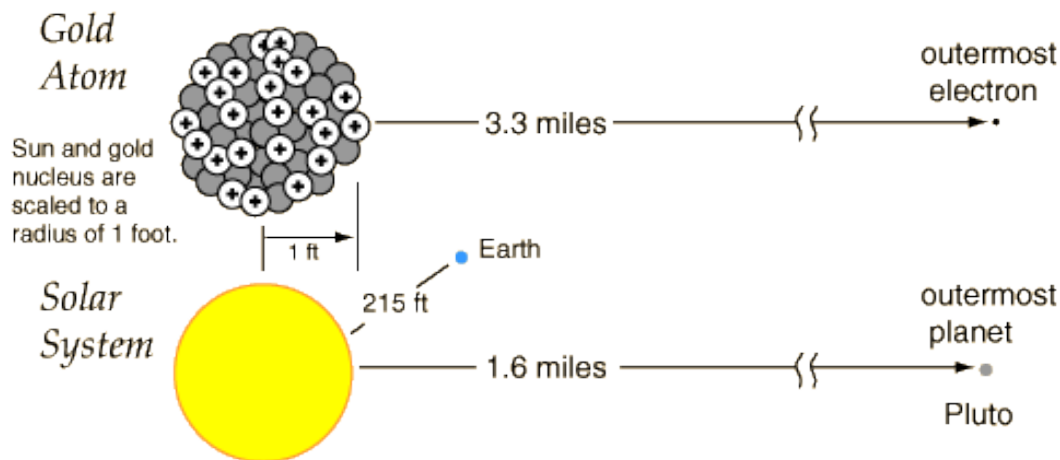
- ♦ Rozmiar jądra opisuje *promień jądra* – który - ze względu na rozmytą granicę jądra- ma charakter umowny. Empiryczny wzór opisujący promień jądra ma postać:

$$r = r_0 A^{1/3} \text{ where } r_0 = 1.2 \times 10^{-15} \text{ m} = 1.2 \text{ fm}$$



# Rozmiar jądra, gęstość materii jądrowej

- Skala porównawcza rozmiaru atomu i układu słonecznego:



## A. GOLD ATOM

Nuclear density =  $2 \times 10^{17} \text{ kg/m}^3$

Density of solid gold =  $19.32 \text{ gm/cm}^3$

Atomic mass = 196.97 amu (1 mole = 196.97 grams)

1 amu =  $1.66 \times 10^{-27} \text{ kg}$

Avogadro's number =  $6.02 \times 10^{23} \text{ atoms/mole}$

Calculated atomic radius =  $1.3 \times 10^{-10} \text{ m}$

Calculated nuclear radius =  $7.3 \times 10^{-15} \text{ m}$

## B. SOLAR SYSTEM

Radius of Sun = 432,000 miles = 695,000 km

Radius of Earth = 3963 miles = 6376 km

Sun-Earth distance =  $93 \times 10^6 \text{ miles} = 150 \times 10^6 \text{ km}$

Sun-Pluto distance =  $3666 \times 10^6 \text{ miles} = 5900 \times 10^6 \text{ km}$

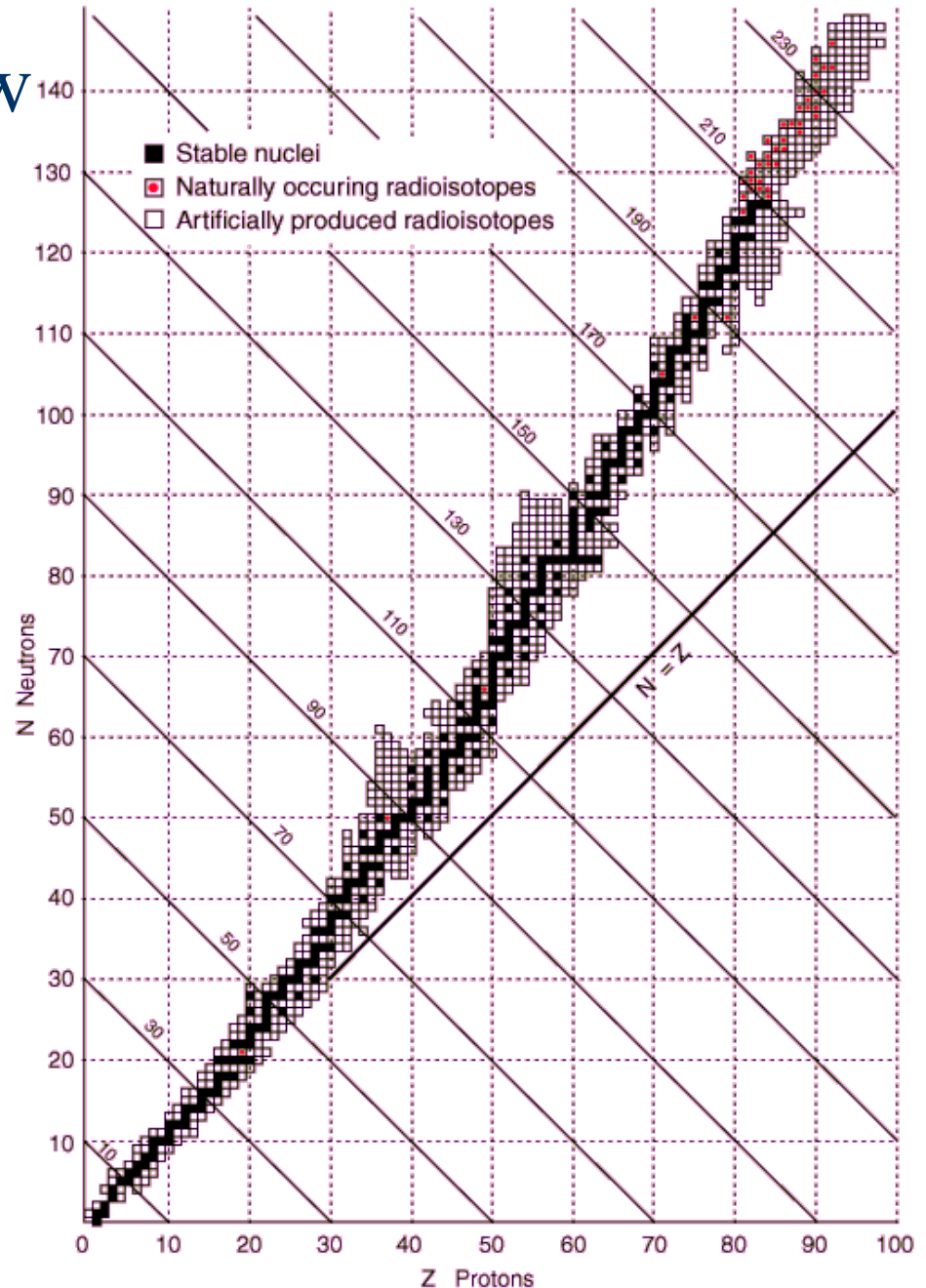
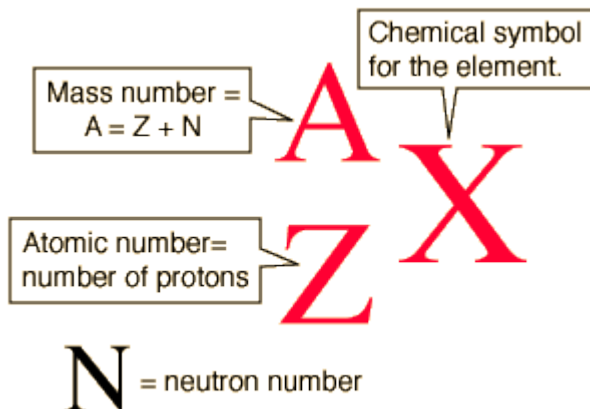
# Oznaczenia pierwiastków

- ♦ Ilość protonów w jądrze określa tzw. **liczba atomowa**, albo **liczba porządkowa Z**
- ♦ Ilość wszystkich nukleonów określa tzw. **liczba masowa A**

Obecnie znamy pierwiastki z zakresu od 1 do 107

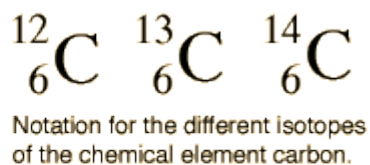
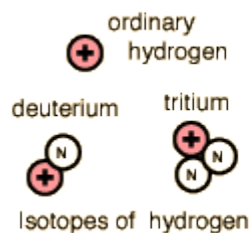
Dla jąder „lekkich”  $N / Z \approx 1$ ,

Dla jąder „ciężkich”  $N / Z \approx 1.6$



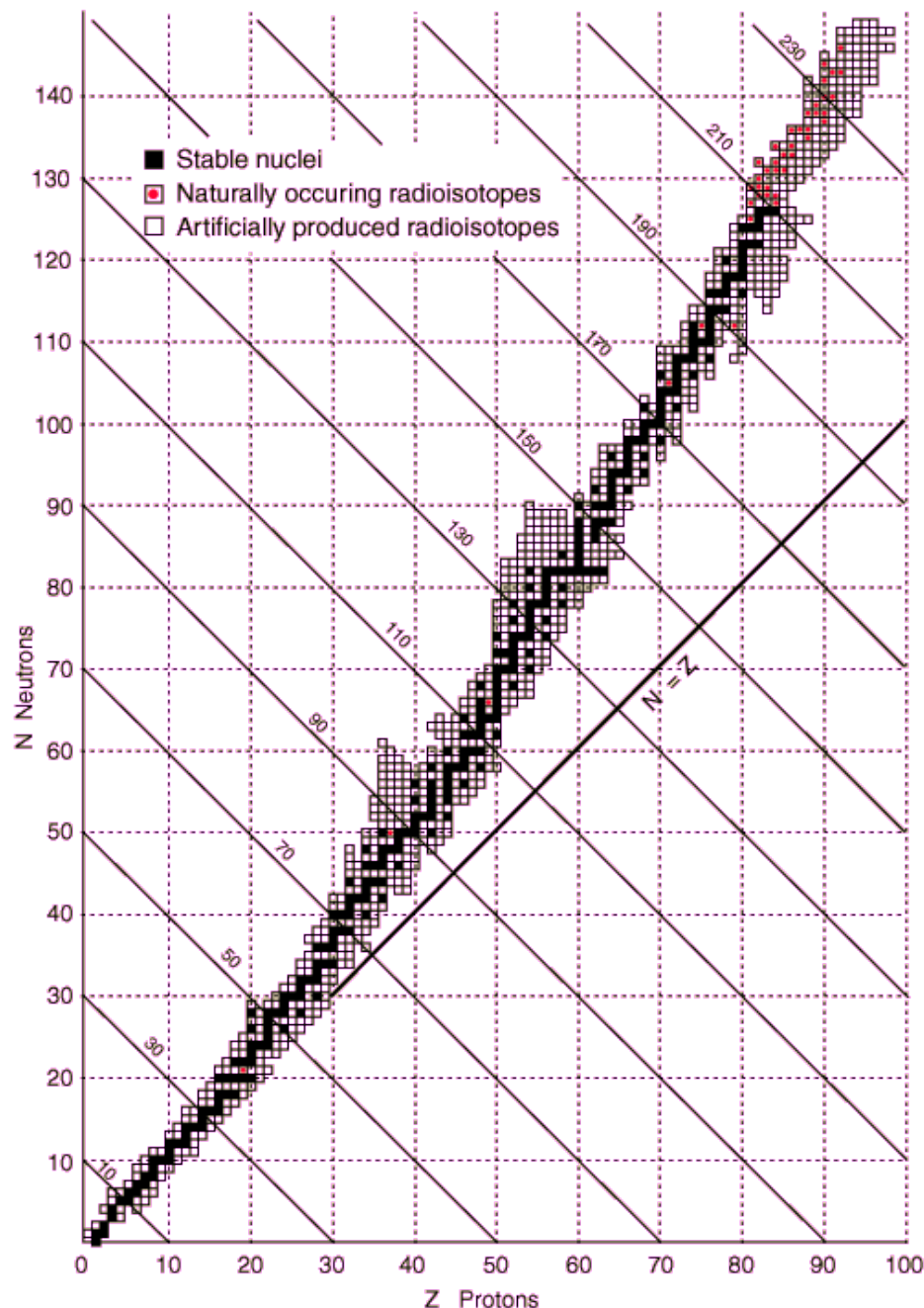
# Izotopy izobary

- ♦ **Izotopy** - jądra o jednakowych wartościach  $Z$  i różnych  $A$
- ♦ **Izobary** - jądra o jednakowych wartościach  $A$  i różnych  $Z$



There are about 400 stable isotopes.

Obecnie znamy ok 400 trwałych izotopów pierwiastków oraz ok. 2000 naturalnych i sztucznie wytworzonych izotopów promieniotwórczych



# Jądrowa energia wiązania

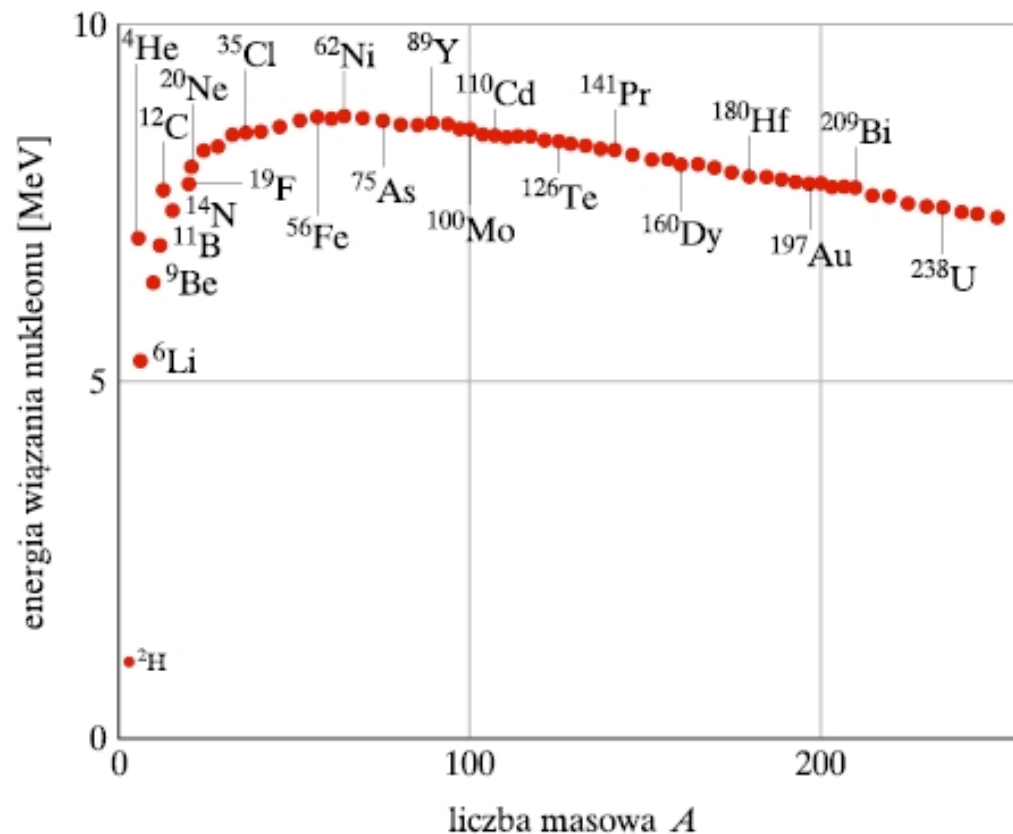
$$\Delta E = \sum (mc^2) - Mc^2$$

*masa osobnych  
nukleonów*

*Masa całkowita  
izotopu*

$$\Delta E_{\text{wiązania na nuklon}} = \Delta E / A$$

- Jądra pierwiastków po prawej stronie o mniejszej energii wiązania nukleonów mogą ulec przemianie w jądra o większej energii wiązania nukleonów – **proces rozpadu jądrowego**
- Jądra pierwiastków po lewej stronie o mniejszej energii wiązania nukleonów mogą łączyć się w jądra o większej energii wiązania nukleonów – **proces fuzji jądrowej**



Rys. 43.6. Energia wiązania nukleonu dla wybranych nuklidów. Największą wartość energii wiązania wśród wszystkich znanych trwałych nuklidów mają nukleony w jądrze niklu  $^{62}\text{Ni}$  (około 8,794 60 MeV/nukleon). Zwróćcie uwagę, że cząstka  $\alpha$  ( $^4\text{He}$ ) ma większą energię wiązania nukleonu niż jej sąsiedzi w układzie okresowym i stąd wynika jej szczególna stabilność

# Modele jądra atomowego

- ♦ Dokładne obliczenie struktury poziomów energetycznych dowolnego jądra nie jest możliwe na obecnym etapie poznania. Dlatego do opisu szczegółowych zagadnień stosuje się przybliżenia modelowe. Powstało około 10 modeli jądrowych, jednak każdy z nich pozwala opisać tylko pewną grupę faktów.

## Model kroplowy

- ♦ W modelu kroplowym (N. Bohr, J.A. Wheeler) jądro atomowe traktowane jest jak kropla cieczy. Model ten pozwala w zarysie wyjaśnić energię wiązania i rozmiary jądra atomowego.
- ♦ Model kroplowy wykorzystuje dwa podstawowe fakty doświadczalne: stałą gęstość materii w jądrze (około  $0,17 \text{ nukleonu/fm}^3$ ) oraz niemal stałą wartość energii wiązania w przeliczeniu na jeden nukleon (około 8 MeV). Obie własności są charakterystyczne dla cieczy, dla której gęstość oraz ciepło parowania są stałe, niezależnie od objętości, a nawet, w dużej mierze od ciśnienia zewnętrznego. Ponadto analogię z cieczą można rozszerzyć przyjmując, że nukleony znajdujące się na powierzchni jądra są słabiej związane niż te, które są wewnątrz oraz uwzględnić wpływ zakrzywienia powierzchni jądra.

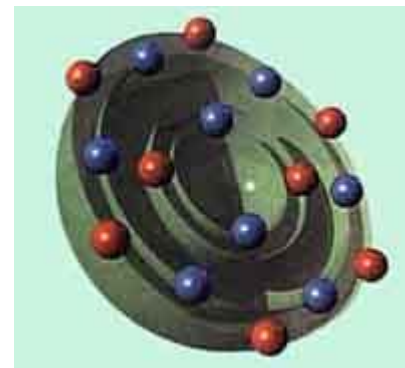




# Modele jądra atomowego

## Model powłokowy

- W modelu powłokowym (M. Goeppert-Mayer, H.J.D. Jensen) rozpatruje się niezależny ruch nukleonów (oddzielnie protony i oddzielnie neutrony) w tzw. średnim polu, co umożliwia opisanie takich własności jądra atomowego jak struktura poziomów dla małych wzbudzeń, własności elektromagnetyczne.
- Za modelem powłokowym jądra przemawia przede wszystkim istnienie tzw. liczb magicznych - jądra o liczbie protonów lub neutronów równej 2, 8, 20, 28, 50 i 82 oraz o liczbie neutronów 126 są szczególnie trwałe.



- ♦ Liczby magiczne, to takie liczby neutronów i protonów w jądrze, dla których własności jąder różnią się istotnie od własności innych jąder o bliskich liczbach neutronów i protonów.
- ♦ Liczby magiczne odpowiadają zamkniętym powłokom protonów i neutronów w jądrze. Poziomy energetyczne nukleonów określone są przez wartości głównej i orbitalnej liczby kwantowej. Bierze się również pod uwagę oddziaływanie spinowego i orbitalnego momentu pędu, co powoduje rozszczepienie poziomów energetycznych nukleonów. Sumaryczne momenty pędu i momenty magnetyczne jąder o zamkniętych powłokach są równe zeru.
- ♦ Model ten jest modelem jednocząstkowym i zakłada, że nukleony poruszają się niezależnie od siebie w potencjale będącym wynikiem oddziaływania jednego nukleonu ze wszystkimi pozostałymi, a ich stan własny określony jest za pomocą czterech liczb kwantowych: radialnej liczby kwantowej  $n$ , orbitalnego momentu pędu  $l$ , jego rzutu na oś kwantyzacji  $m_l$  i spinu  $s$ .

# Modele jądra atomowego

## Model kolektywny

- ♦ W modelu kolektywnym (A. Bohr) modyfikuje się średnie pole dodając fenomenologiczne oddziaływania: krótkozasięgowe (paringu) oraz długozasięgowe. Model ten wyjaśnia moment pędu i deformacje jądra, energia wiązania jednego nukleonu w jądrze wynosi od kilku do kilkunastu MeV (mega, elektronowolt), średnio rośnie wraz z  $Z$  dla coraz cięższych jąder aż do żelaza, następnie maleje.



# Rozpady jąder promieniotwórczych

- ♦ Promieniotwórczością (radioaktywnością) nazywamy przekształcenie się nietrwałych izotopów jednego pierwiastka chemicznego w izotopy innego pierwiastka, czemu towarzyszy emisja pewnych cząstek
- ♦ Promieniotwórczość naturalna
- ♦ Promieniotwórczość sztuczna
- ♦ Podstawowe rodzaje rozpadów promieniotwórczych:

# Rozpady jąder promieniotwórczych

**Tablica VIII.1.1**

| Rodzaj promienio-<br>twórczości     | Zmiana<br>ładunku<br>jądra $Z$ | Zmiana<br>liczby<br>masowej $A$ | Charakter procesu                                                                                                                                                                            |
|-------------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Rozpad $\alpha$                     | $Z - 2$                        | $A - 4$                         | emisja cząstki $\alpha$ — układu złożonego z połączonych razem dwóch protonów i dwóch neutronów                                                                                              |
| Rozpad $\beta$                      | $Z \pm 1$                      | $A$                             | wzajemne przekształcanie się neutronu ( ${}^1_0n$ ) i protonu ( ${}^1_1p$ ) w jądrze                                                                                                         |
| Rozpad $\beta^-$                    | $Z + 1$                        | $A$                             | ${}^1_0n \rightarrow {}^1_1p + ({}^0_{-1}e + {}^0_0\bar{\nu}_e)$                                                                                                                             |
| Rozpad $\beta^+$                    | $Z - 1$                        | $A$                             | ${}^1_1p \rightarrow {}^1_0n + ({}^0_{+1}e + {}^0_0\nu_e)$                                                                                                                                   |
| Wychwyt<br>elektronu<br>(wychwyt K) | $Z - 1$                        | $A$                             | ${}^1_1p + {}^0_{-1}e \rightarrow {}^1_0n + ({}^0_0\nu_e),$<br>${}^0_0\nu_e$ i ${}^0_0\bar{\nu}_e$ — neutrino i antyneutrino elektronowe. W nawiasach podano cząstki, które wylatują z jądra |
| Samorzutne<br>rozszczipienie        | $Z - Z/2$                      | $A - A/2$                       | podział jądra zwykle na dwa fragmenty o w przybliżeniu równych masach i ładunkach                                                                                                            |

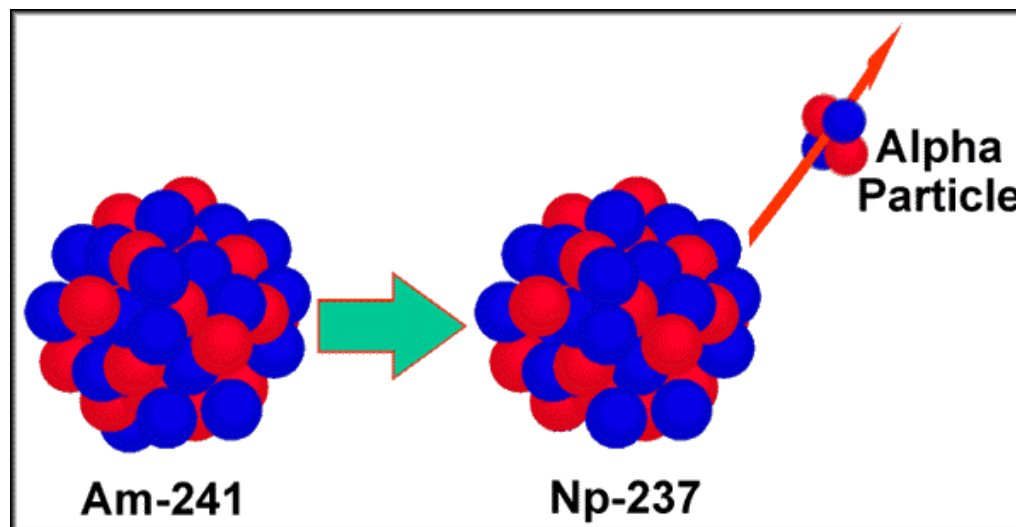
# Rozpady jąder promieniotwórczych

## Rozpad $\alpha$

- ♦ Emisja cząstek  $\alpha$  (złożonej z połączonych dwóch protonów i dwóch neutronów)
- ♦ Jest charakterystyczny dla ciężkich jąder o liczbach masowych  $A > 200$  i  $Z > 82$
- ♦ Wysyłane w danym rozpadzie mają jednakową energię
- ♦ Mają dużą zdolność jonizacji, szybko tracą swoją energię
- ♦ Zasięg bardzo mały

(maks. w powietrzu cząstek  $\alpha$  emitowanych przez  $^{212}\text{Po}$ ,  
mających energię 10,53 MeV, wynosi ok. 11,5 cm)

promieniowanie groźne jedynie w przypadku bezpośredniego kontaktu



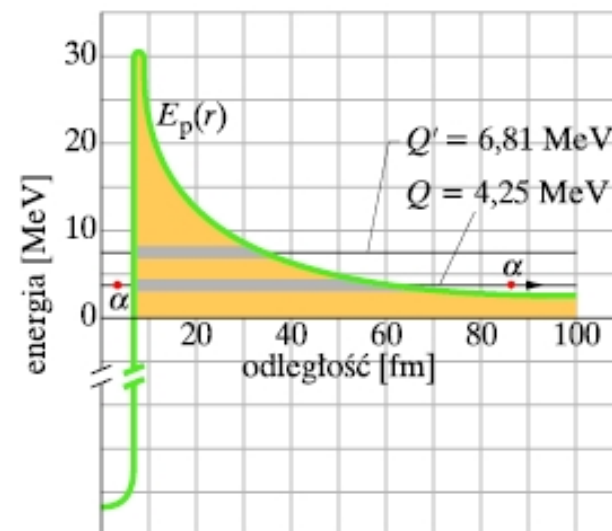
# Rozpady jąder promieniotwórczych

## Rozpad $\alpha$

- Wysyłane cząstki  $\alpha$  w danym rozpadzie mają jednakową energię np.



- Różnica mas pomiędzy izotopem uranu a produktami rozpadu odpowiada tzw. **energii rozpadu** – w tym przypadku równa jest ona ok. 4.25 MeV
- Taką energię kinetyczną otrzymuje cząstka  $\alpha$  po rozpadzie



Rys. 43.9. Wykres energii potencjalnej dla emisji cząstki  $\alpha$  z nuklidu  $^{238}\text{U}$ . Pozioma czarna linia oznaczona  $Q = 4,25 \text{ MeV}$  odpowiada energii rozpadu. Poszerzony, szary odcinek tej linii wskazuje zakres odległości  $r$  zabroniony dla cząstki  $\alpha$  w ramach fizyki klasycznej. Cząstkę  $\alpha$  zaznaczono jako punkt wewnątrz bariery potencjału (z lewej strony) i na zewnątrz — po pokonaniu jej na drodze tunelowania (z prawej). Pozioma czarna linia oznaczona  $Q' = 6,81 \text{ MeV}$  odpowiada energii rozpadu  $\alpha$  nuklidu  $^{234}\text{U}$ . (Bariera potencjału dla obydwu izotopów ma ten sam kształt ze względu na takie same ładunki jąder)



**EXAMPLE 30–6 Uranium decay energy release.** Calculate the disintegration energy when  $^{232}_{92}\text{U}$  (mass = 232.037146 u) decays to  $^{228}_{90}\text{Th}$  (228.028731 u) with the emission of an  $\alpha$  particle. (As always, masses are for neutral atoms.)

**APPROACH** We use conservation of energy as expressed in Eq. 30–2.  $^{232}_{92}\text{U}$  is the parent,  $^{228}_{90}\text{Th}$  is the daughter.

**SOLUTION** Since the mass of the  $^4_2\text{He}$  is 4.002603 u (Appendix B), the total mass in the final state is

$$228.028731 \text{ u} + 4.002603 \text{ u} = 232.031334 \text{ u}.$$

The mass lost when the  $^{232}_{92}\text{U}$  decays is

$$232.037146 \text{ u} - 232.031334 \text{ u} = 0.005812 \text{ u}.$$

Since  $1 \text{ u} = 931.5 \text{ MeV}$ , the energy  $Q$  released is

$$\begin{aligned} Q &= (0.005812 \text{ u})(931.5 \text{ MeV/u}) \\ &\approx 5.4 \text{ MeV}, \end{aligned}$$

and this energy appears as kinetic energy of the  $\alpha$  particle and the daughter nucleus.

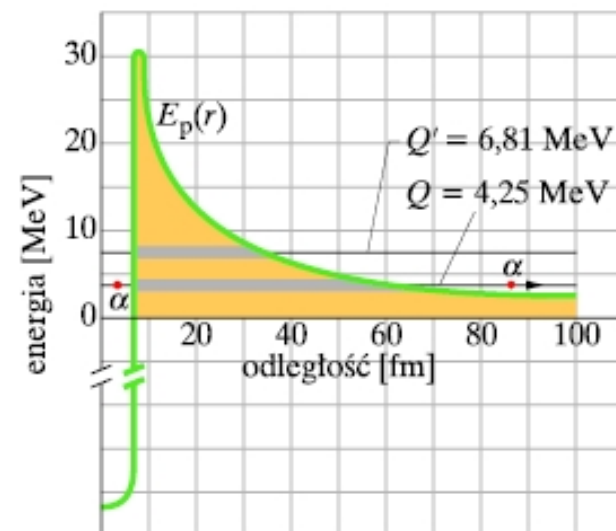
**NOTE** Using conservation of momentum, it can be shown that the  $\alpha$  particle emitted by a  $^{232}_{92}\text{U}$  nucleus at rest has a kinetic energy of about 5.3 MeV. Thus, the daughter nucleus—which recoils in the opposite direction from the emitted  $\alpha$  particle—has about 0.1 MeV of kinetic energy. See the next Example and/or Problem 65.

# Rozpady jąder promieniotwórczych

## Rozpad $\alpha$



- Energia rozpadu innego izotopu  $^{228}\text{U}$  jest ok 60% większa = 6,81 MeV
- To że cząstka  $\alpha$  może wydostać się z jądra jest efektem tunelowym (istnieje prawdopodobieństwo że cząstka o mniejszej energii kinetycznej przeskoczy barierę o wyższej energii)
- To prawdopodobieństwo zależy od szerokości bariery i energii cząstki.
- Dlatego czas połowicznego rozpadu dla



Rys. 43.9. Wykres energii potencjalnej dla emisji cząstki  $\alpha$  z nuklidu  $^{238}\text{U}$ . Pozioma czarna linia oznaczona  $Q = 4,25 \text{ MeV}$  odpowiada energii rozpadu. Poszerzony, szary odcinek tej linii wskazuje zakres odległości  $r$  zabroniony dla cząstki  $\alpha$  w ramach fizyki klasycznej. Cząstkę  $\alpha$  zaznaczono jako punkt wewnątrz bariery potencjału (z lewej strony) i na zewnątrz — po pokonaniu jej na drodze tunelowania (z prawej). Pozioma czarna linia oznaczona  $Q' = 6,81 \text{ MeV}$  odpowiada energii rozpadu  $\alpha$  nuklidu  $^{228}\text{U}$ . (Bariera potencjału dla obydwu izotopów ma ten sam kształt ze względu na takie same ładunki jąder)



### **Why $\alpha$ particles?**

Why, you may wonder, do nuclei emit this combination of four nucleons called an  $\alpha$  particle? Why not just four separate nucleons, or even one? The answer is that the  $\alpha$  particle is very strongly bound, so that its mass is significantly less than that of four separate nucleons. As we saw in Example 30–3, two protons and two neutrons separately have a total mass of about 4.032980 u (electrons included). The total mass of  ${}^{228}_{90}\text{Th}$  plus four separate nucleons is 232.061711 u, which is greater than the mass of the parent (232.037146). Such a decay could not occur because it would violate the conservation of energy. Similarly, it is almost always true that the emission of a single nucleon is energetically not possible.

# Rozpady jąder promieniotwórczych

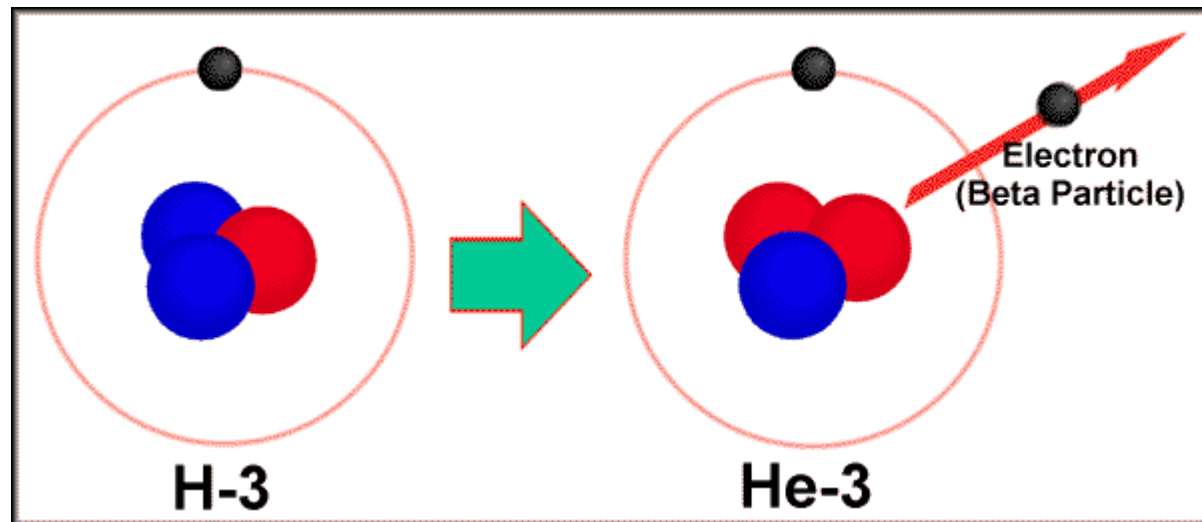
## Rozpad $\beta^-$ (emisja elektronów)

$$n \rightarrow p^+ + e^- + \bar{\nu}_e$$

- ♦ Emisja cząstek  $\beta^-$  (elektrony) emitowanych przez izotopy gdy np. w jądrze jest nadmiar neutronów w stosunku do protonów (neutron przekształca się w proton emitując elektron i cząstkę zwaną antyneutrinem)
- ♦ Widmo energetyczne cząstek  $\beta$  jest ciągłe (nie-monoenergetyczne)
- ♦ Zdolność jonizacji znacznie mniejsza niż cząstek  $\alpha$  (tracą przy tym energię)
- ♦ Zasięg w powietrzu cząstek  $\beta$  o energii 1 MeV wynosi 3 m, o energii 10 MeV wynosi 39 m
- ♦ Hamowanie elektronów przez jądra atomowe powoduje emisję promieniowania elektromagnetycznego (w ten sposób  $\beta$  mogą tracić swoją energię)

Zdolność hamowania ośrodka w którym rozchodzi się promieniowanie  $\beta$  jest proporcjonalna do iloczynu  $EZ^2$  ( $E$  – energia elektronu,  $Z$  – liczba porządkowa absorbentu)

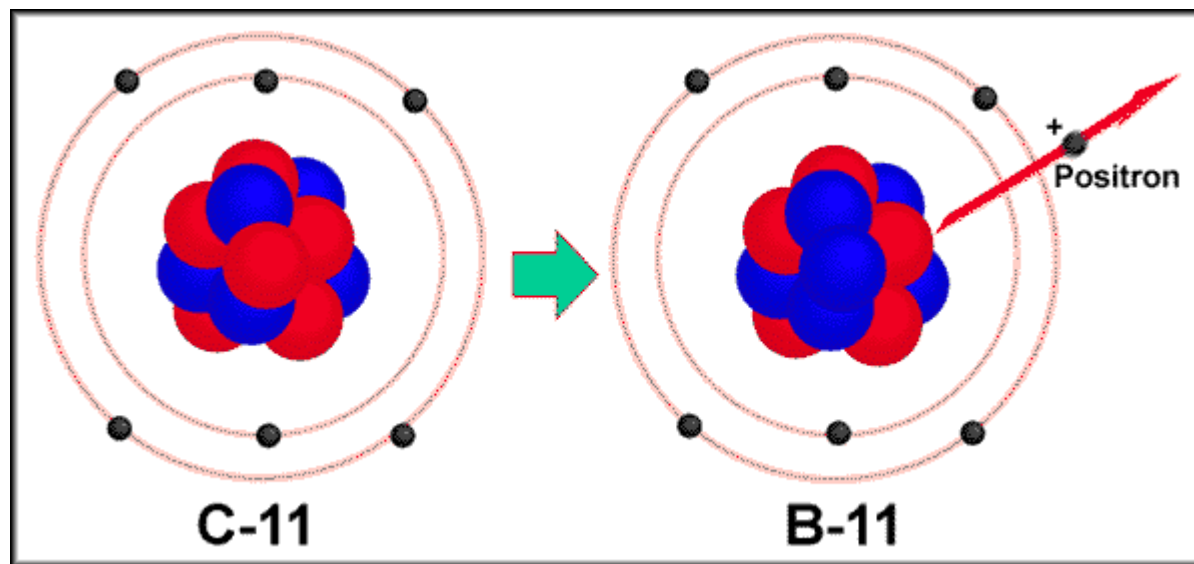
**Promieniowanie może być zatrzymane przez arkusz blachy, szklaną szybę i zwykłe ubranie**



# Rozpady jąder promieniotwórczych

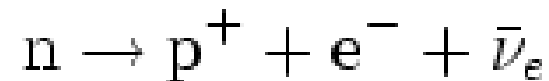
## Rozpad $\beta^+$ (emisja pozytonów) $p^+ \rightarrow n + e^+ + \nu_e$

- ♦ Emisja cząstek  $\beta^+$  (pozytony) emitowane przez izotopy gdy np. w jądrze jest nadmiar protonów (proton przekształca się w neutron emitując pozyton i cząstkę zwaną neutrinem)
- ♦ Proces ten jest o wiele rzadszy niż rozpad  $\beta^-$ , ponieważ aby reakcja ta mogła zaistnieć konieczne jest dostarczenie energii z zewnątrz.
- ♦ Własności podobne do  $\beta^-$

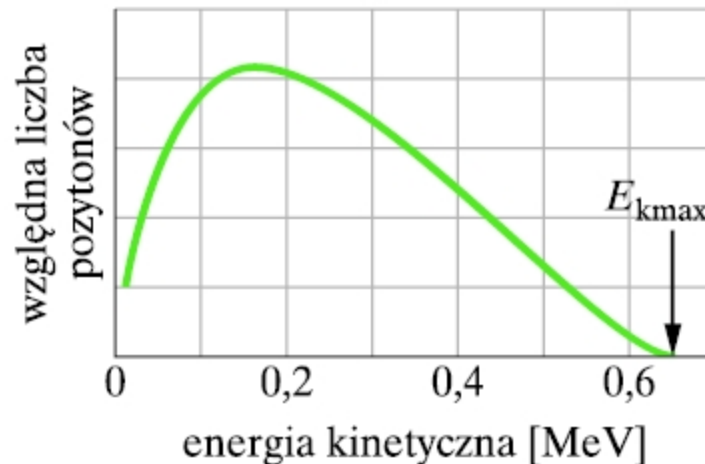


# Rozpady jąder promieniotwórczych

## Rozpad $\beta^+$ (emisja pozytonów)



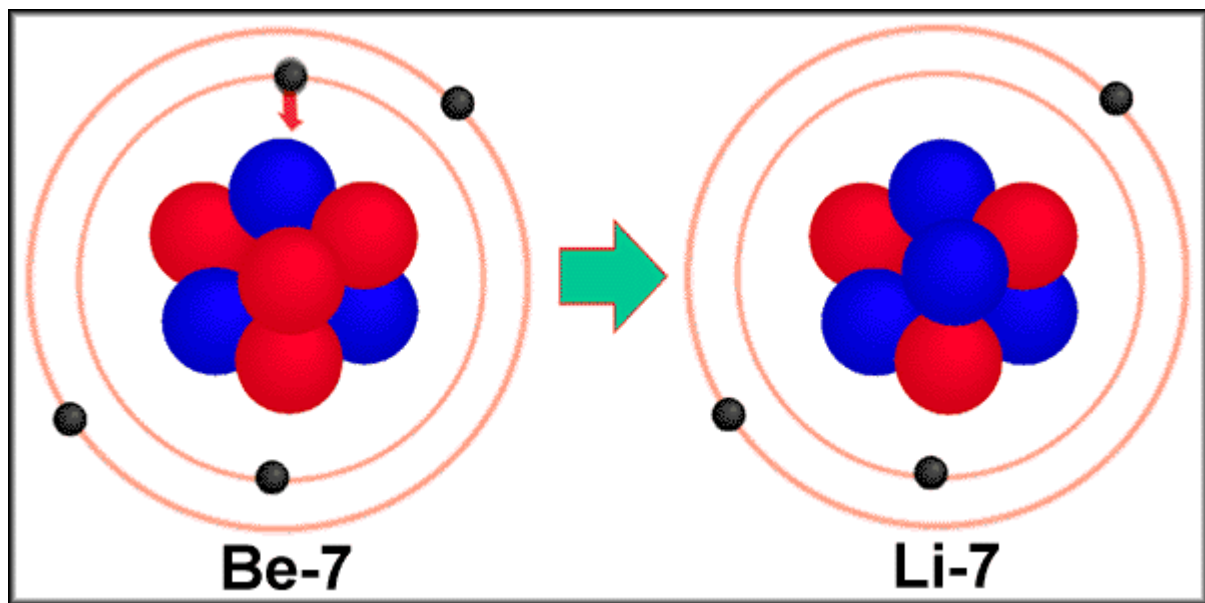
- ♦ Widmo energetyczne cząstek  $\beta$  jest ciągłe (nie-monoenergetyczne)
- ♦ Maksymalna energia z jaką mogą być emitowane cząstki jest dzielona w różnych proporcjach między pozyton i neutrino



Rys. 43.10. Rozkład energii kinetycznej pozytonów emitowanych w wyniku rozpadu  $\beta$  nuklidu  $^{64}\text{Cu}$ . Maksymalna energia kinetyczna ( $E_{k\max}$ ) emitowanych cząstek ma wartość 0,653 MeV. We wszystkich rozpadach nuklidu  $^{64}\text{Cu}$  energia ta jest dzielona w różnych proporcjach między pozyton a neutrino. *Najbardziej prawdopodobna* energia emitowanego pozytonu wynosi około 0,15 MeV

# Rozpady jąder promieniotwórczych wychwyt elektronu przez jądro

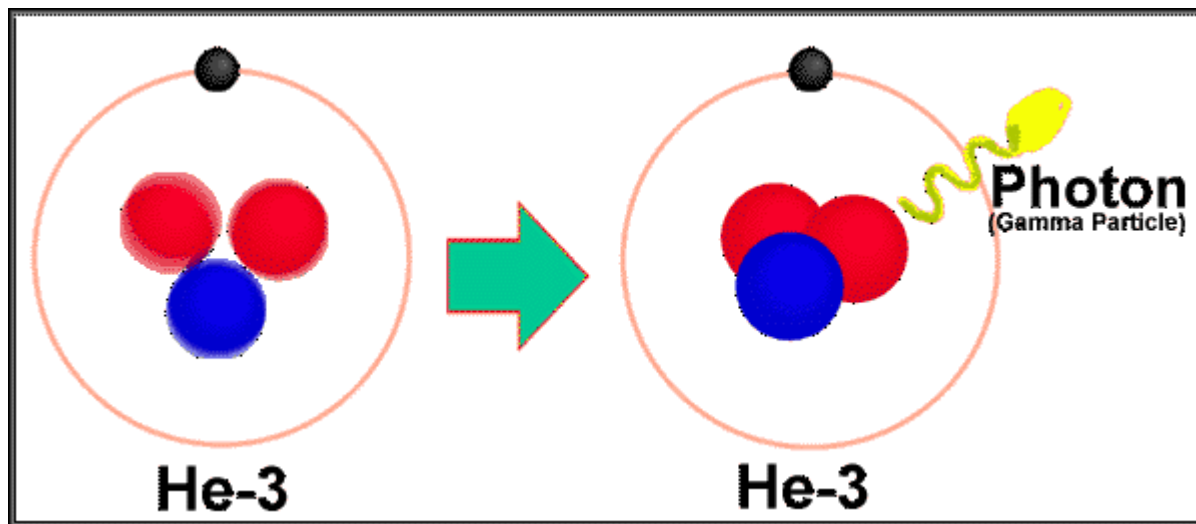
- ♦ Może nastąpić wtedy gdy stosunek liczby neutronów do liczby protonów jest zbyt mały
- ♦ Jądro przechwytuje elektron z wewnętrznej powłoki (proton przekształca się w neutron pochłaniając elektron)
- ♦ Na skutek powstałej luki po elektronie na wywierznej powłoce następuje także emisja charakterystycznego promieniowania rentgenowskiego



# Rozpady jąder promieniotwórczych

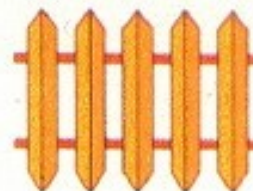
## Promieniowanie $\gamma$

- ♦ Może wystąpić wtedy gdy jądro ma nadmiar energii – jest w stanie wzbudzonym.
- ♦ Jądro jest w stanie wzbudzonym gdy jego nukleony mają większą energię niż w stanie podstawowym (wartości energii jakie mogą przyjmować nukleony są skwantowane !!!)
- ♦ Jądro emituje nadmiar swojej energii w postaci promieniowania elektromagnetycznego przechodząc (czasami stopniowo) do stanu podstawowego.





# Promieniowanie elektromagnetyczne.

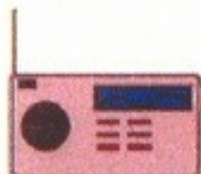


100 nm

400 nm

760 nm

300 GHz  
1 mm



300 GHz  
1 mm

30 GHz

3 GHz

300 MHz

30 MHz

3 MHz

300 kHz

30 kHz

3 kHz

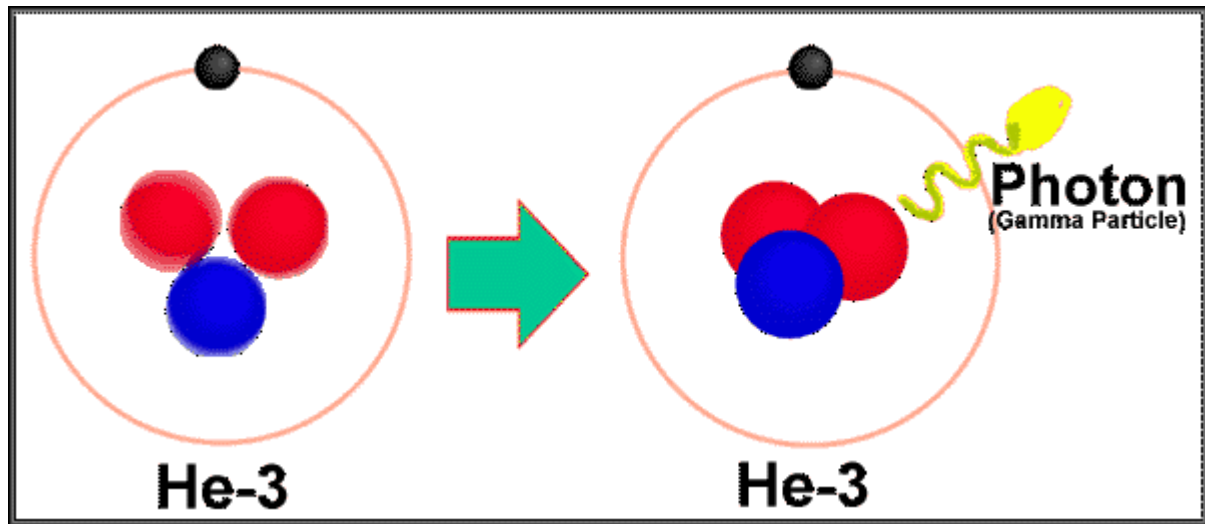
300 Hz

30 Hz

# Rozpady jąder promieniotwórczych

## Promieniowanie $\gamma$

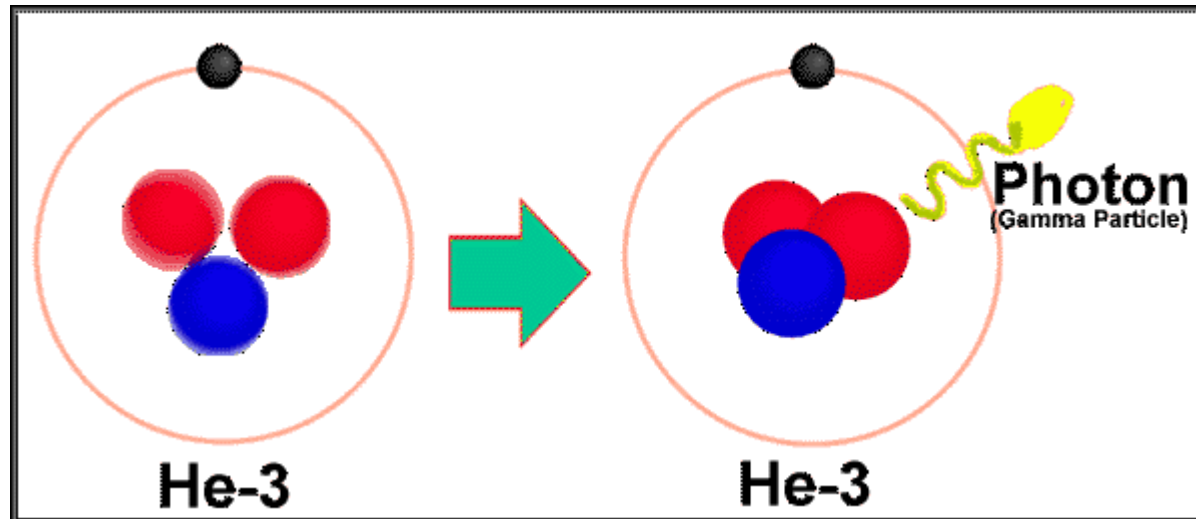
- ◆ Podobnie jak promieniowanie X, promieniowanie  $\gamma$  nie może bezpośrednio jonizować ośrodka przez które przechodzi
- ◆ Mechanizmy oddziaływania promieniowania  $\gamma$  z materią
  - Efekt fotoelektryczny (wybijanie elektronów z wewnętrznej powłoki atomowej)
  - Efekt Compton'a (rozpraszanie kwantu gamma na swobodnym elektronie)
  - Efekt tworzenia się par elektron-pozyton
- ◆ Właściwą jonizację ośrodka powodują elektrony, którym kwant gamma przekazuje energię w wyniku jednego z powyższych procesów



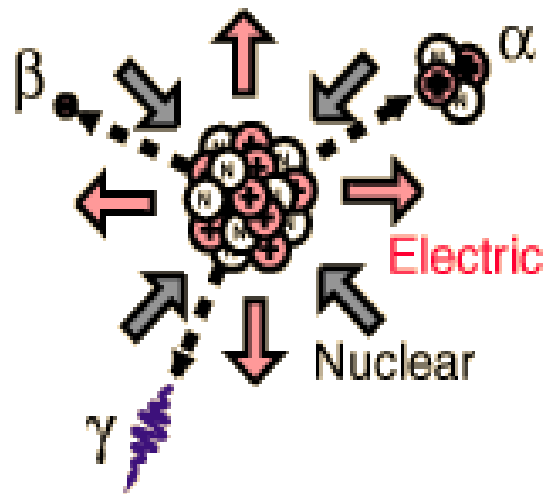
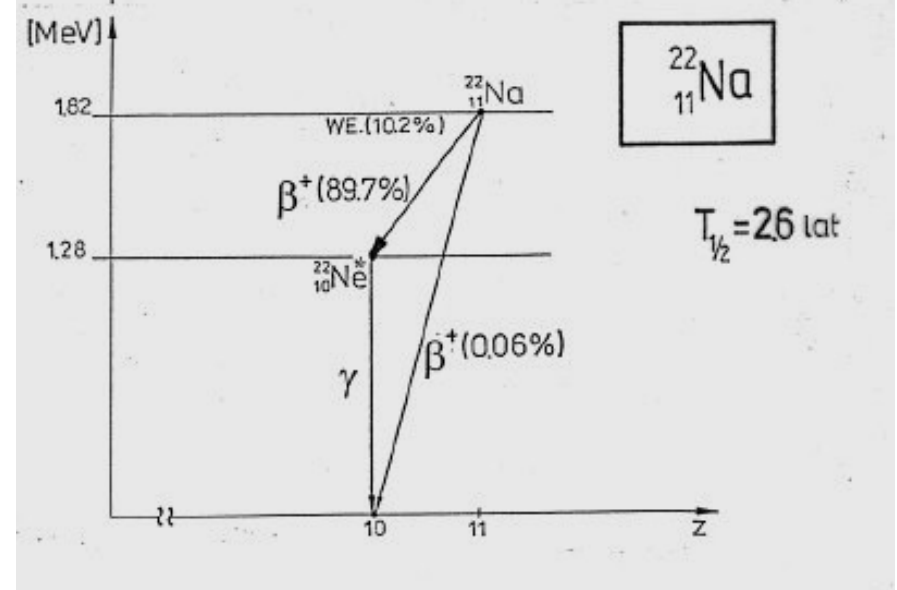
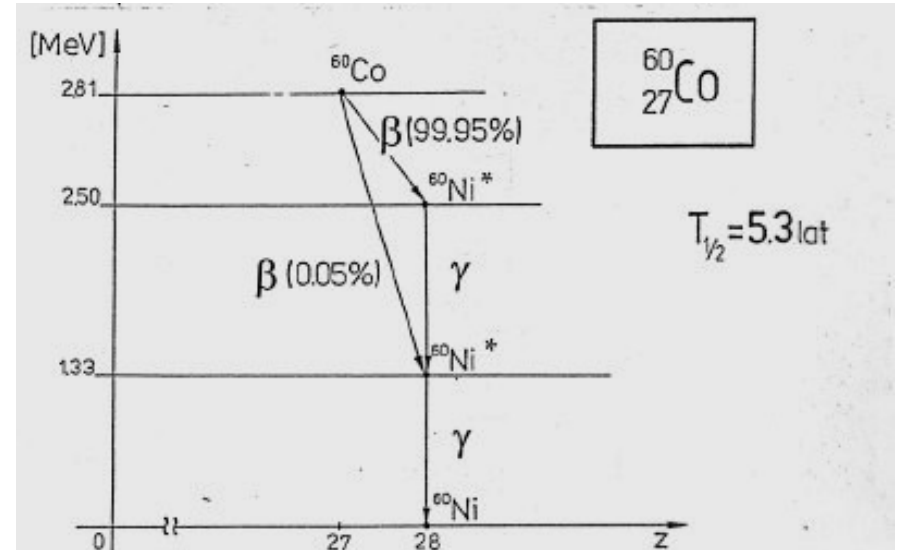
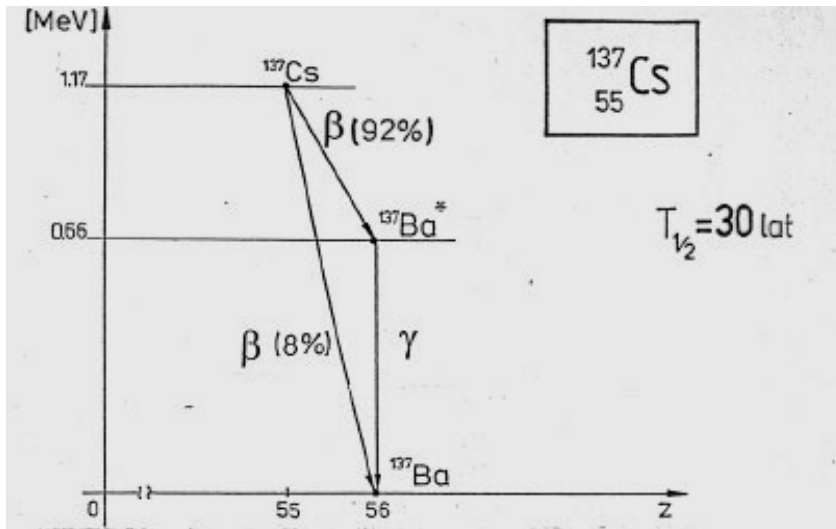
# Rozpady jąder promieniotwórczych

## Promieniowanie $\gamma$

- ♦ Promieniowanie gamma jest bardzo przenikliwe - trudno jest mówić o zasięgu
- ♦ Prawdopodobieństwo że kwant gamma wywoła w/w zjawiska rośnie kiedy rozchodzi się ono w ośrodku o większej liczbie atomowej  $Z$  /wzrost liczby elektronów w atomie/
- ♦ Osłabienie wiązki gamma będzie tym większe im cięższe pierwiastki będą wchodzić w skład materiału osłabiającego
- ♦ Na swojej drodze ciągle zderza się z atomami ośrodka. Substancje o dużej gęstości, takie jak ołów i beton, o odpowiednio dużej grubości mogą być barierą dla tego promieniowania



# Drogi rozpadu jąder atomowych



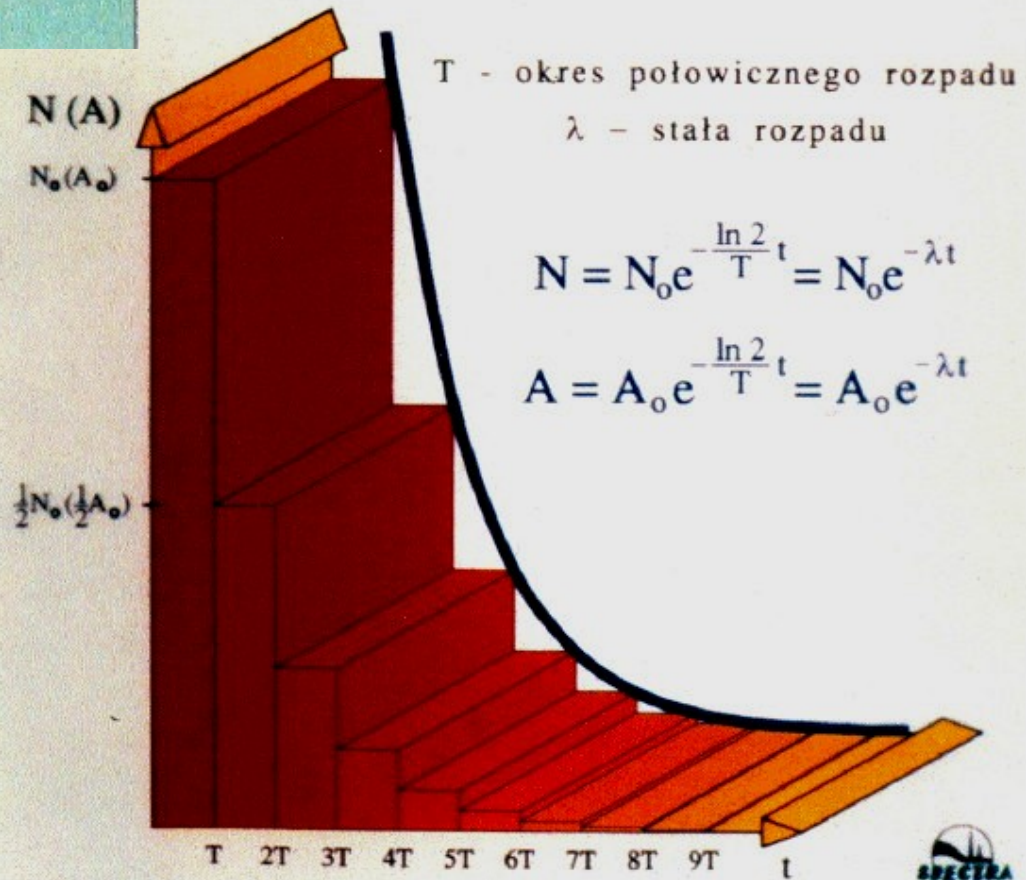
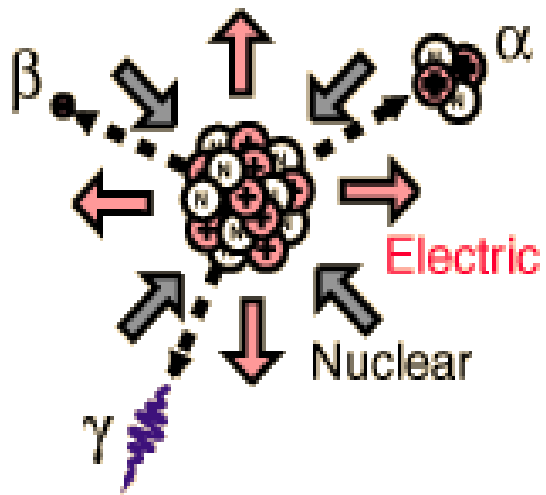
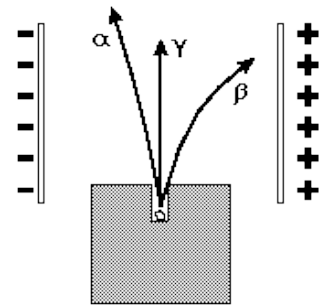
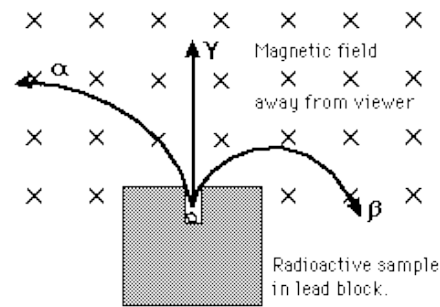


### **Prawo rozpadu promieniotwórczego.**

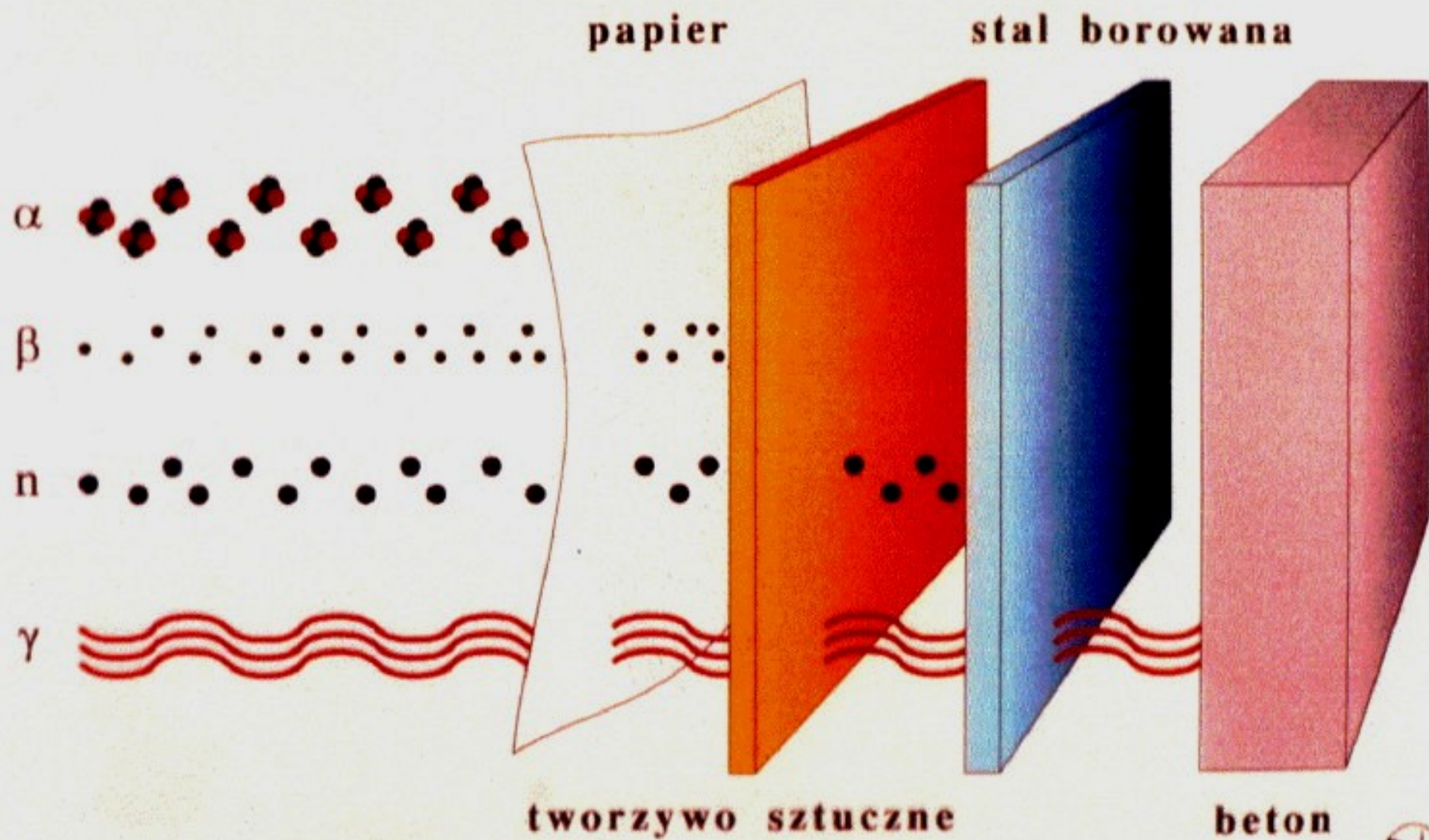
A - aktywność - jest to ilość rozpadów promieniotwórczych w jednostce czasu

$$A = - \frac{\Delta N}{\Delta t}$$

$[A] = 1 \text{ Bq} = 1 \text{ rozpad na sekundę}$

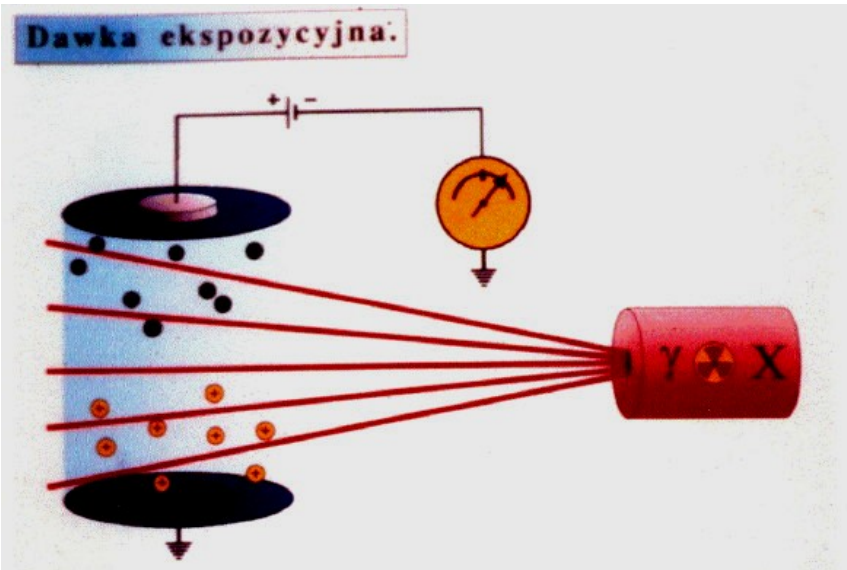
$$1 \text{ Ci} = 37.000.000.000 \text{ Bq}$$


**Ostony przed promieniowaniem.**





# Dawka ekspozycyjna



**X - dawka ekspozycyjna**

$$X = \frac{\Delta q}{\Delta m}$$

$$[X] = \frac{1 \text{ C}}{1 \text{ kg}}$$

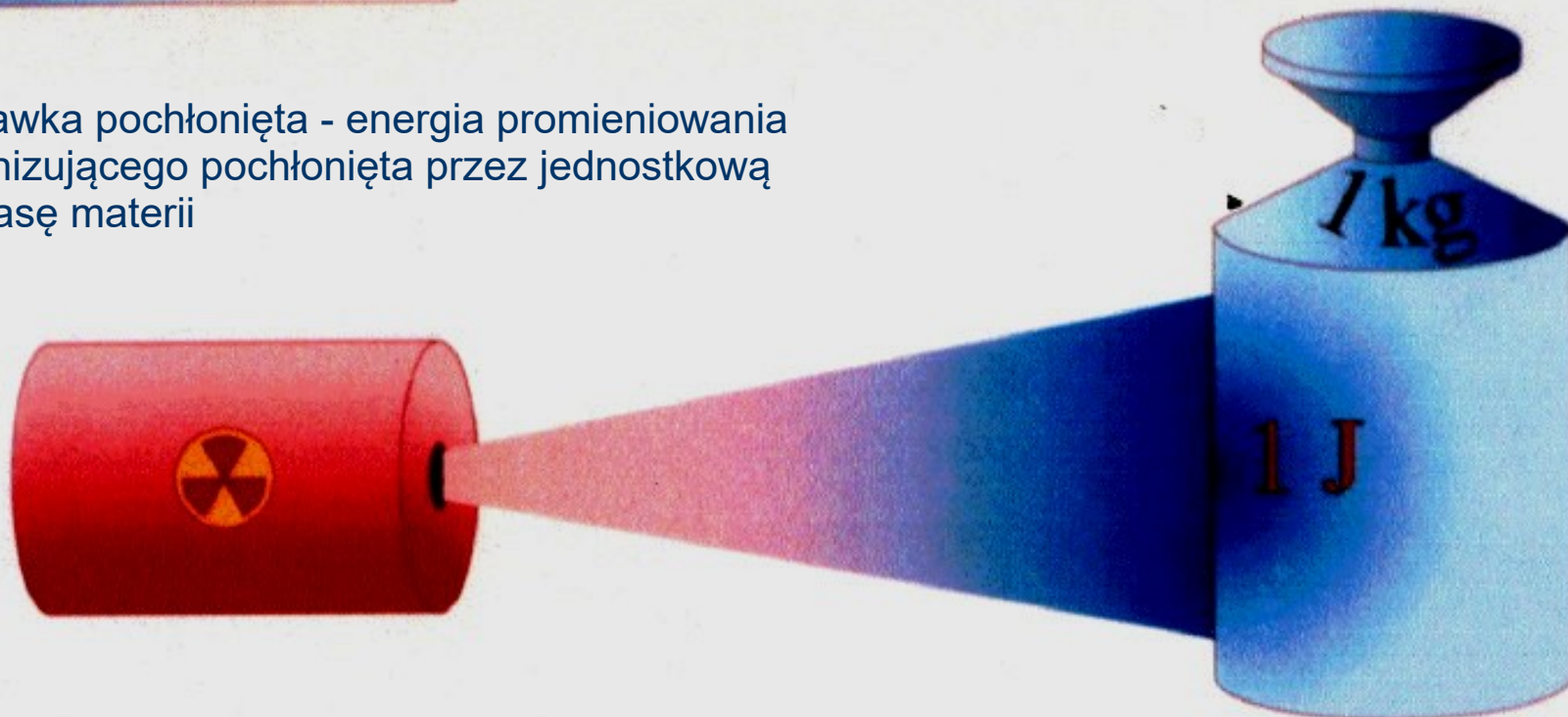
$$1 \text{ R} = 2,58 \cdot 10^{-4} \frac{\text{C}}{\text{kg}}$$

Dawka ekspozycyjna jest równa 1 rentgenowi (1 R), gdy promieniowanie  $\gamma$  lub X w 1 cm<sup>3</sup> suchego powietrza znajdującego się w warunkach normalnych (0 °C, 760 mm Hg) wytworzy 1 j.e. (jednostkę elektrostatyczną) ładunku jednego znaku.



## Dawka pochłonięta.

- Dawka pochłonięta - energia promieniowania jonizującego pochłonięta przez jednostkową masę materii



D - dawka pochłonięta

$$D = \frac{\Delta E}{\Delta m}$$

$$[D] = 1 \text{ Gy} = \frac{1 \text{ J}}{1 \text{ kg}}$$

$$1 \text{ Gy} = 100 \text{ radów}$$

# Równoważnik dawki.

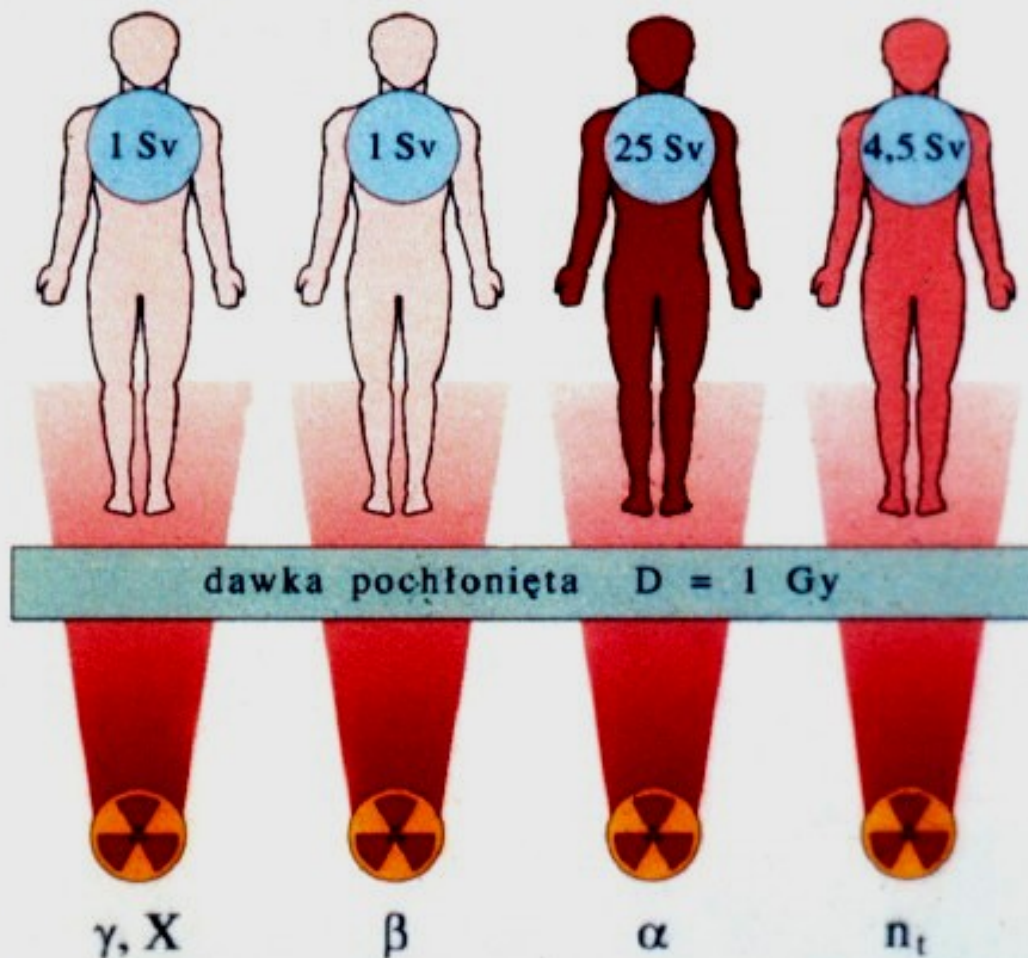
H - równoważnik dawki

$$H = D \cdot Q$$

$$[H] = 1 \text{ Sv} = 1 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$$

$$1 \text{ Sv} = 100 \text{ remów}$$

| Rodzaj promieniowania | Współczynnik jakości Q |
|-----------------------|------------------------|
| $\gamma, X$           | 1                      |
| $\beta$ (>30 keV)     | 1                      |
| $\beta$ trytu         | 2                      |
| $\alpha$              | 25                     |
| ciężkie jony          | 25                     |
| n                     | 25                     |
| n termiczne           | 4,5                    |





# Efektywny równoważnik dawki.

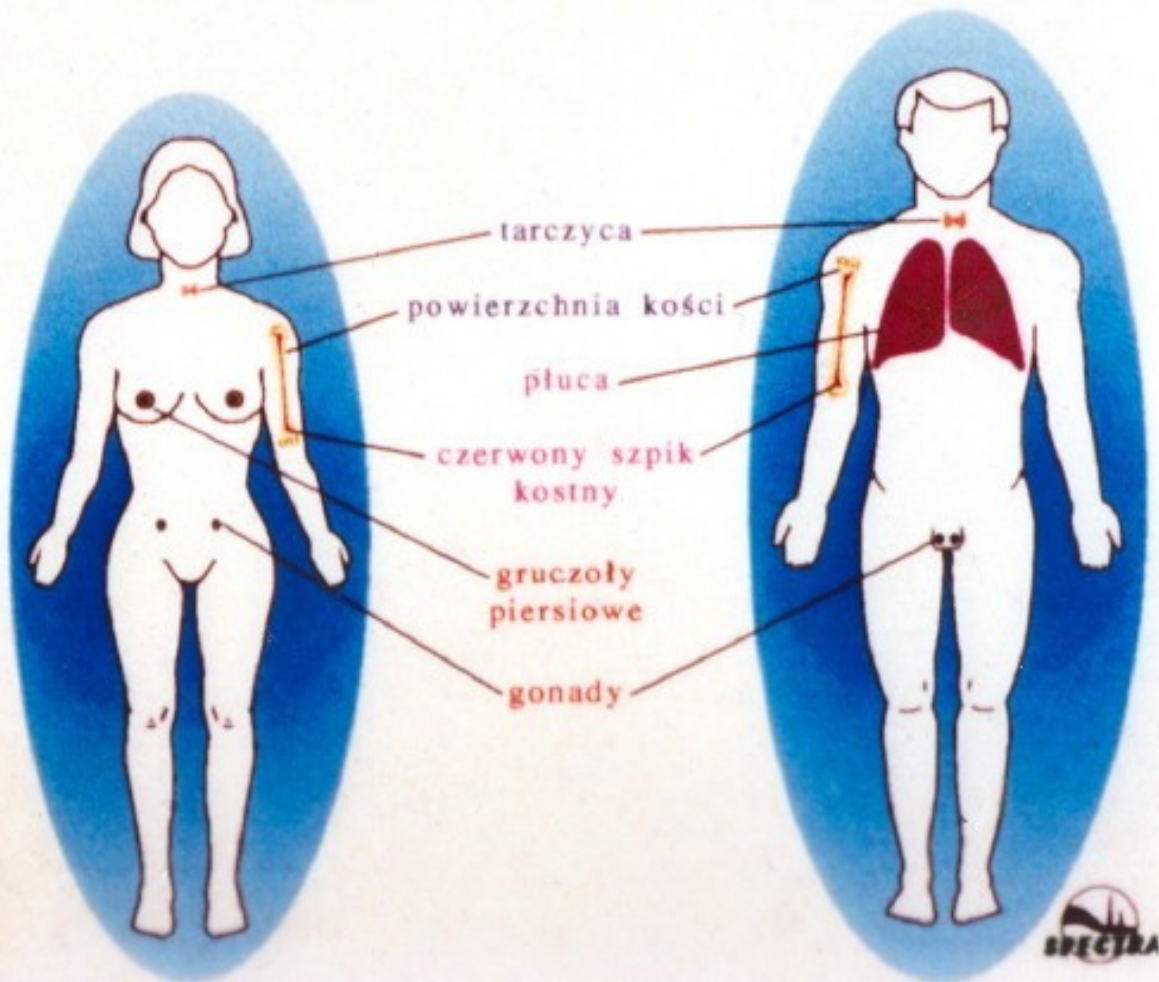
$$H_E = \sum_T w_T \cdot H_T$$

$H_E$  - efektywny równoważnik dawki

$H_T$  - równoważnik dawki w tkance lub narządzie

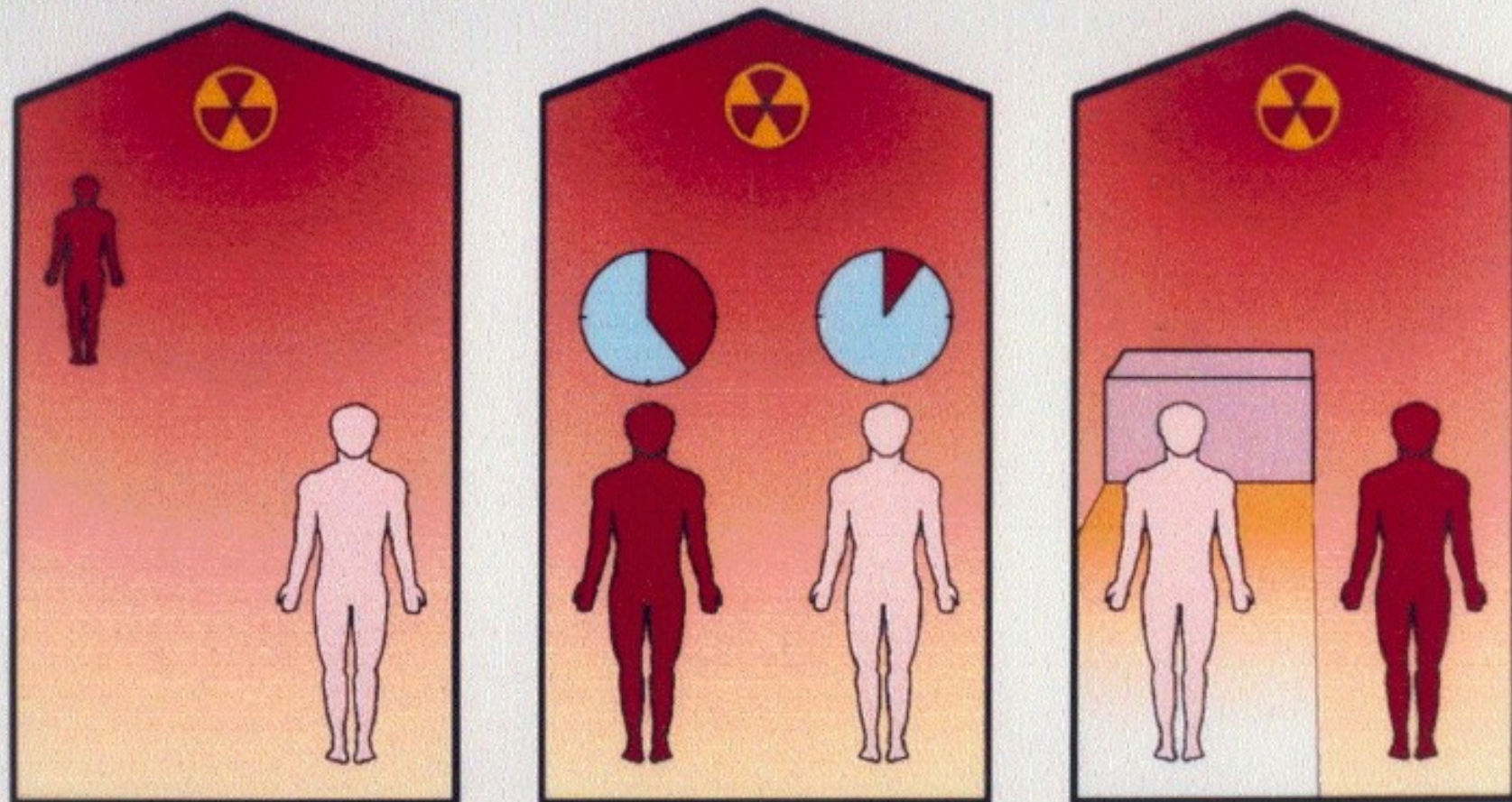
$w_T$  - współczynnik wagowy dla tkanki lub narządu

| tkanka lub narząd                          | współczynnik wagowy $w_T$ |
|--------------------------------------------|---------------------------|
| gonady                                     | 0,25                      |
| gruczoły piersiowe                         | 0,15                      |
| czerwony szpik kostny                      | 0,12                      |
| płuca                                      | 0,12                      |
| tarczycza                                  | 0,03                      |
| powierzchnia kości                         | 0,03                      |
| inne najbardziej narażone tkanki i narządy | 0,30                      |





## Zasady ochrony radiologicznej.

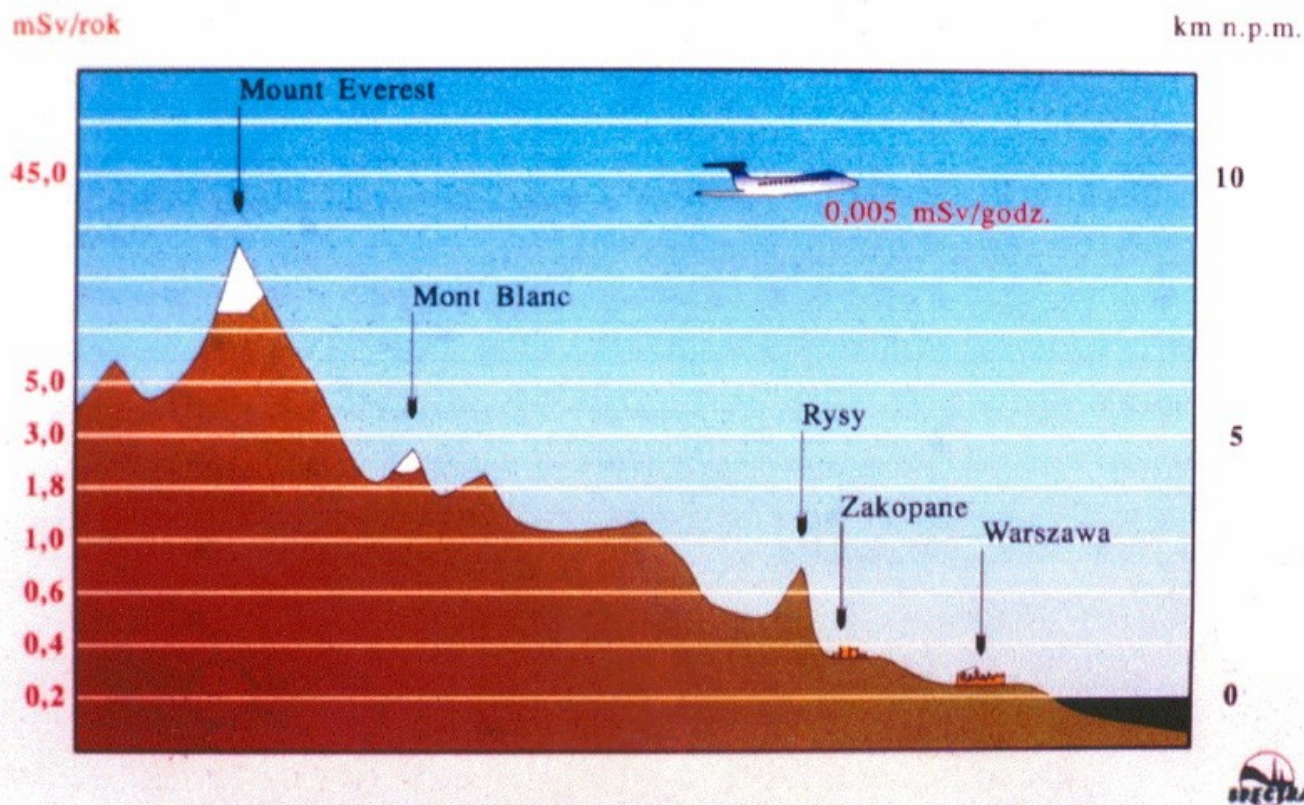


$$D = \frac{\Gamma_r \cdot A \cdot t}{k \cdot r^2}$$

D - dawka pochłonięta  
 $\Gamma_r$  - stała ekspozycyjna  
A - aktywność źródła  
r - odległość od źródła  
k - współczynnik osłonności  
t - czas

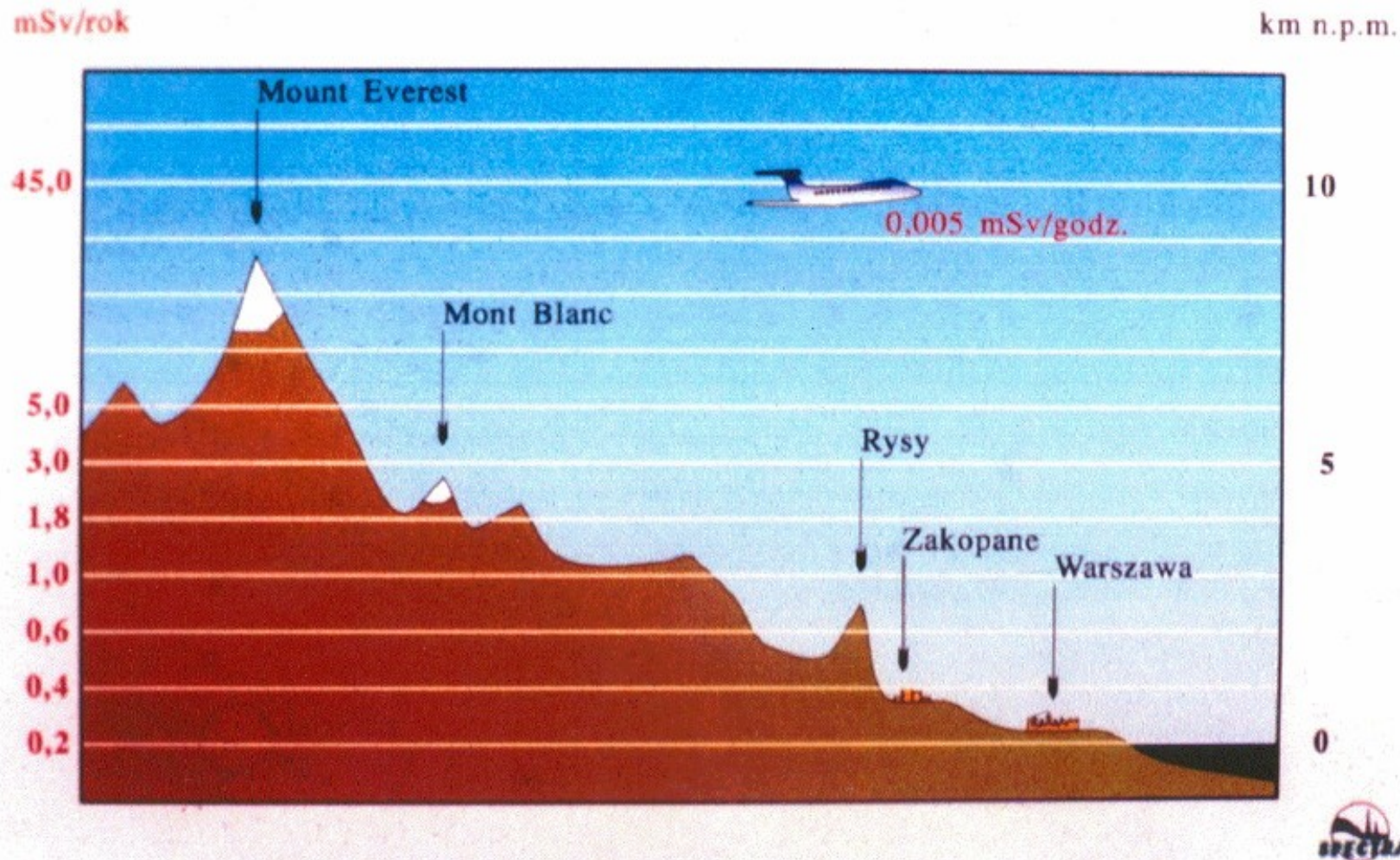


## Promieniowanie kosmiczne.



Promieniowanie kosmiczne - promieniowanie złożone, zarówno korpuskularne jak i elektromagnetyczne, docierające do Ziemi z otaczającej ją przestrzeni kosmicznej. Składa się głównie z protonów, a także z ciężkich jąder i elektronów. Promieniowanie docierające bezpośrednio z przestrzeni kosmicznej nazywamy promieniowaniem kosmicznym pierwotnym. Cząstki docierające do Ziemi w wyniku reakcji promieniowania kosmicznego pierwotnego z jądrami atomów gazów atmosferycznych, to promieniowanie wtórne.

## Promieniowanie kosmiczne.



- Przeciętna dawka jaką otrzymujemy od tła promieniowania (poza radonem) wynosi 0,001 do 0,002 Sv czyli 1 do 2 mSv.
- Podczas wykonywania zdjęcia rentgenowskiego otrzymujemy dawki ok. 0,2 do 0,5 mSv.



# Biologiczne skutki promieniowania

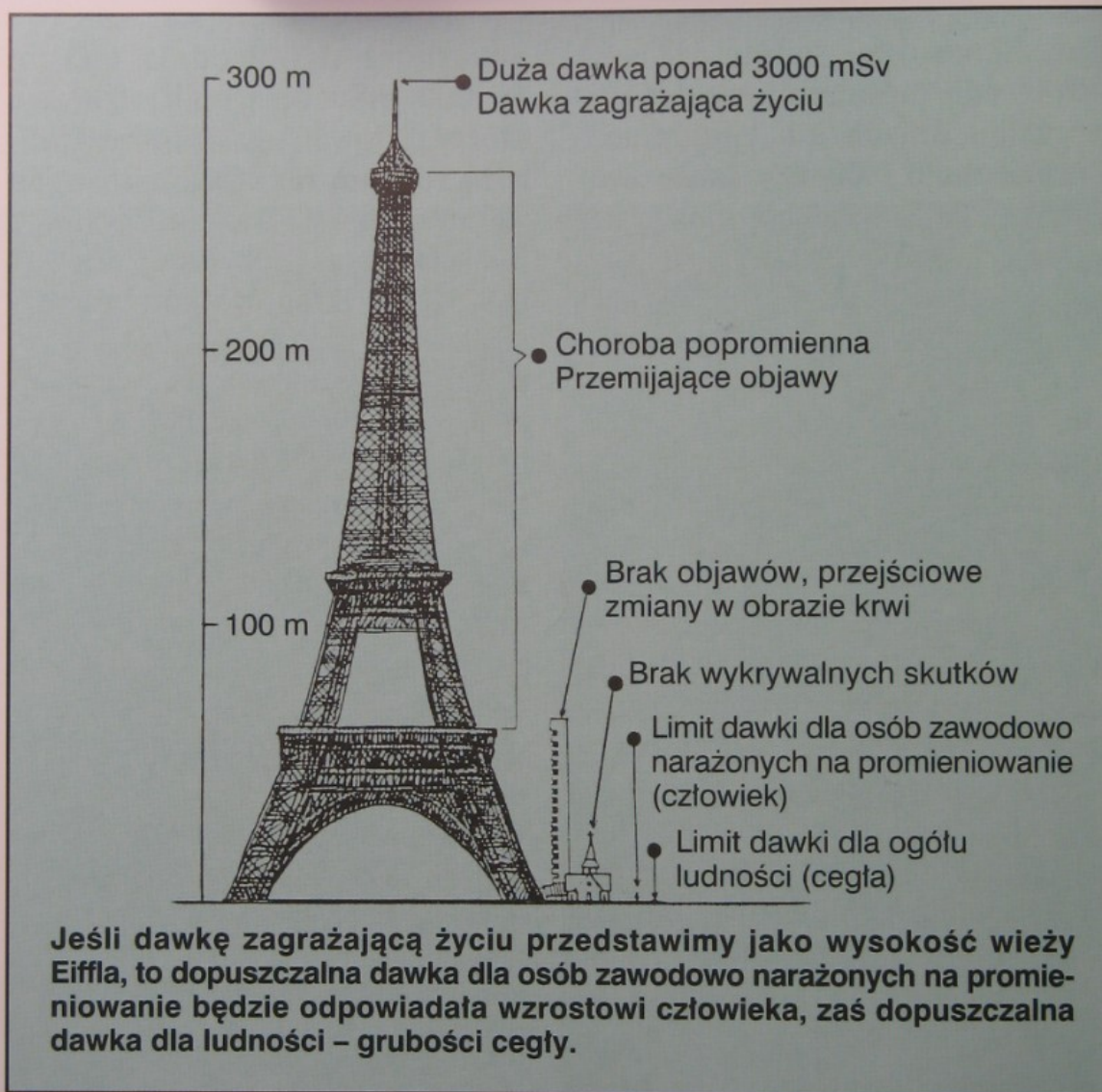
- ♦ **Duże dawki (otrzymane w krótkim czasie)**
  - 100 000 mSv – natychmiastowa śmierć
  - 10 000 mSv – dawka śmiertelna po kilku dniach lub tygodniach
  - 1000 mSv – może spowodować przemijające objawy choroby, lecz nie jest śmiertelna
- ♦ Dawki tego samego rzędu, ale rozłożone w czasie na kilka tygodni, miesięcy wywołują łagodniejsze skutki (lub wcale)
- ♦ **Duże dawki miejscowe (otrzymane w krótkim czasie)**
  - Na skórze objawy podobne jak do oprzeń (zaczerwienienia, pęcherze, otwarte rany)
  - Dawki mniejsze niż 1000 mSv nie powodują ostrych objawów zdrowotnych
  - Jedynym możliwym skutkiem jest wzrost ryzyka zachorowań na raka w późniejszym okresie życia

# Biologiczne skutki promieniowania

- ♦ Biologiczne skutki jakie mogą spowodować dawki otrzymane na całe ciało w krótkim czasie (sekund, minut, godzin)
  - **Poniżej 1000 mSv:** brak zauważalnych objawów, szybko odwracalne zmiany we krwi
  - **Okolo 2000 mSv:** nudności, ból głowy, wymioty, odwracalne zmiany we krwi
  - **Okolo 3000mSv:** choroba popromienna, wymioty, biegunka, gorączka później infekcje, odwodnienie, wypadanie włosów (powrót do zdrowia w ciągu tygodni, miesięcy)
  - **4000-6000 mSv:** uszkodzenie błony śluzowej jelit, tkanki szpiku kostnego, może przekroczyć możliwości regeneracyjne organizmu, duże zagrożenie dla życia bez odpowiedniej opieki lekarskiej, prawdopodobny zgon
  - **Powyżej 6000 mSv:** szanse na przeżycie więcej niż kilka tygodni są niewielkie, powyżej 50 000 mSv uszkodzenie centralnego układu nerwowego

***Należy pamiętać, że nawet dawka powyżej 1000 mSv jest czymś wyjątkowym i można otrzymać ją jedynie w czasie wojny jądrowej, podczas radioterapii lub w wyniku poważnego wypadku radiacyjnego lub jądrowego***

# Biologiczne skutki promieniowania



# Biologiczne skutki promieniowania

## ♦ Długoterminowe skutki dużych dawek

- Nieznaczny, lecz zauważalny wzrost zachorowań na niektóre rodzaje raka (białaczka, rak tarczycy, rak sutka u kobiet)
- W Hiroszynie i Nagasaki liczba zachorowań na raka wzrosła o 6%
- Przyjmuje się że w przypadku osoby, która otrzymała dawkę 1000 mSv ryzyko zgonu na białaczkę wywołaną promieniowaniem wyniesie 0.5% (ryzyko naturalnych zachorowań wynosi 20-25%)

## Prawdopodobieństwo zachorowania na nieuleczalnego raka po otrzymaniu dawki promieniowania 1000 mSv

| Tkanka lub narząd         | Współczynnik ryzyka |
|---------------------------|---------------------|
| Pęcherz                   | 0,0030              |
| Szypik kostny (białaczka) | 0,0050              |
| Powierzchnia kości        | 0,0005              |
| Gruzoły piersiowe         | 0,0020              |
| Jelito grube              | 0,0085              |
| Wątroba                   | 0,0015              |
| Płuca                     | 0,0085              |
| Przetyk                   | 0,0030              |
| Jajniki                   | 0,0010              |
| Skóra                     | 0,0002              |
| Żołądek                   | 0,0110              |
| Tarczyca                  | 0,0008              |
| Inne                      | 0,0050              |
| <b>Razem</b>              | <b>0,0500</b>       |



# Biologiczne skutki promieniowania

- ♦ **Długoterminowe skutki małych dawek**
  - Trudne do oszacowania
- ♦ Po wypadku w Czernobylu szacuje się, że nikt nie otrzymał natychmiastowej dawki przekraczającej 0,1 mSv

# Średnie dawki promieniowania w naszym otoczeniu

Możliwe drogi przenikania radonu z ziemi



## Średnie dawki promieniowania

**Radon w domach:** przeciętnie 2 mSv rocznie. Zazwyczaj waha się od 0,2 do 500 mSv rocznie.

**Tło promieniowania w większości regionów:** 1 do 2 mSv rocznie. W niektórych przypadkach do 20 mSv rocznie.

**Z materiałów budowlanych:** 0,2 do 1 mSv rocznie.

**Wpływ elektrowni jądrowych na środowisko:** praktycznie średnio – 0,001 do 0,01 mSv rocznie.

**Zdjęcie rentgenowskie klatki piersiowej:** około 0,1 mSv na badanie; wahania od 0,05 mSv do 0,2 mSv na badanie.

**Dłużej trwające badania rentgenowskie:** około 5 mSv na badanie.

# Dawki graniczne

Roczne dawki graniczne

| Kategoria osób<br>Narażonych na działanie<br>prom. Jonizującego | Równoważnik dawki H<br>[mSv] |                       | Efekt. równ. dawki H <sub>E</sub><br>[mSv] |
|-----------------------------------------------------------------|------------------------------|-----------------------|--------------------------------------------|
|                                                                 | Oczy                         | Inne tkanki lub narz. | całe ciało                                 |
| Narażenie zawodowe*                                             | 150                          | 500                   | 50                                         |
| Narażenie ludności                                              | 15                           | 50                    | 1**                                        |

\* dla kobiet w ciąży przyjmuje się dawki jak dla ludności nie narażonej zawodowo  
dla kobiet do 45 lat nie więcej niż 12 mSv w ciągu kolejnych 3 miesięcy

\*\* dopuszcza się 5mSv/rok pod warunkiem, że zostanie zachowana średnia 1mSv/rok



# Rozkład mocy dawki promieniowania gamma w Polsce



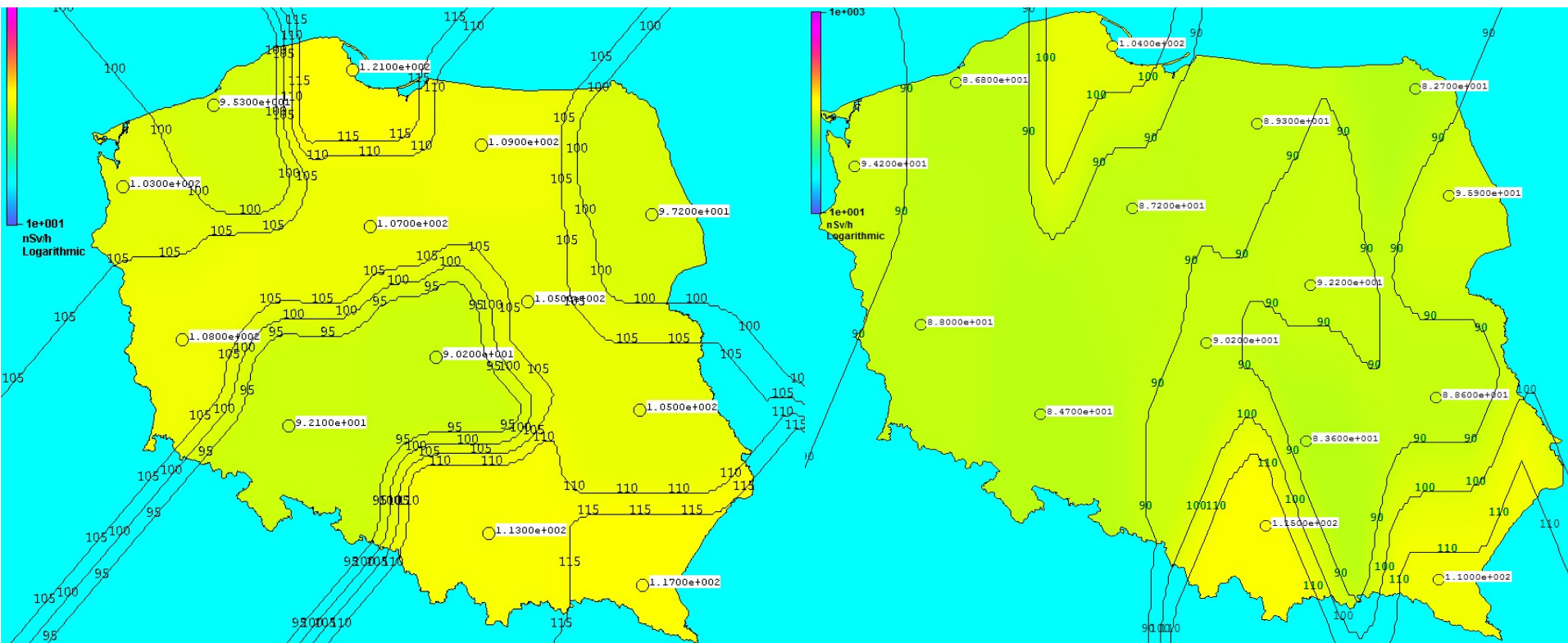
**PAŃSTWOWA AGENCJA ATOMISTYKI**

**ul.Krucza 36, 00-522 Warszawa**

<http://www.paa.gov.pl/>

w dniu 09.11.2009r.

w dniu 14.10.2016r.





# KOMUNIKAT

## PREZESA PAŃSTWOWEJ AGENCJI ATOMISTYKI

z dnia 14 lipca 2009 r.

w sprawie sytuacji radiacyjnej kraju w II kwartale 2009 roku

Na podstawie art. 81 ustawy z 29 listopada 2000 r. Prawo atomowe (Dziennik Ustaw z 2007 r. Nr 42, poz. 276, z 2008 Nr 93, poz. 583 i Nr 227, poz.1505 oraz z 2009 r. Nr 18, poz.97) informuję, co następuje:

Wyniki pomiarów uzyskane ze stacji i placówek wykonujących pomiary skażeń promieniotwórczych kształtowały się następująco:

|                    |   |                                                                                                                   |
|--------------------|---|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| moc dawki          | - | 53 – 135 nSv/h (nanosiwertów na godzinę)<br>(średnio 93 nSv/h)                                                    |
| Cs-137 w powietrzu | - | 0,1 – 5,3 $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$ (mikrobekkereli na $\text{m}^3$ )<br>(średnio 1,2 $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$ ) |
| Cs-137 w mleku     | - | 0,1 – 1,7 $\text{Bq}/\text{dm}^3$ (bekerela na $\text{dm}^3$ )<br>(średnio 0,5 $\text{Bq}/\text{dm}^3$ )          |

Zawartość izotopu Cs-137 w powietrzu i w mleku stanowi podstawowy wskaźnik reprezentujący skażenie promieniotwórcze materiałów środowiskowych oraz artykułów spożywczych sztucznymi izotopami promieniotwórczymi.

Dane te wskazują, że narażenie osób z ogółu ludności kraju powodowane obecnymi w środowisku i w żywności sztucznymi izotopami promieniotwórczymi utrzymuje się na bardzo niskim poziomie stanowiącym jedynie kilka procent wartości dawki granicznej dla ogółu ludności wynoszącej 1 mSv w ciągu roku.

# Opad promieniotwórczy

## Mierzenie opadu promieniotwórczego – co oznaczają wskazania radiometru?\*

### **0,0001 mSv/h (0,1 mikroSv/h)**

Wskazanie normalne. Tło promieniowania zazwyczaj wynosi 0,0001 do 0,0002 mSv/h (lub 0,1 do 0,2 mikroSv/h).

### **0,001 mSv/h (1 mikroSv/h)**

Poziom promieniowania na zewnątrz wyraźnie wzrósł, sytuacja odbiega od normy. Kontrola radiologiczna kraju będzie wzmożona.

### **0,01 mSv/h (10 mikroSv/h)**

Poważny wzrost poziomu promieniowania wskazuje, że dzieje się coś złego. Wartość odczytu wskazuje na duży opad promieniotwórczy.

### **0,1 mSv/h (100 mikroSv/h)**

Uwaga! Możliwość wystąpienia zagrożenia promieniowaniem.  
Władze będą musiały ostrzec ludność.  
Praktycznie ludność informuje się przy znacznie mniejszych wartościach.

### **1,0 mSv/h (1000 mikroSv/h)**

Sytuacja awaryjna!  
Należy niezwłocznie podjąć działania w celu ochrony ludności.  
Przed wszystkim każdy powinien pozostać w pomieszczeniu.

\*Wskazania radiometru na wysokości 1 m na otwartej przestrzeni.