

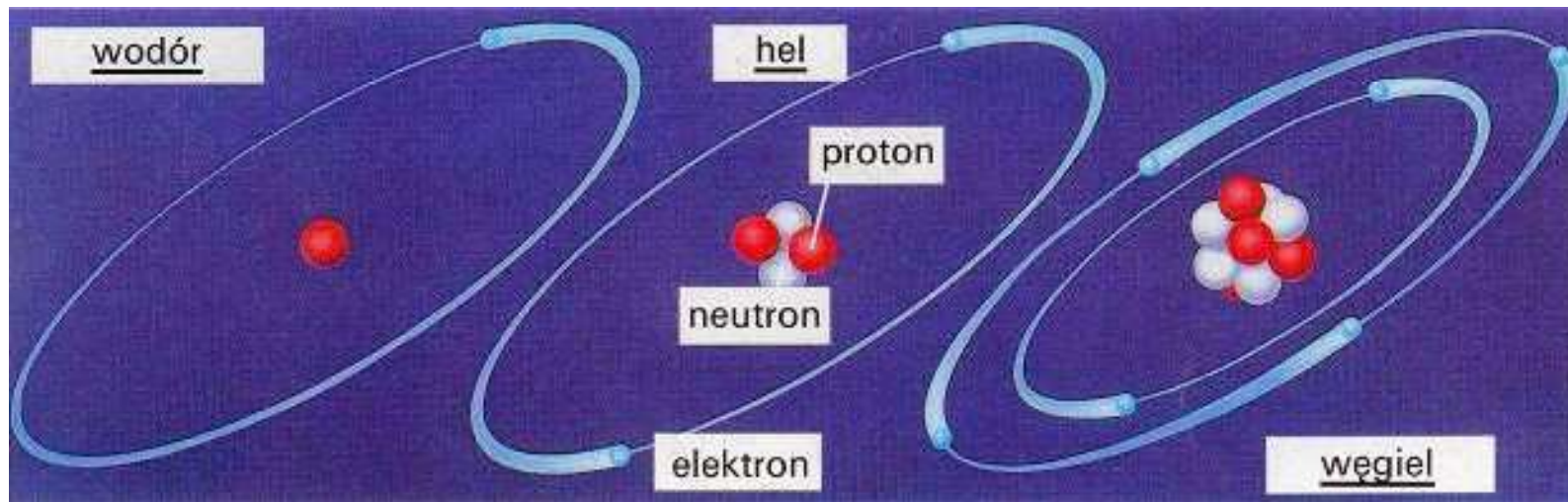
Wykład IX-X

Podstawy Procesów i
Konstrukcji Inżynierskich

Fizyka jądrowa

Budowa jądra atomowego

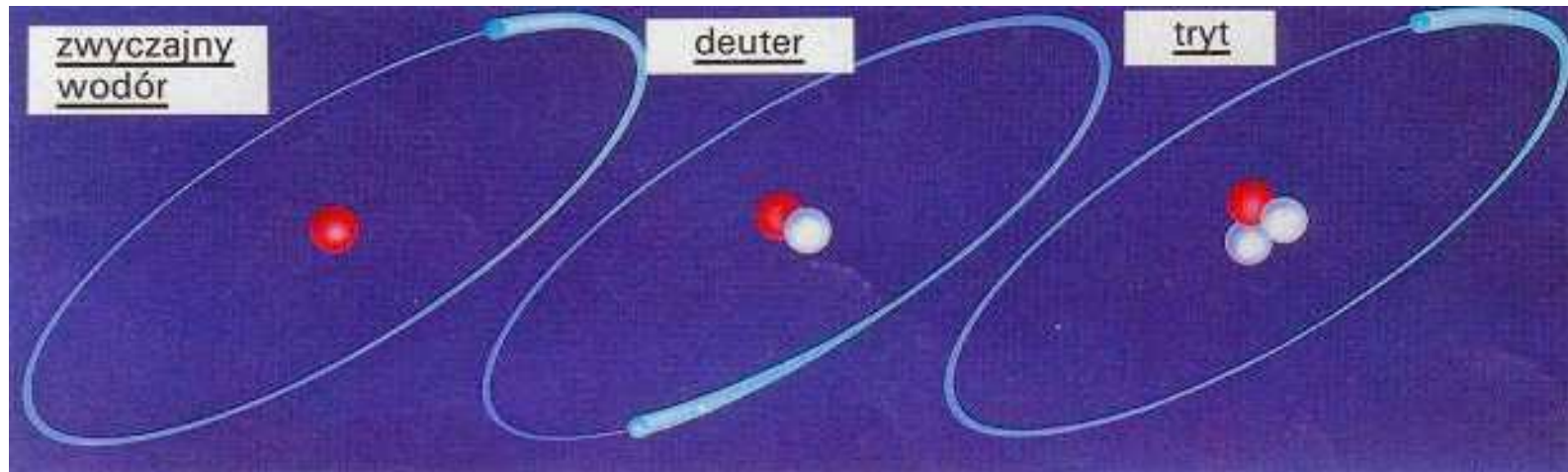
- każde jądro atomowe składa się z dwóch rodzajów **nukleonów**: protonów i neutronów, wiązanych siłami jądrowymi
- **nuklidy** to jądra większe niż nukleon



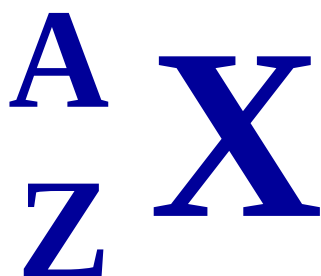
Budowa jądra atomowego

Jądra atomowe o jednakowej liczbie protonów, lecz różnej liczbie neutronów nazywa się **izotopami**

Izotopy wodoru: ^1H , ^2H (deuter), ^3H (tryt)



Budowa jądra atomowego



A – **liczba masowa** – sumaryczna ilość protonów i neutronów wchodzących w skład jądra

Z – **liczba atomowa** – liczba protonów w jądrze równa liczbie porządkowej pierwiastka w układzie okresowym

A-Z – liczba neutronów

${}^{14}_6\text{C}$ izotop węgla składający się z 6 protonów i 8 neutronów

Do określenia masy atomu stosuje się jednostkę masy atomowej **u**

$$u = \frac{1}{12} M_{{}^{12}_6\text{C}} = 1,66053 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$$

Budowa jądra atomowego

Masa [10^{-30} kg]		
elektron	proton	neutron
0,9109	1672,62	1674,50

Gęstość materii jądrowej $\rho \sim 10^{17} \text{ kg/m}^3$, stała dla wszystkich jąder

Średni promień dla wszystkich jąder

$$R \approx (1,2 \cdot 10^{-15} \text{ m}) A^{1/3}$$

1 fermi = 1 fm = 10^{-15} m

A – liczba masowa

Budowa jądra atomowego

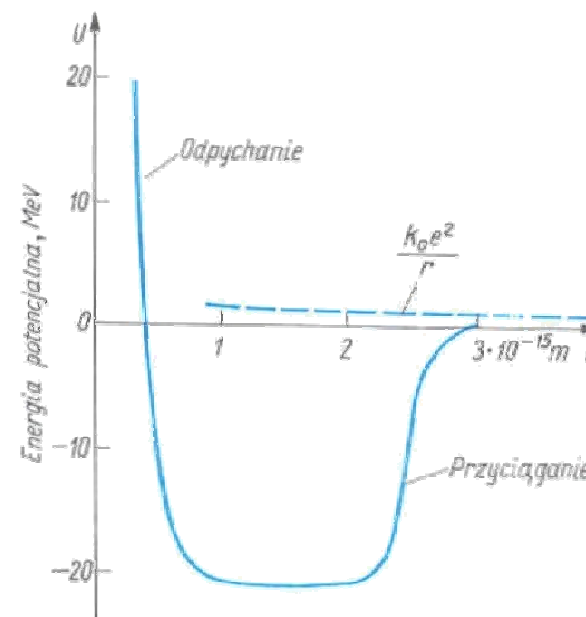
Siły wiążące nukleony w jądrze atomowym nazywa się **siłami jądrowymi** lub **oddziaływaniami silnymi**. Siły jądrowe są:

a) **krótkozasięgowe** – ich zasięg działania jest rzędu 10^{-15}m

b) **niezależne od ładunku elektrycznego**

- identyczne są oddziaływania typu proton-proton, neutron-neutron czy proton-neutron

c) **wykazują własność wysycenia** – każdy nukleon oddziałuje tylko z ograniczoną liczbą innych nukleonów



Wykres energii potencjalnej elementarnego oddziaływania nukleon-nukleon

Energia wiązania jądra

- **energia wiązania** jądra atomowego jest to praca jaką należy wykonać, aby rozdzielić jądro atomowe na swobodne nukleony bez nadania im energii kinetycznej
- **defekt masy** – masa jądra atomowego jest zawsze mniejsza od sumy mas swobodnych neutronów i protonów wchodzących w jego skład; jest to wynikiem wydzielania się energii podczas tworzenia się jądra

$$\Delta m = [Zm_p + (A - Z)m_n - M]$$

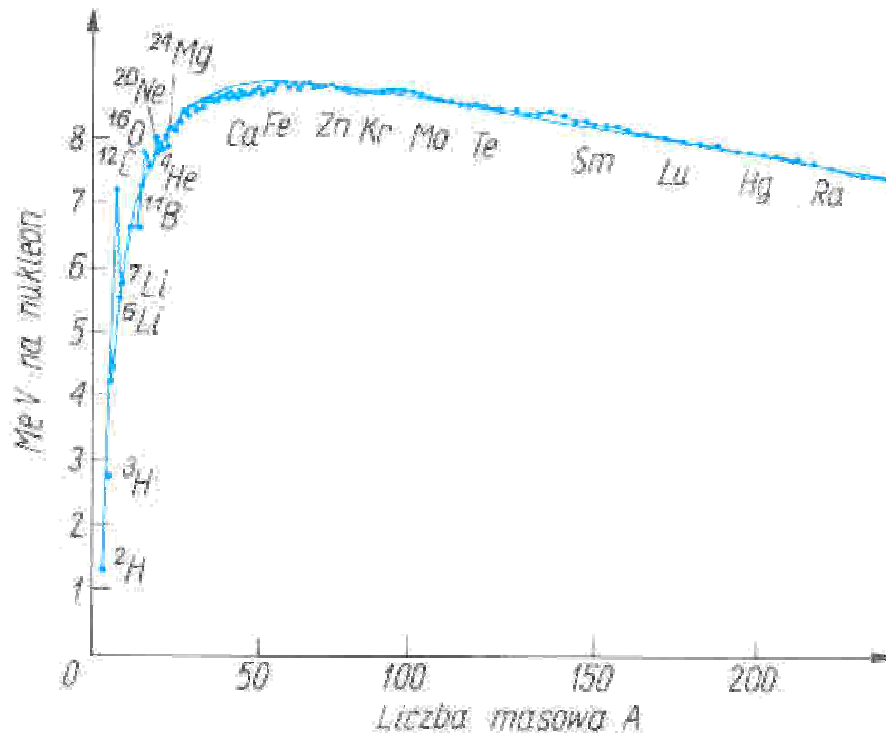
m_p , m_n , M – masy protonu, neutronu i jądra

- z równości Einsteina: $\Delta E = E_w = \Delta mc^2$
- zamiana masy w energię potencjalną zwaną **energią wiązania jądra atomowego**

1 jednostka masy atomowej odpowiada $1,491 \cdot 10^{-10} \text{J} = 931,44 \text{ MeV}$

Energia wiązania jądra

- średnia energia wiązania przypadająca na nukleon



$$E_{w, \text{śr}} = \frac{E_w}{A} \approx 7 - 8 \text{ MeV}$$

Energia wiązania przypadająca na jeden nukleon w funkcji liczby masowej

Modele jądra atomowego

Model kropłowy – jądro jest konfiguracją ciasno ułożonych protonów i neutronów, z których każdy oddziałuje tylko z najbliższymi sąsiadami. Z tego modelu można przewidzieć np.: rozszczepienie jąder ciężkich i obliczyć energie wyzwalaną podczas tego procesu

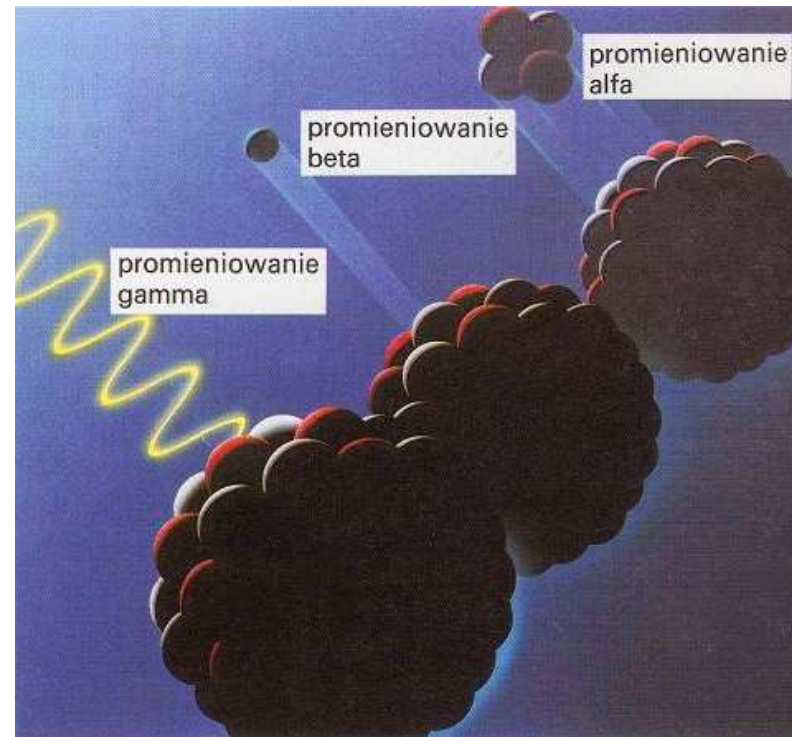
Model powłokowy - powstał przez analogię do powłokowej budowy atomu. Przyczyną stworzenia tego modelu było to, że jądra mające 2, 8, 20, 50, 82, 126 nukleonów jednego rodzaju, są bardzo trwałe. Liczby te nazywamy *magicznymi*. Odkrycie liczb magicznych sugerowało istnienie wewnątrz jądra powłok związanych z określonymi stanami energetycznymi jądra. Nukleony znajdują się na poziomach scharakteryzowanych przez określone liczby kwantowe i obsadzają je zgodnie z zasadą Pauliego, przy czym protony i neutrony wypełniają oddzielnie układy poziomów.

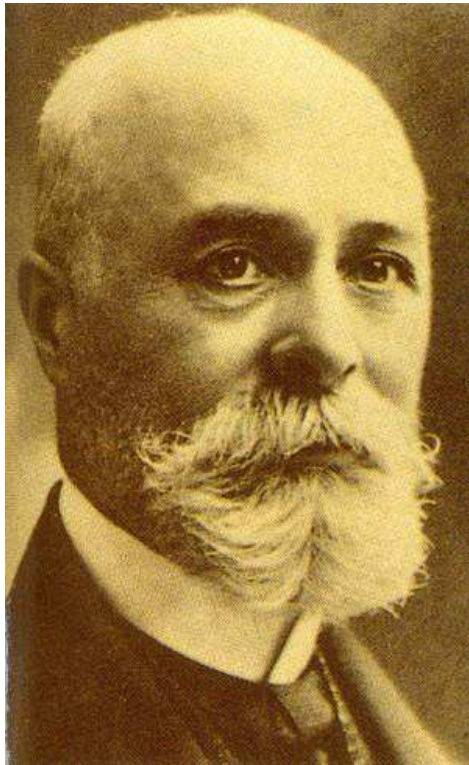
Promieniotwórczość

Promieniotwórczością naturalną nazywa się samorzutną emisję cząstek α (jądra helu), oraz promieniowania β (elektrony lub pozytony) i γ (fotony) z jąder atomowych. Prowadzi ona do przekształcenia się tych jąder w jądra innych pierwiastków.

Wszystkie pierwiastki powstające w wyniku kolejnych rozpadów promieniotwórczych tworzą pewien szereg nazywany rodziną promieniotwórczą. Na czele rodziny stoi pierwiastek, który jako pierwszy ulega rozpadowi. W przyrodzie znane są trzy rodziny promieniotwórcze :

- uranowa
- aktynowa
- torowa





Antoine Henri **Becquerel**

(1852-1908), francuski fizyk i chemik; odkrył w 1896r. zjawisko promieniotwórczości



Maria **Skłodowska-Curie**

(1867-1934) fizyk i chemik, współtwórczyni nauk o promieniotwórczości



Pierre **Curie**

(1859-1906) fizyk francuski współtwórca podstaw promieniotwórczości

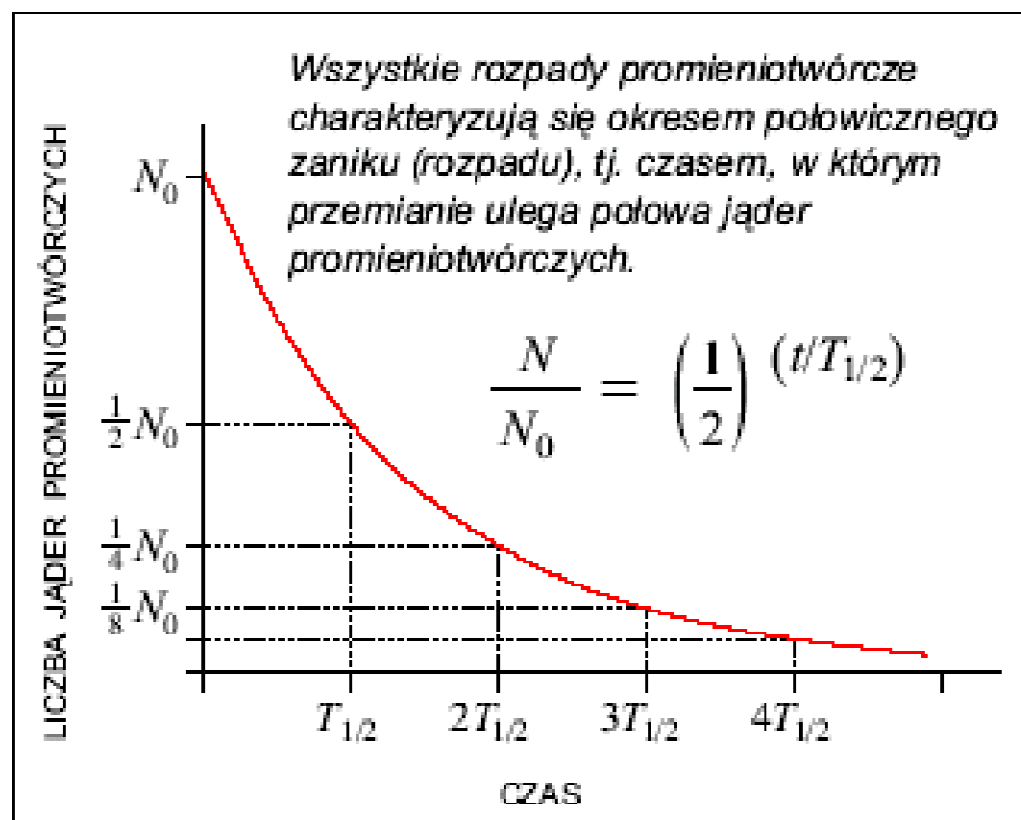
W 1903 r trzech naukowcy otrzymali nagrodę Nobla

Promieniotwórczość

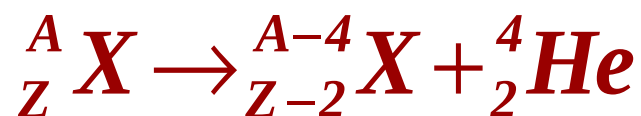
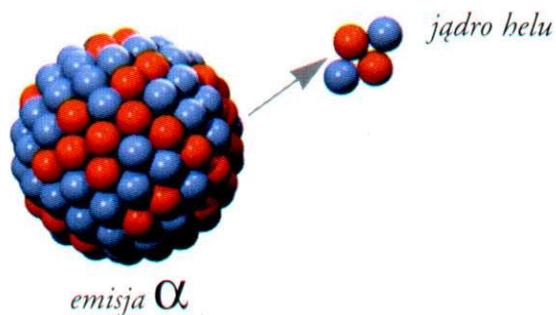
Prawo rozpadu promieniotwórczego:

ubytek liczby jąder pierwiastka promieniotwórczego w jednostce czasu, wynikający z ich promieniotwórczego rozpadu, jest proporcjonalny do liczby jąder, które jeszcze nie uległy rozpadowi

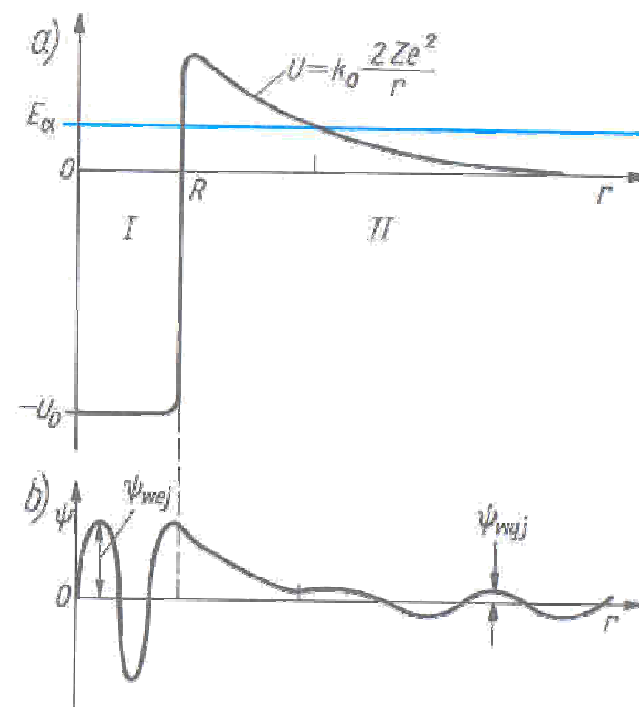
$$N = N_0 e^{-\lambda t}$$



Rozpad α



- rozpad α polega na samorzutnej emisji jąder helu - ${}^4_2 \text{He}$
- rozpad ten jest charakterystyczny dla ciężkich jąder o liczbach masowych $A > 200$
- przy opuszczaniu jądra cząstka musi pokonać barierę potencjału wytworzoną przez działanie wiążących sił jądrowych i odpychającej siły kulombowskiej.
- wysokość tej bariery jest większa niż energia jaką posiada cząstka α . Np.: wysokość bariery dla jąder uranu wynosi ok. 30 MeV, a energia emitowanych cząstek α nie przekracza 10 MeV.
- rozpad α zachodzi w wyniku tunelowego przejścia cząstki α przez barierę potencjału

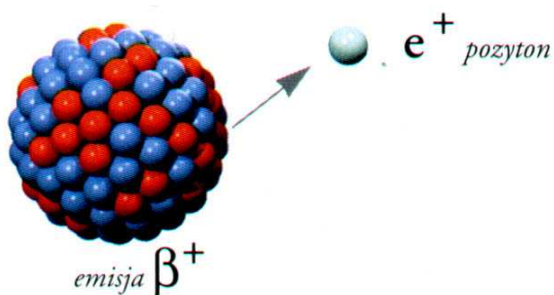


Rozpad β

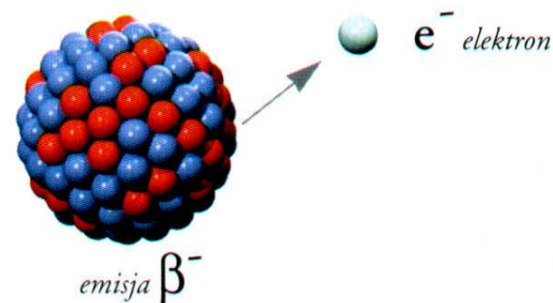
$${}^A_Z X \rightarrow {}^A_{Z\pm 1} Y + {}^0_{\pm 1} e$$

- rozpady β^- i β^+ są związane z przemianami w jądrze atomowym:

$$\beta^+: {}^1_1 p \rightarrow {}^1_0 n + {}^0_1 e + \nu$$



$$\beta^-: {}^1_0 n \rightarrow {}^1_1 p + {}^0_{-1} e + \tilde{\nu}$$

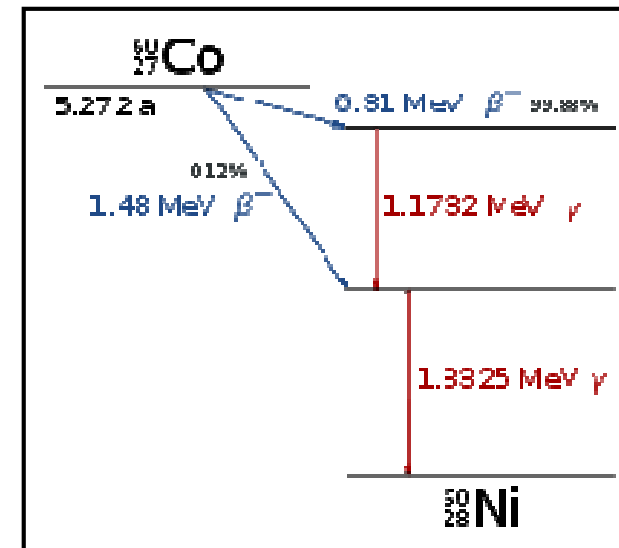
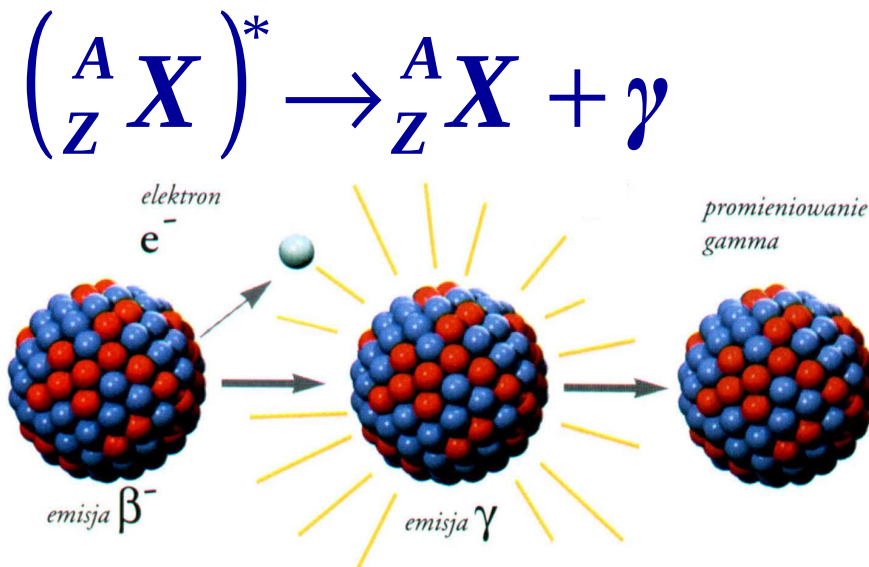


$${}^{22}_{11} Na \rightarrow {}^{22}_{10} Ne + {}^0_1 e + \nu$$

$${}^{60}_{27} Co \rightarrow {}^{60}_{28} Ni + {}^0_{-1} e + \tilde{\nu}$$

- niespełnienie zasad zachowania pędu i energii doprowadziło do hipotezy **neutrino** – cząstki nie posiadającej ładunku, o znikomej masie, unoszącej część energii podczas rozpadu β (Pauli 1930 r)

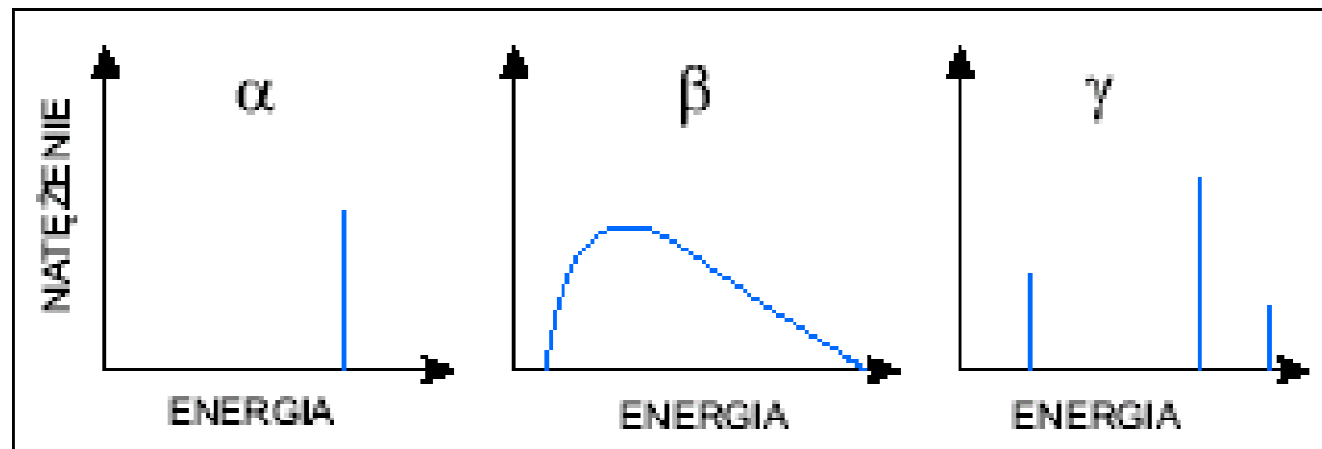
Rozpad γ



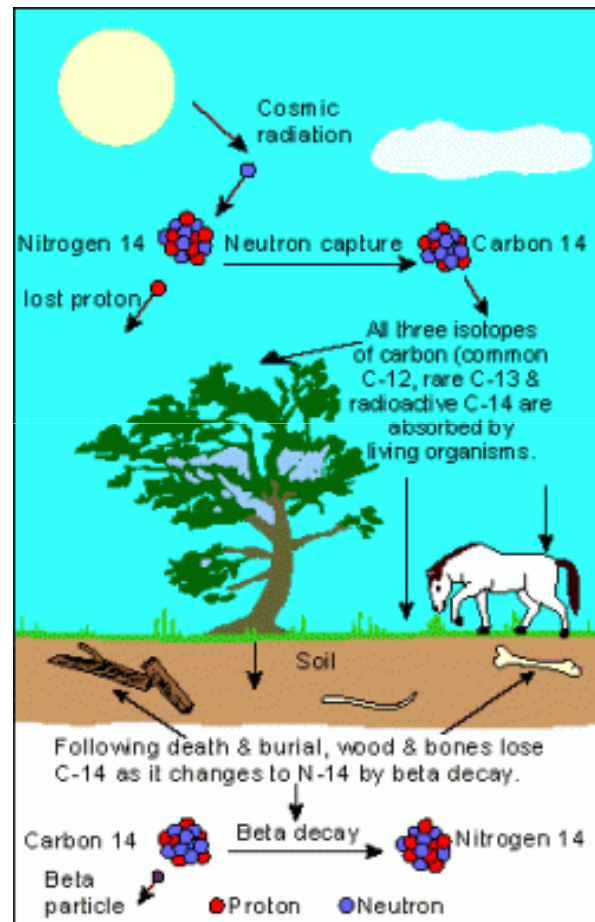
- wzbudzone jądro $(X)^*$ powracając do stanu podstawowego, emituje promieniowanie γ
- promieniowanie γ jest to strumień fotonów o energiach od 1 MeV do 1 GeV. Energie te są o kilka rzędów większe od energii fotonów światła widzialnego np.: energia fotonów światła fioletowego o dł. Fali $\lambda=0,38 \mu\text{m}$ wynosi 3,26 eV
- energia promieniowania γ nie powoduje zmiany liczby protonów ani neutronów w jądrze atomowym, a tym samym nie zmienia jego ładunku ani liczby masowej

Energia kinetyczna emitowanych cząstek

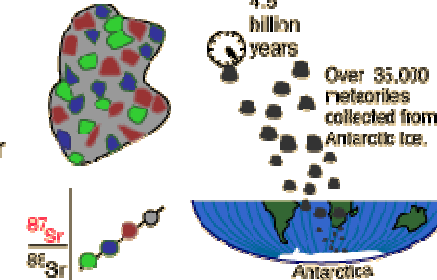
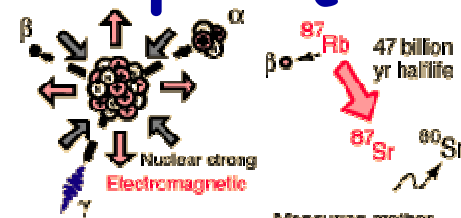
- cząstka α emitowana w danym rozpadzie ma zawsze jedną, dobrze określoną energię
- w rozpadzie β ze względu na istnienie trzeciej cząstki ν (neutrino) energie cząstek zmieniają się od zera do energii maksymalnej rozpadu
- w przemianach γ jądro, przechodząc z jednego poziomu wzbudzenia na drugi, może emitować szereg kwantów o różnych energiach.



Datowanie metodą izotopową

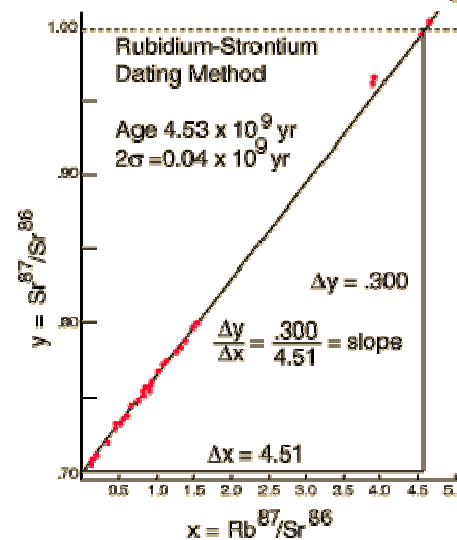


Źródło: <http://www.theenergylibrary.com/node/11296>



"Whole rock isochrons" are curves plotted for the different minerals that crystallized together. The slope provides an age independent of initial concentrations.

Such radioactive dating of the abundant and relatively unweathered Antarctic meteorites gives consistent dates of solidification about 4.5 billion years ago.



$$\Delta t = \frac{1}{\lambda} \ln \left[1 + \frac{\Delta y}{\Delta x} \right] = \text{calculated age}$$

$$T_{1/2} = 48.8 \times 10^9 \text{ yrs} \quad \frac{1}{\lambda} = \frac{T_{1/2}}{0.693}$$

$$\Delta t = 4.53 \times 10^9 \text{ yrs}$$

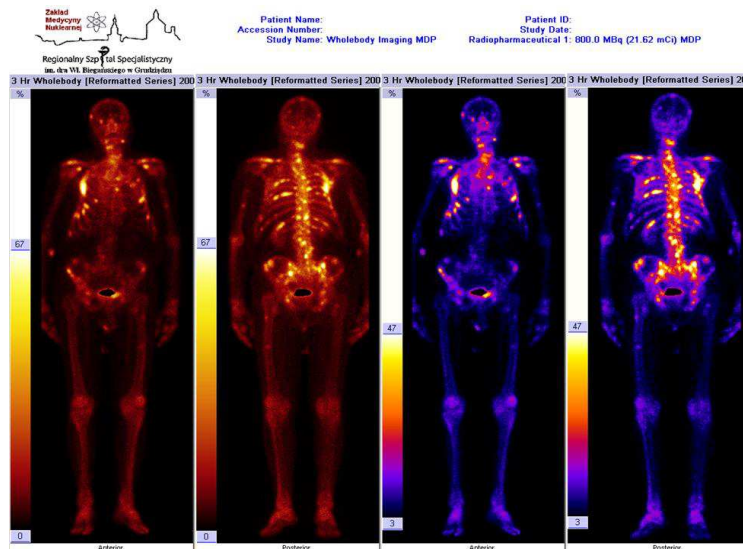
Źródło: <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/nuclear/clkroc.html>

Radioizotopy, Gamma kamery

The radiotracer, injected into a vein, emits gamma radiation as it decays. A gamma camera scans the radiation area and creates an image.

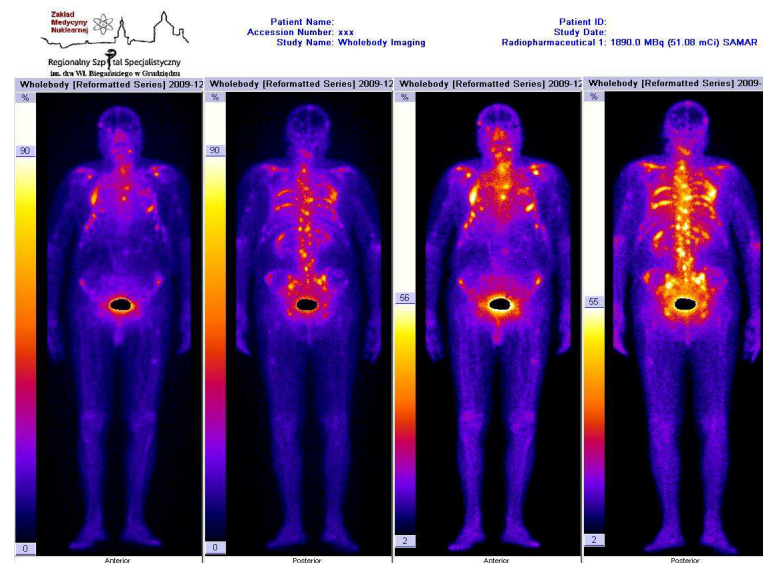


Źródło: <http://www.scripps.org/articles/2592-bone-scan>



Scyntygram planarny kośćca osoby z rozszanymi przerzutami nowotworowymi w układzie kostnym; taki obraz świadczy o znacznym zaawansowaniu choroby.

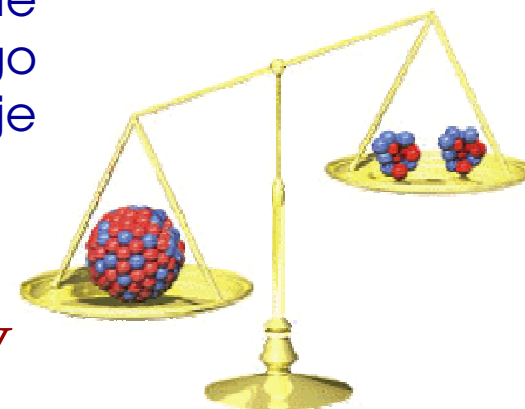
Źródło: <http://www.nuk.bieganski.org/?go=leczy&ter=sm>



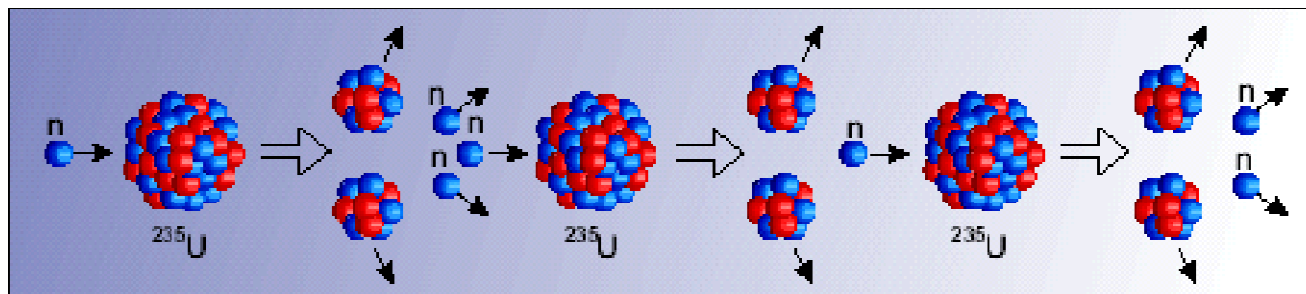
Obraz tego samego pacjenta wykonany 50 minut po podaniu ^{153}Sm -EDTMP. Izotop zaczyna gromadzić się w ogniskach zajętych przez nowotwór.

Rozszczepienie jąder atomowych

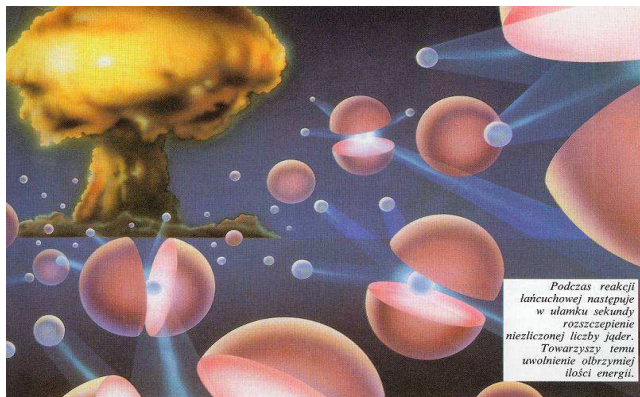
- suma mas dwu jąder wytworzonych w trakcie rozpadu jest mniejsza niż masa jądra ciężkiego ulegającego rozszczepieniu. Deficyt masy zostaje zamieniony na energię



- **fragmenty rozszczepienia** to dwa ciężkie jądra o zbliżonych masach, na które dzieli się jądro uranu. Takimi fragmentami mogą być na przykład: La, Br, lub Xe i Sr.

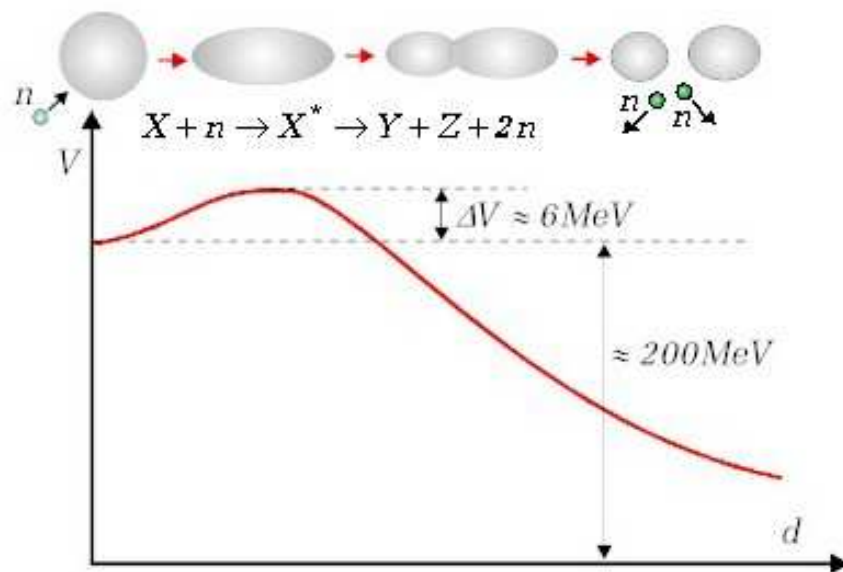


Rozszczepienie jąder atomowych



- w tej reakcji wydzielą się energia około 200 MeV - głównie kinetyczna energia produktów rozszczepienia (energia promieniowania stanowi około 12% całości)
- dla porównania, energia powstająca przy spalaniu jednego atomu węgla, to zaledwie około 6eV

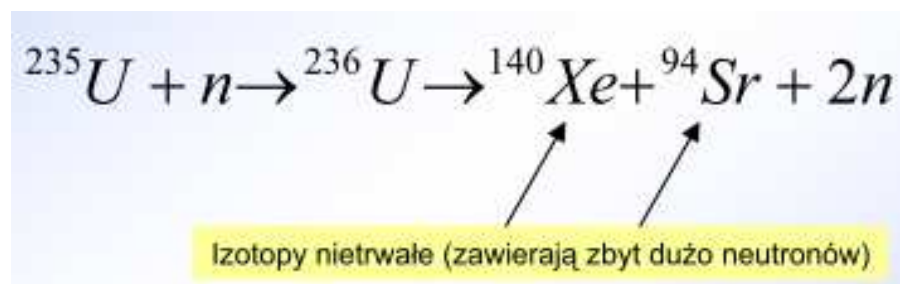
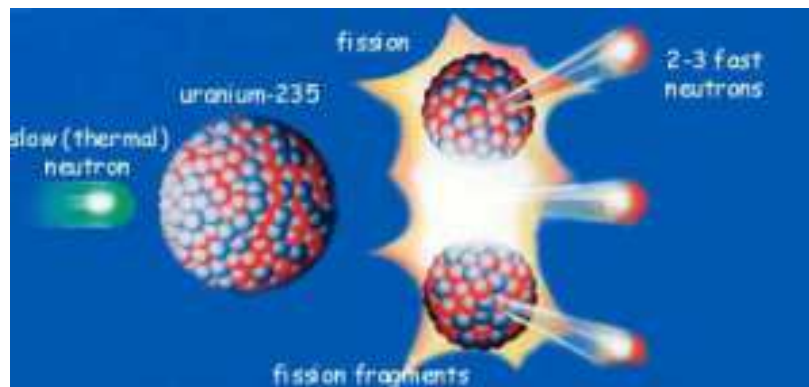
▪ ponieważ w pojedynczej reakcji rozszczepienia powstaje średnio 2,5 neutronów, to jest to reakcja powielająca liczbę swobodnych neutronów w układzie, które mogą być wykorzystane do podtrzymania **reakcji łańcuchowej**



Przebieg procesu rozszczepienia

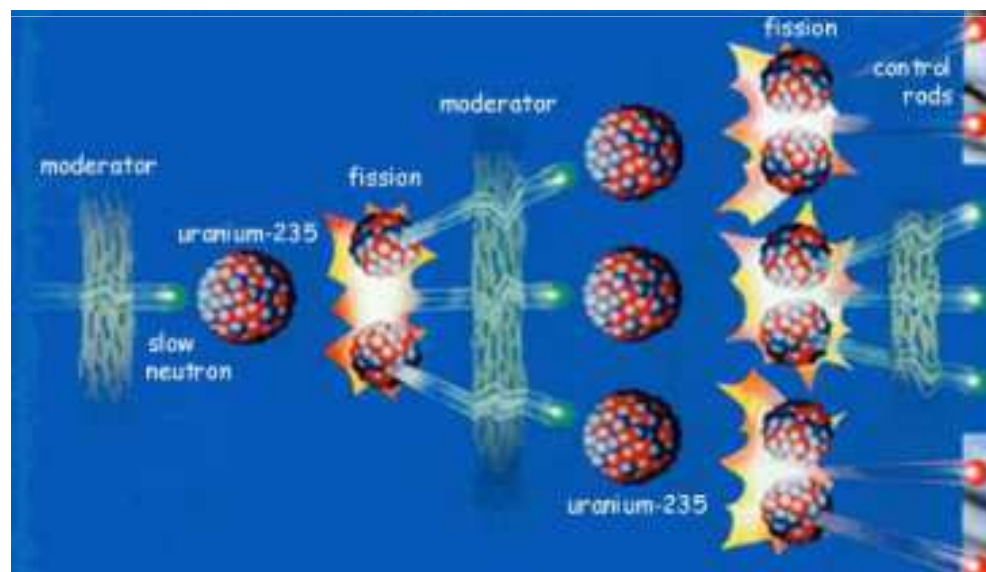
Źródło: <http://www.if.pw.edu.pl>

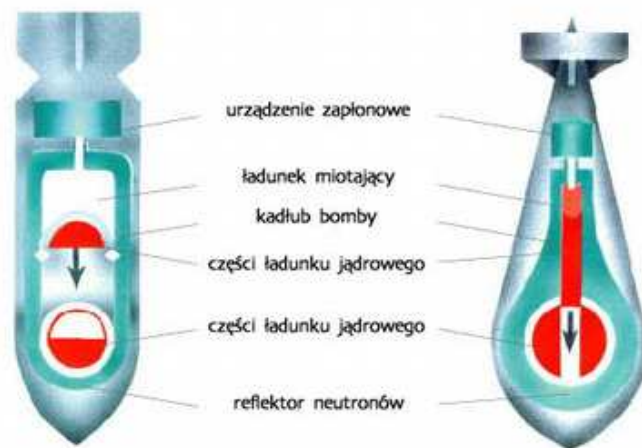
Reaktor jądrowy



Problemy:

- ucieczka neutronów,
- neutrony z reakcji rozszczepienia są szybkie
- wychwyt neutronów przez $^{238}_{92}\text{U}$





Bomba atomowa, schemat budowy

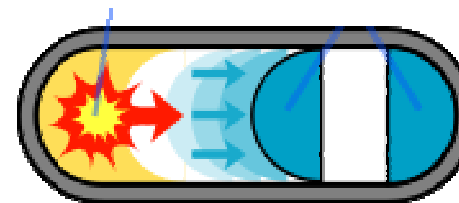
Źródło: <http://netsprint.encyklopedia.pwn.pl/haslo.php?id=1765753>



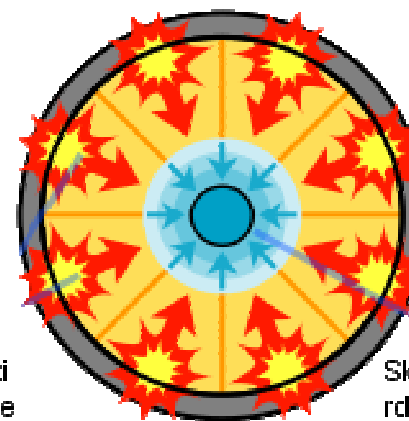
Bomba atomowa Little Boy

Bomba atomowa

Konwencjonalny ładunek wybuchowy Podkrytyczne masy U-235
zostają złożone w całość



Metoda działa



Soczewki
wybuchowe

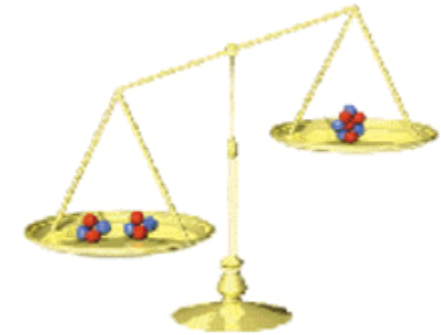
Skompresowany
rdzeń plutonowy

Metoda implozyjna

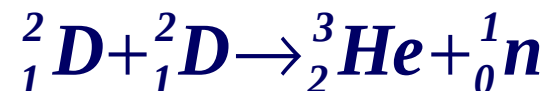
Źródło: www.wikipedia.org.pl

Synteza jądrowa

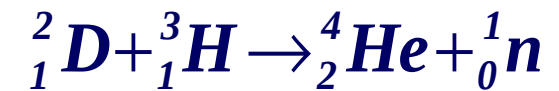
Reakcjami syntezy nazywa się proces powstawania nowego jądra atomowego w wyniku zderzenia dwóch lżejszych jąder lub cząsteczek; zjawisku temu towarzyszy wydzielanie się energii i emisja cząstek elementarnych



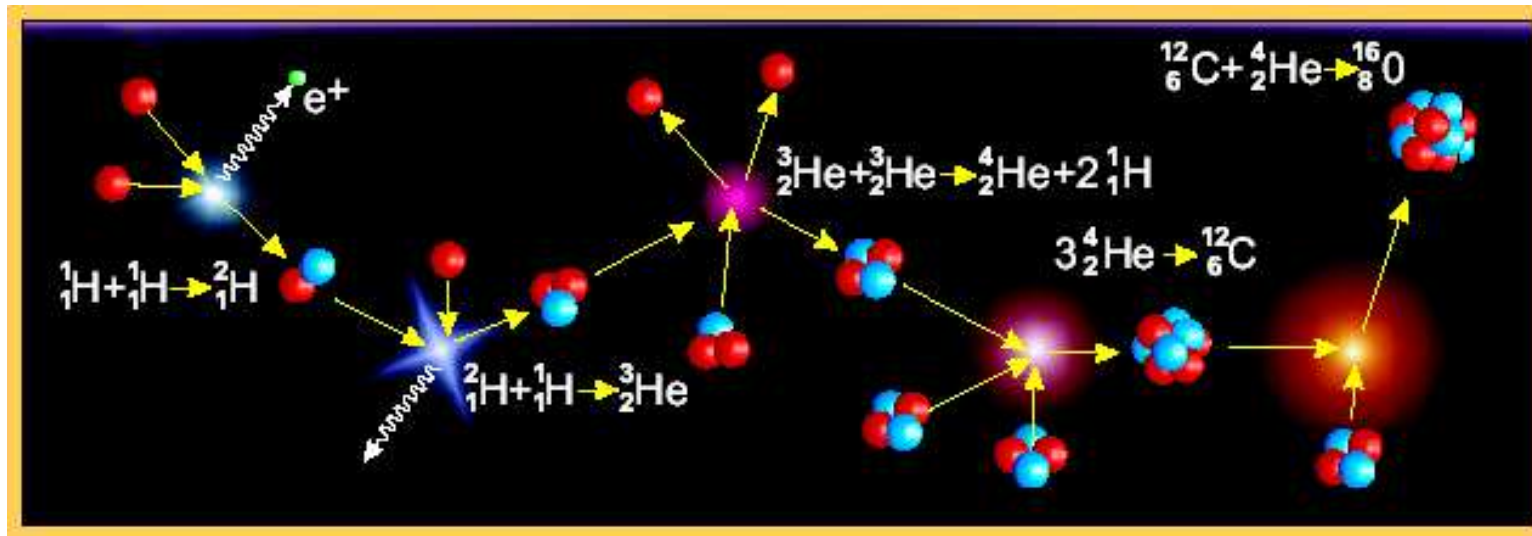
$$Q=4,04 \text{ MeV}$$



$$Q=3,27 \text{ MeV}$$



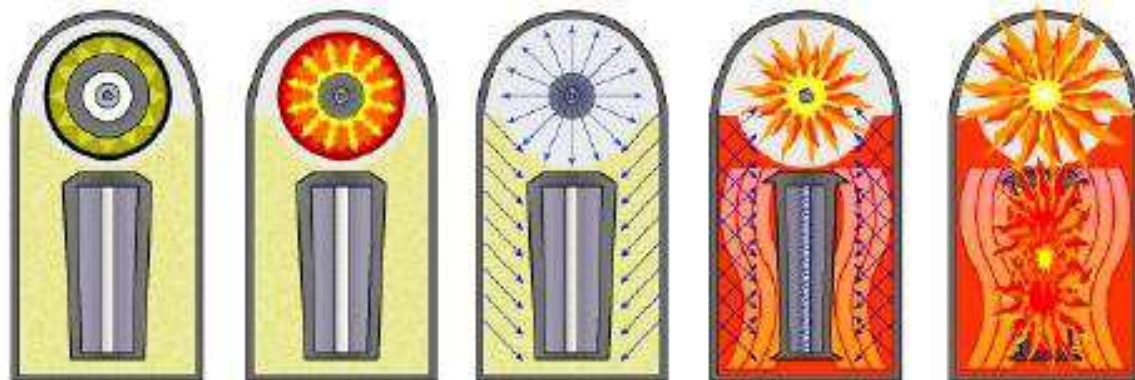
$$Q=17,58 \text{ MeV}$$



Synteza jądrowa

- energia otrzymywana w reakcji syntezy jądrowej jest większa od energii otrzymanej w procesie rozszczepienia jąder atomowych
- źródła deuteru: morza i oceany
- reakcje syntezy zachodzą w temperaturach milionów stopni; **reakcje termojądrowe**
- problemy z kontrolowaniem procesu syntezy jądrowej

Fizyka jądrowa **Bomba wodorowa - termojądrowa**



1. Bomba przed wybuchem

2. Zapalniki w pierwszym stopniu uruchamiają ściskanie plutonowego rdzenia, który staje się nadkrytyczny

3. Rozszczepienie wywołuje emisję promieniowania X, które nasświetla piankę polistyrenową

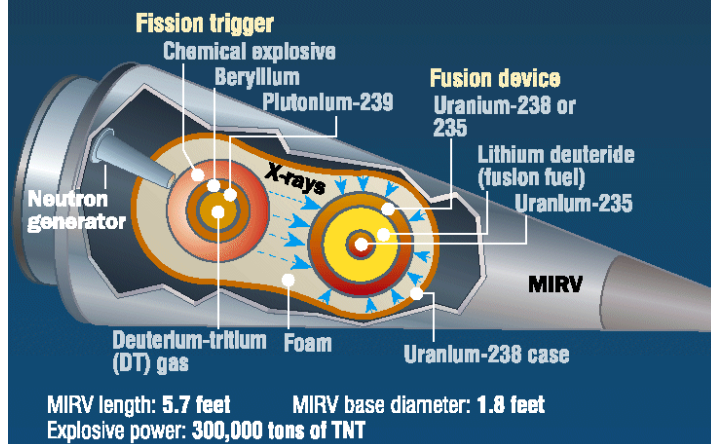
4. Pianka polistyrenowa staje się plazmą, która ściska drugi stopień i powoduje zapłon. Pojawia się kula ognia.

5. W ściśniętym i rozgrzanym LiD zaczyna się synteza. Strumień neutronów inicjuje reakcje rozszczepienia w osłonie. Pojawia się kula ognia.

Uproszczona sekwencja wybuchu bomby wodorowej

A modern thermonuclear

This W87 thermonuclear warhead is launched on an MX intercontinental missile. Packed into a multiple independently targeted re-entry vehicle (MIRV, shown below), it splits off from the missile to strike its target.



W88 Warhead for Trident D-5 Ballistic Missile

