

Energetyka konwencjonalna odnawialna i jądrowa

Wykład 8 - 27.XI.2018

Zygmunt Szefliński

Środowiskowe Laboratorium Ciężkich Jonów

szef@fuw.edu.pl

<http://www.fuw.edu.pl/~szef/>

Wykład 8

Energia atomowa i jądrowa

Atomy i jądra

Rozmiary atomów

Po podzieleniu objętości molowej przez stałą Avogadro uzyskamy objętość zajmowaną przez pojedynczy atom gazu.

$$V_0 = \frac{22415 \text{ cm}^3}{N_A} \cong \frac{22415 \text{ cm}^3}{6 \cdot 10^{23} / \text{mol}} = 3,7 \cdot 10^{-20} \text{ cm}^3$$

Rozmiar liniowy takiej objętości to pierwiastek trzeciego stopnia z objętości. Tak więc atomy gazu są oddalone od siebie:

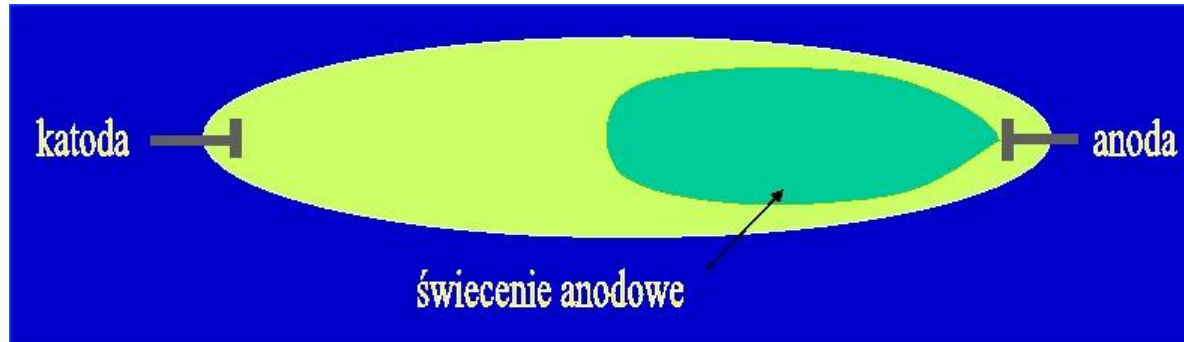
$$a = \sqrt[3]{V_0} = \sqrt[3]{37 \cdot 10^{-21} \text{ cm}^3} = 3,3 \cdot 10^{-7} \text{ cm}$$

Weźmy dla przykładu atom glinu, Al (wybieram Al, ponieważ jest to metal z dobrze upakowanymi atomami, o masie atomowej glinu bliskiej 27 i gęstości $\rho = 2,7 \text{ g/cm}^3$).

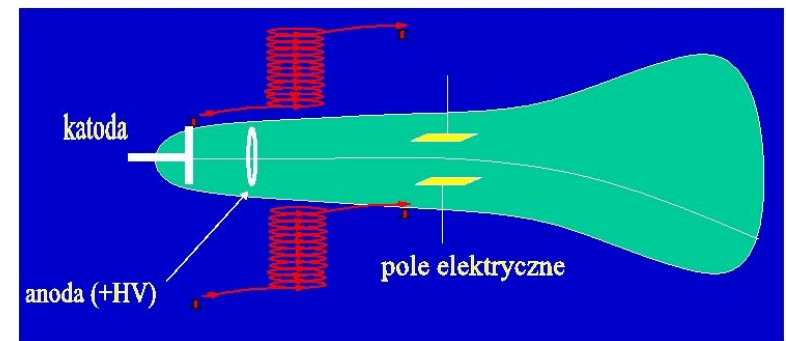
$$V_0 = \frac{10 \text{ cm}^3}{N_A} \cong \frac{10 \text{ cm}^3}{6 \cdot 10^{23} / \text{mol}} = 17 \cdot 10^{-24} \text{ cm}^3 \Rightarrow a = \sqrt[3]{V_0} = \sqrt[3]{17 \cdot 10^{-24} \text{ cm}^3} = 2,5 \cdot 10^{-8} \text{ cm}$$

Zauważmy: cząsteczka powietrza ma gęstość trzy rzędy mniejszą od gęstości ciała stałego ($\rho_w = 1 \text{ g/cm}^3$, $\rho_{\text{pow}} = 1,25 \text{ g/l}$).

Elektron – ładunek i masa elektronu



$$q/m = 1,7586 \cdot 10^{11} \text{ C/kg}$$



$$m_e = \frac{e}{e/m} = \frac{1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}}{1,7586 \cdot 10^{11} \text{ C/kg}} = 9,109 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$$

Jądro atomowe

- Podobne pomiary, jak dla promieni katodowych, przeprowadził Thomson dla promieni dodatnich. Zastosował skrzyżowane pola elektryczne i magnetyczne i stwierdził, że promienie dodatnie mają również jednoznacznie określone wartości q/m .
- Przy założeniu, że ładunek jonu jest równy ładunkowi elementarnemu Thomson mógł wyznaczyć masę jonu wodoru, która zgodnie z oczekiwaniem okazała się 1836 razy większa od masy elektronu.
- Thomson obserwował więcej niż jedną wartość q/m dla niektórych czystych chemicznie gazów. Badanie q/m dla neonu o masie atomowej 20,18 wskazało na dwa rodzaje neonu o identycznych właściwościach chemicznych, ale o różnych masach atomowych 20 i 22. (Izotopy)

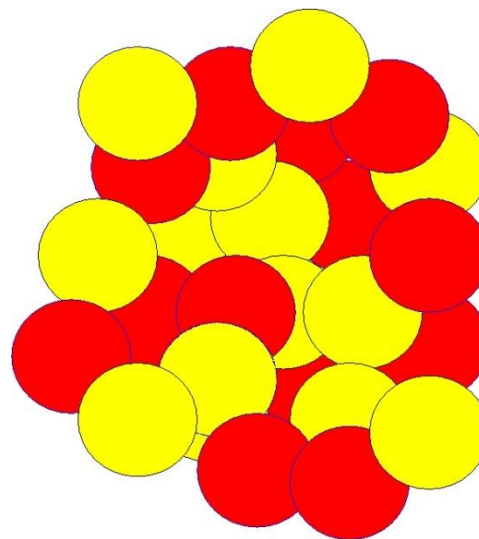
Liczba atomowa i masowa

Liczba nukleonów (protonów i neutronów) w jądrze to liczba masowa (A), która jest liczbą całkowitą, zbliżoną do masy atomowej pierwiastka.

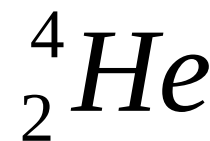
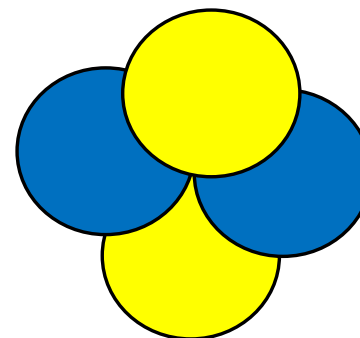
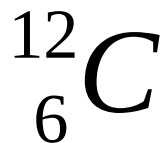
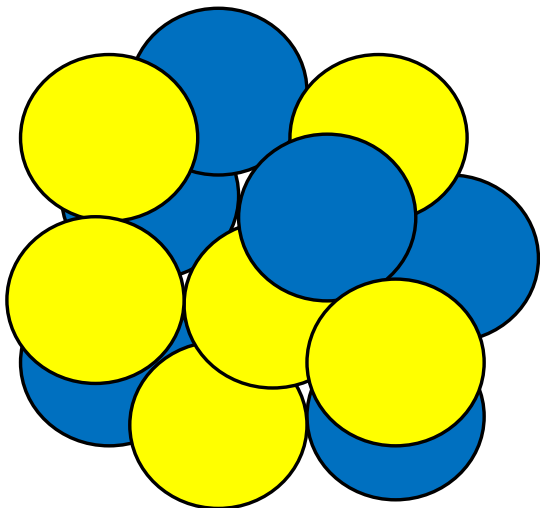
Liczba atomowa, decydująca o właściwościach chemicznych pierwiastka, to liczba protonów w jądrze, decyduje ona o ładunku jądra i jednocześnie o liczbie elektronów w powłoce atomowej, a jest oznaczana symbolem Z . Liczba neutronów jest oznaczana symbolem N .

Liczba masowa, $A=N+Z$ wskazuje ile razy atom cięższy jest od atomu wodoru.

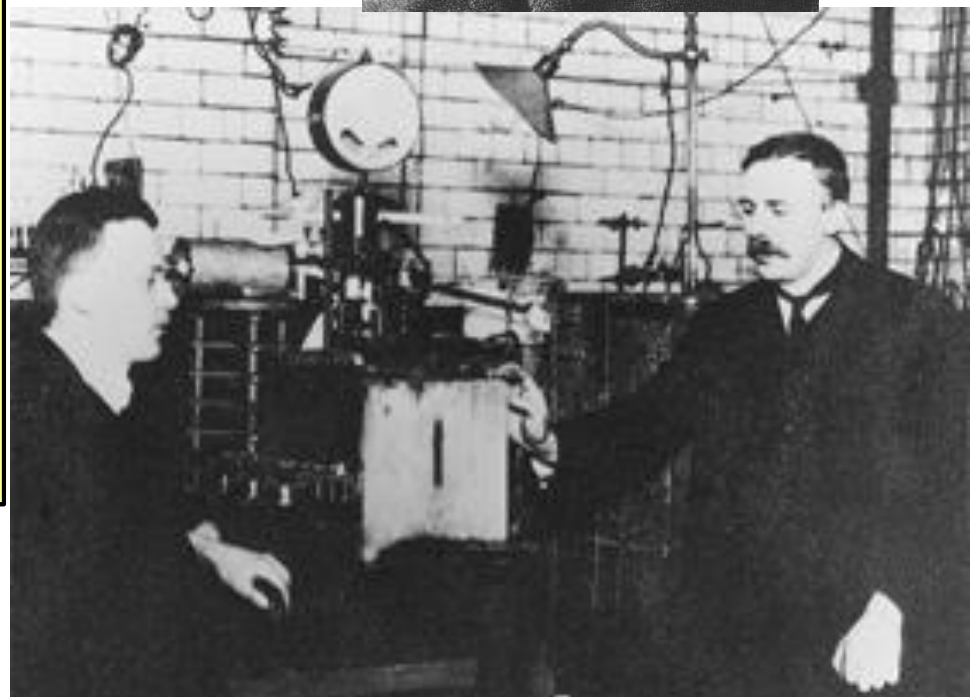
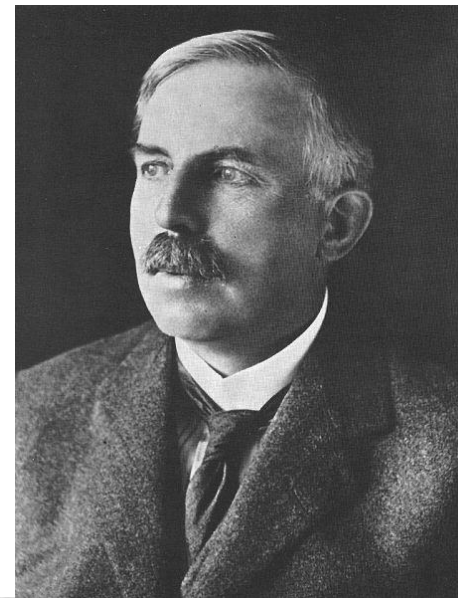
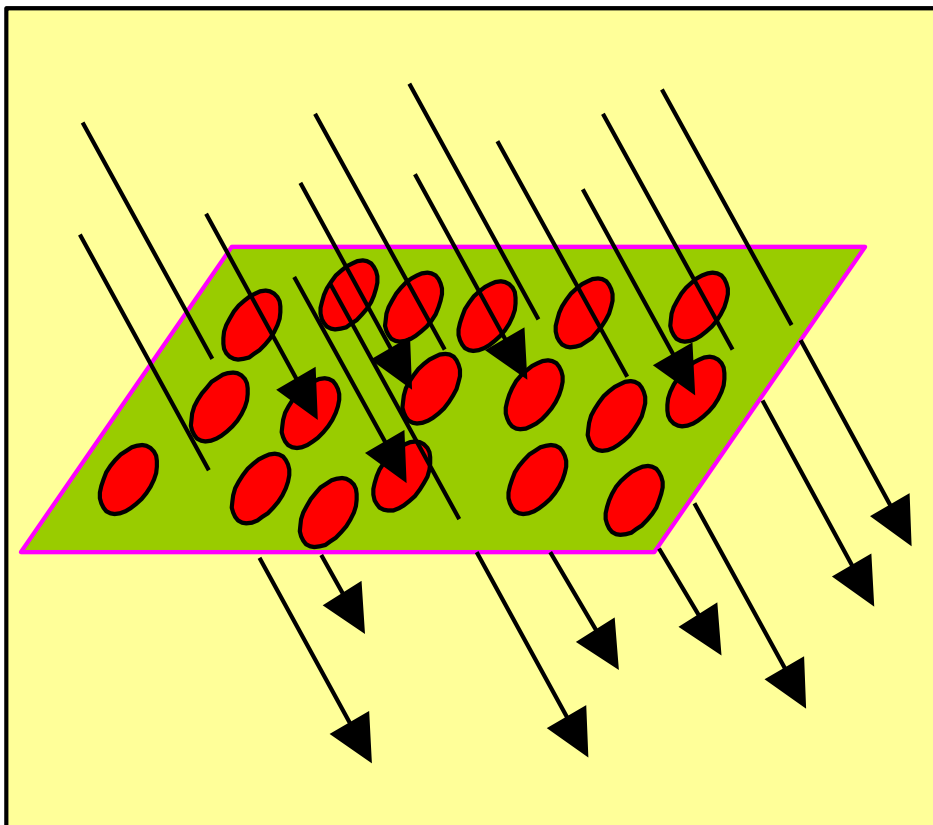
Tylko nieliczne substancje chemiczne składają się tylko z jednego rodzaju atomów.



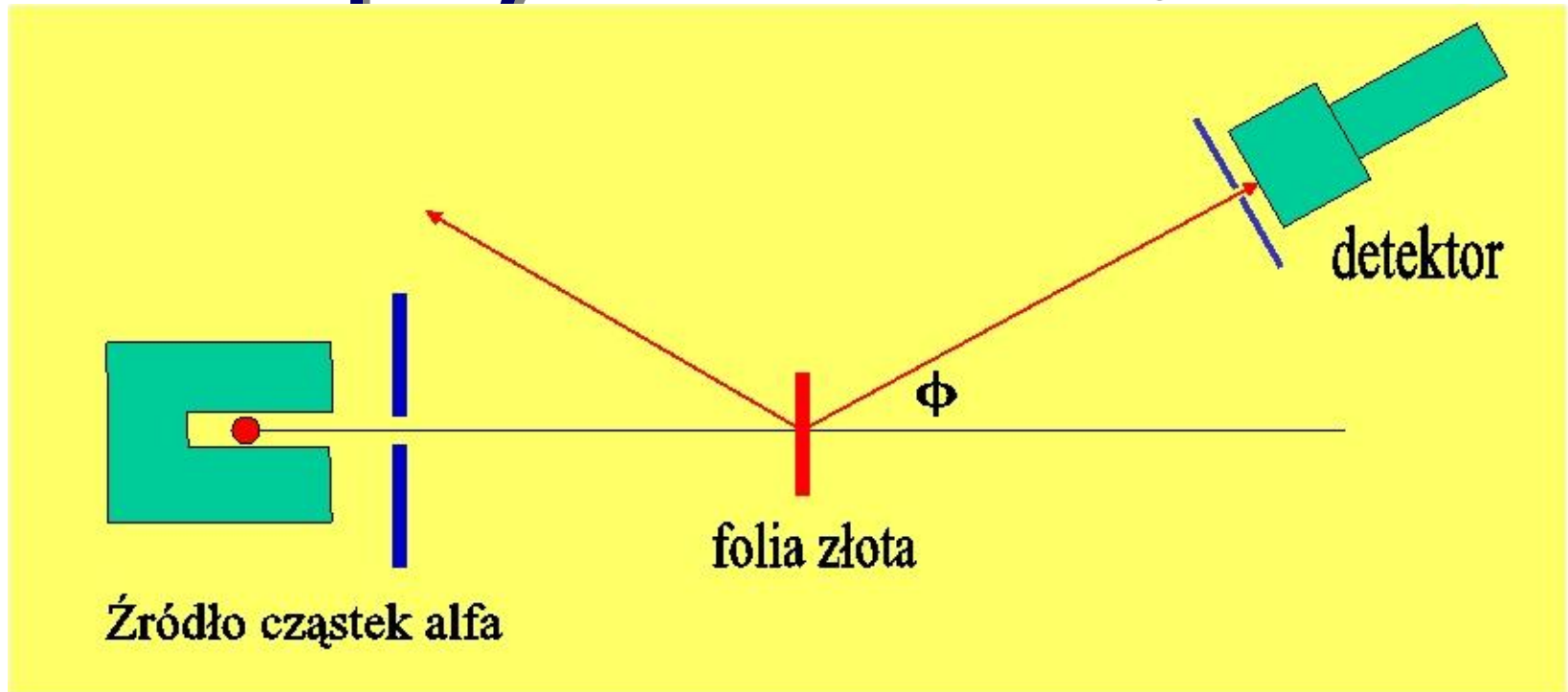
Budowa jader (A, Z)



Odkrycie jądra atomowego

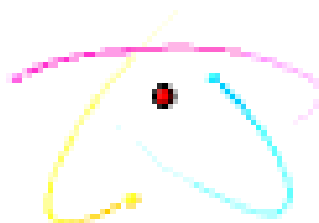


Rozmiary jader, eksperyment Rutherforda



Przykładowe bezwzględne wartości promieni jader atomowych to:
 $R(\text{He}) = 2 \text{ fm}$, $R(\text{Mg}) = 4 \text{ fm}$, $R(\text{U}) = 7,5 \text{ fm}$, $\text{fm} = 10^{-15} \text{ m}$.

Przedstawienie modelowe

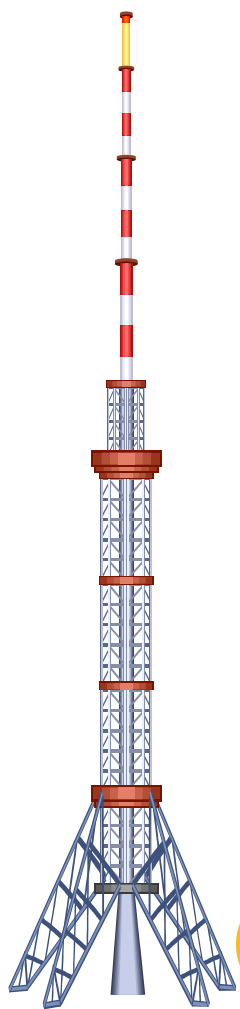


$$r_{atomu} = 5 \cdot 10^{-11} m$$

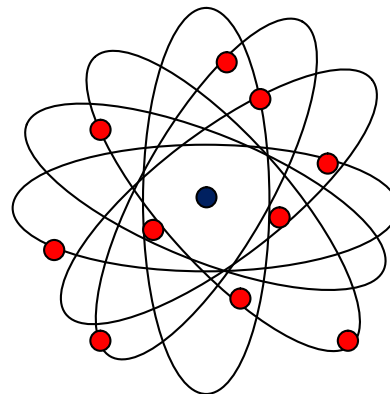
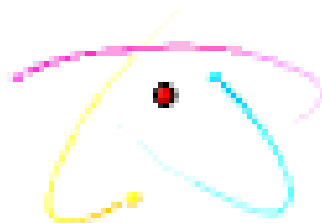
$$r_{jadra} = 4 \cdot 10^{-15} m$$

Pestka wiśni, moneta $d=1\text{cm}$ $10^4\text{cm}=100\text{m}$ - wysoka wieża

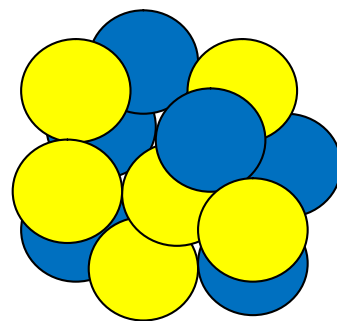
Rozmiary atomów i jąder



$\sim 10^2 m$

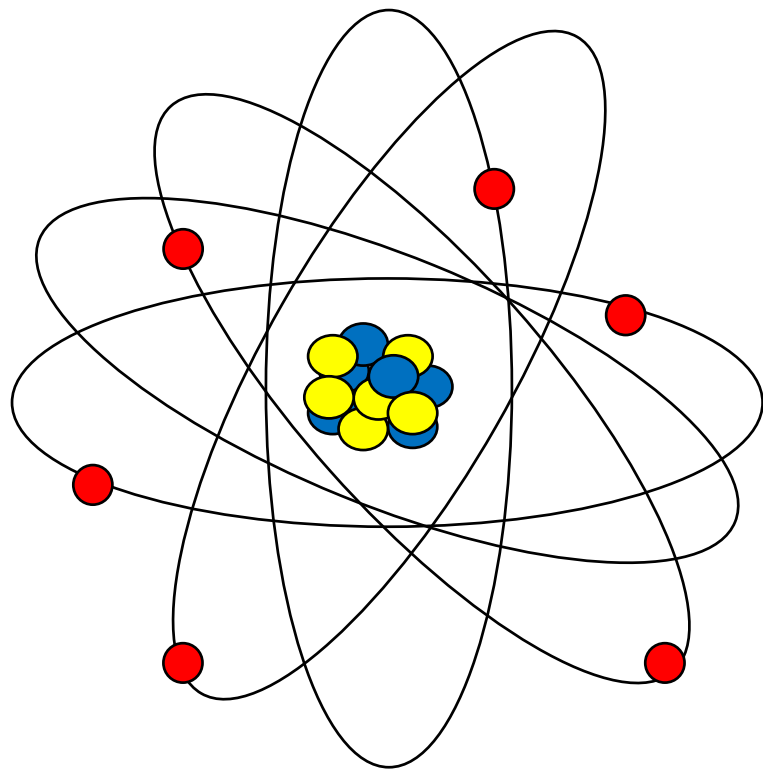


$\sim 10^{-10} m$

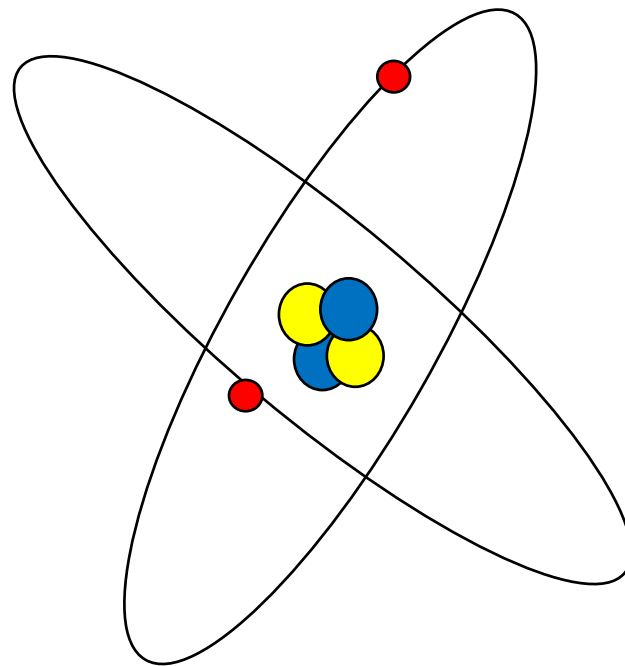


$\sim 10^{-15} m$

Przykładowe atomy -schemat



Atom węgla



Atom helu

Masa protonu- gęstość materii jądrowej

W jednym gramie wodoru znajduje się liczba atomów równa liczbie Avogadro ($N_A = 6 \times 10^{23}$).

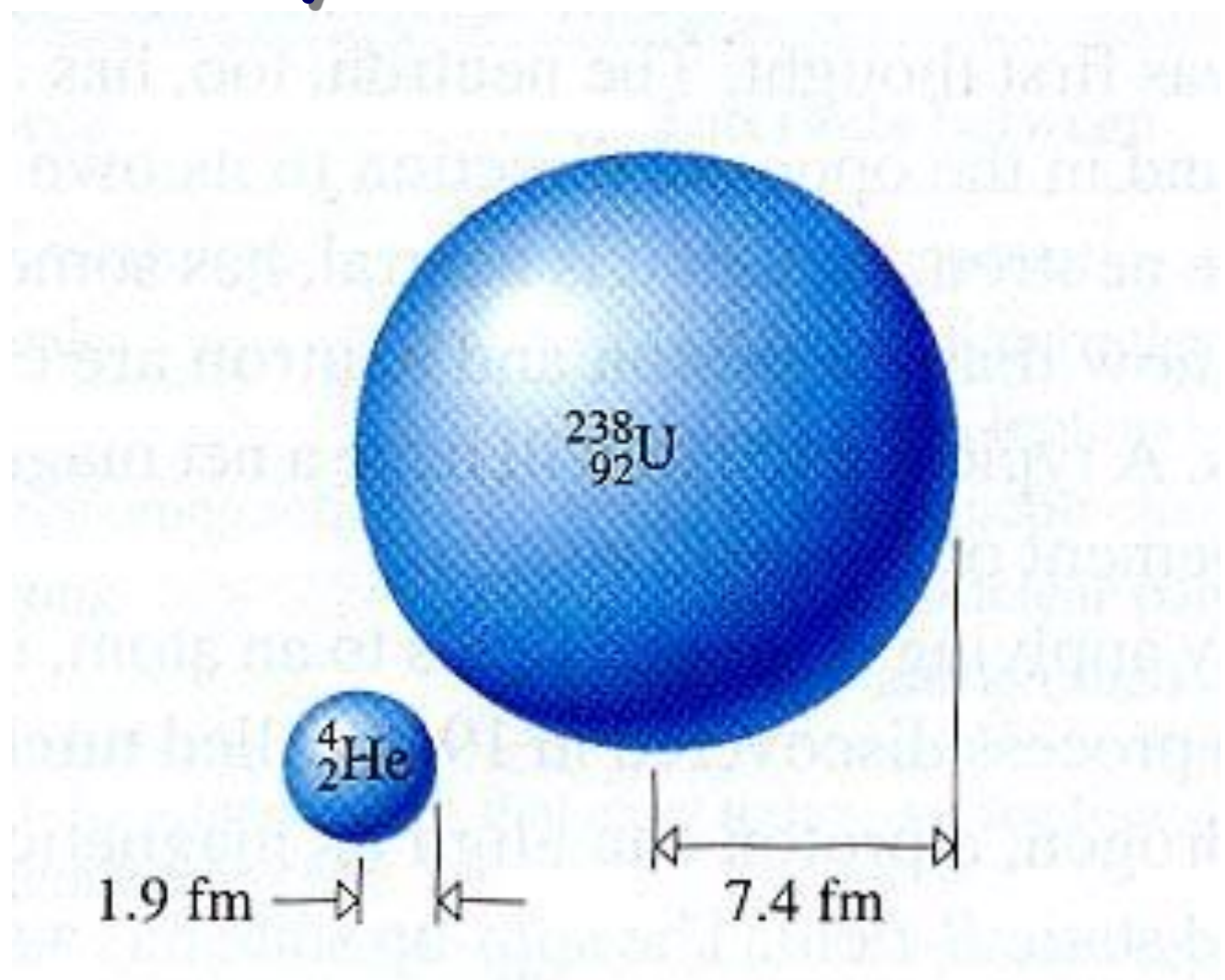
$$m_N \approx \frac{1g}{6 \cdot 10^{23}} \approx 1,67 \cdot 10^{-24} g$$

Gęstość materii w nukleonie jest rzędu:

$$\rho_N \approx \frac{1,67 \cdot 10^{-24} g}{\frac{4}{3} \pi (1,2 fm)^3} \approx 2,3 \cdot 10^{14} \frac{g}{cm^3} = 230 \text{ mln } \frac{ton}{cm^3}$$

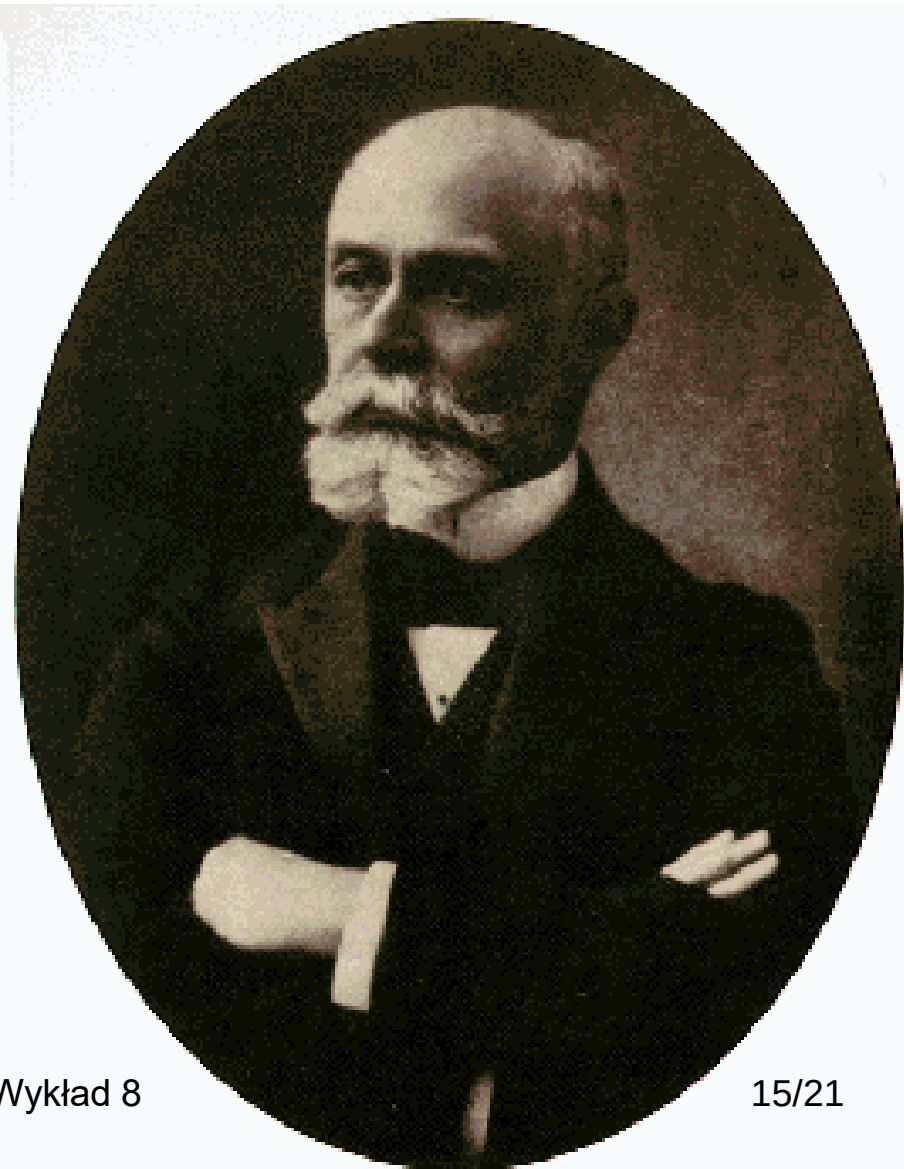
Dziś wiemy, że jądra atomowe składają się z protonów i neutronów, a ładunek jądra niosą tylko protony. Neutrony to cząstki neutralne o masie zbliżonej do masy protonu.

Przykład rozmiarów

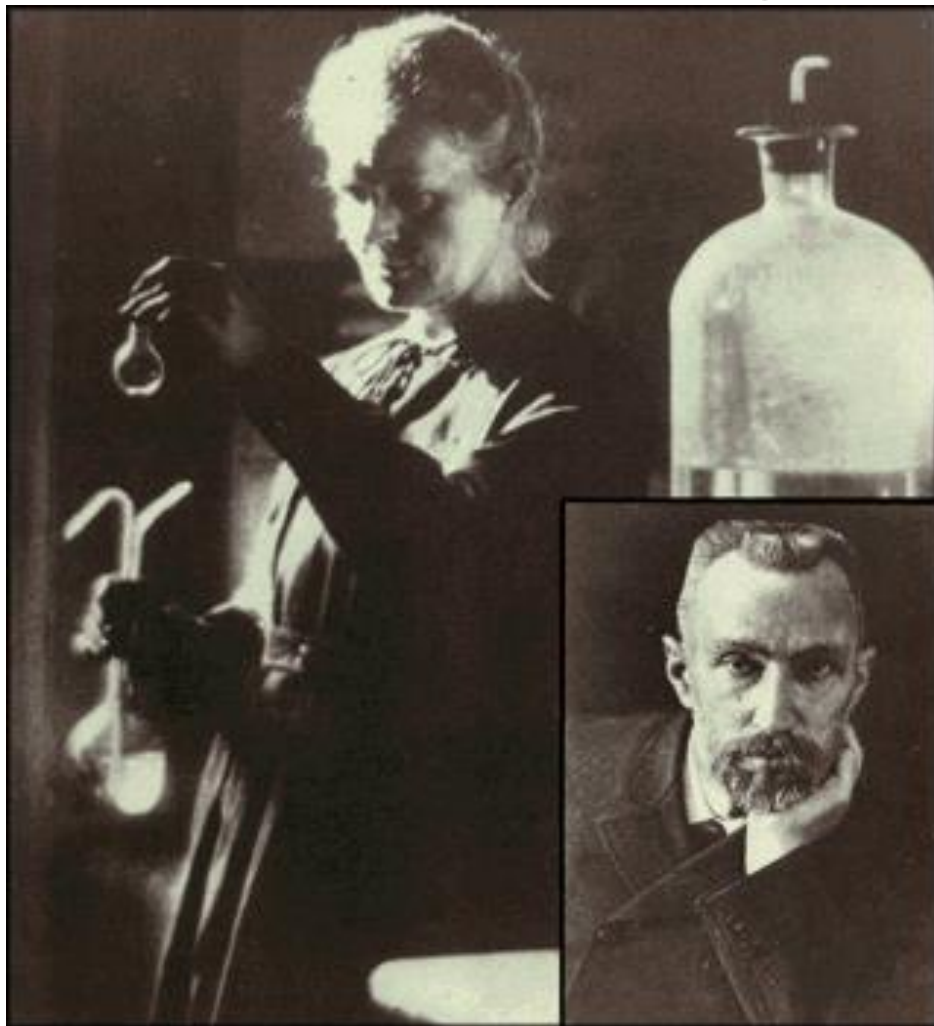


Promieniotwórczość

Henri Becquerel 1896



Pierwiastki promieniotwórcze



Przemiany spontaniczne

Spontanicznymi nazywamy procesy realizowane samorzutnie, w odróżnieniu od reakcji, dla których niezbędne jest oddziaływanie między "pociskiem" a "tarczą". Mówimy wówczas o przemianie spontanicznej, bądź o rozpadzie.

Podstawową charakterystyką przemiany spontanicznej jest prawdopodobieństwo jej realizacji. Miarą jego jest stała zaniku λ , lub jej odwrotność, $\tau = 1/\lambda$, czyli średni czas życia.

W fizyce jądrowej, rozważając przemiany promieniotwórcze, często używa się innej wielkości okres połowicznego zaniku, $T_{1/2} = \tau \cdot \ln 2$.

Prawo rozpadu promieniotwórczego

Rozpady obiektów niestrawnych podlegają statystycznemu prawu, które można zapisać w postaci;

$$\Delta N = -\lambda N \Delta t \quad \longrightarrow \quad \frac{dN}{dt} = -\lambda N$$

Rozwiązanie:

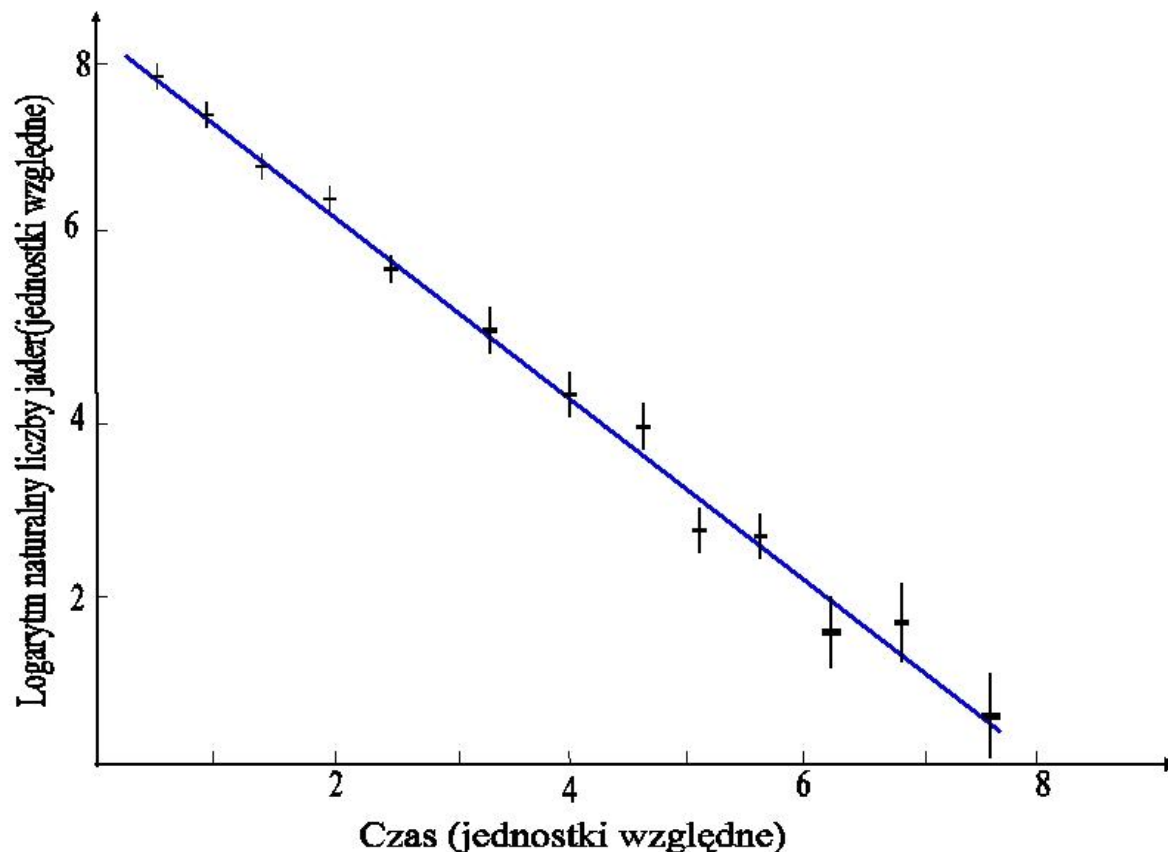
$$N = N_0 e^{-\lambda t} \quad N = \frac{N_0}{2^{\frac{t}{T_{1/2}}}} \quad N = \frac{N_0}{2^m}; \quad m = \frac{t}{T_{1/2}}$$

Rozwiązanie po zlogarytmowaniu:

$$\ln N = \ln N_0 - \lambda t$$

Prawo rozpadu promieniotwórczego

$$\ln N = \ln N_0 - \lambda t$$



Krzywa rozpadu promieniotwórczego w skali logarytmicznej

Aktywność źródła

$$A = \frac{dN}{dt} = -\lambda N$$

Liczba jąder:

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

Aktywność:

$$A = \frac{dN}{dt} = -\lambda \cdot N_0 e^{-\lambda t}$$

Aktywność źródła

Aktywnością promieniotwórczej próbki nazywamy liczbę rozpadów, zachodzących w jednostce czasu.

Jednostki aktywności to: 1Ci - 1 kiur

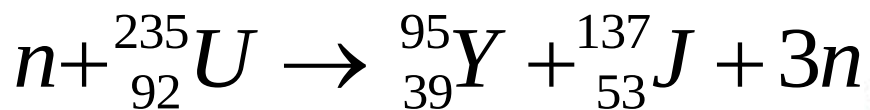
$1\text{ Ci} = 3.7 \cdot 10^{10}$ rozpadów na sekundę,

oraz znacznie mniejsza jednostka:

$1\text{Bq} = 1\text{bekerel} = 1$ rozpad na sekundę.

1Ci - to aktywność radonu znajdującego się w równowadze promieniotwórczej z 1 g radu

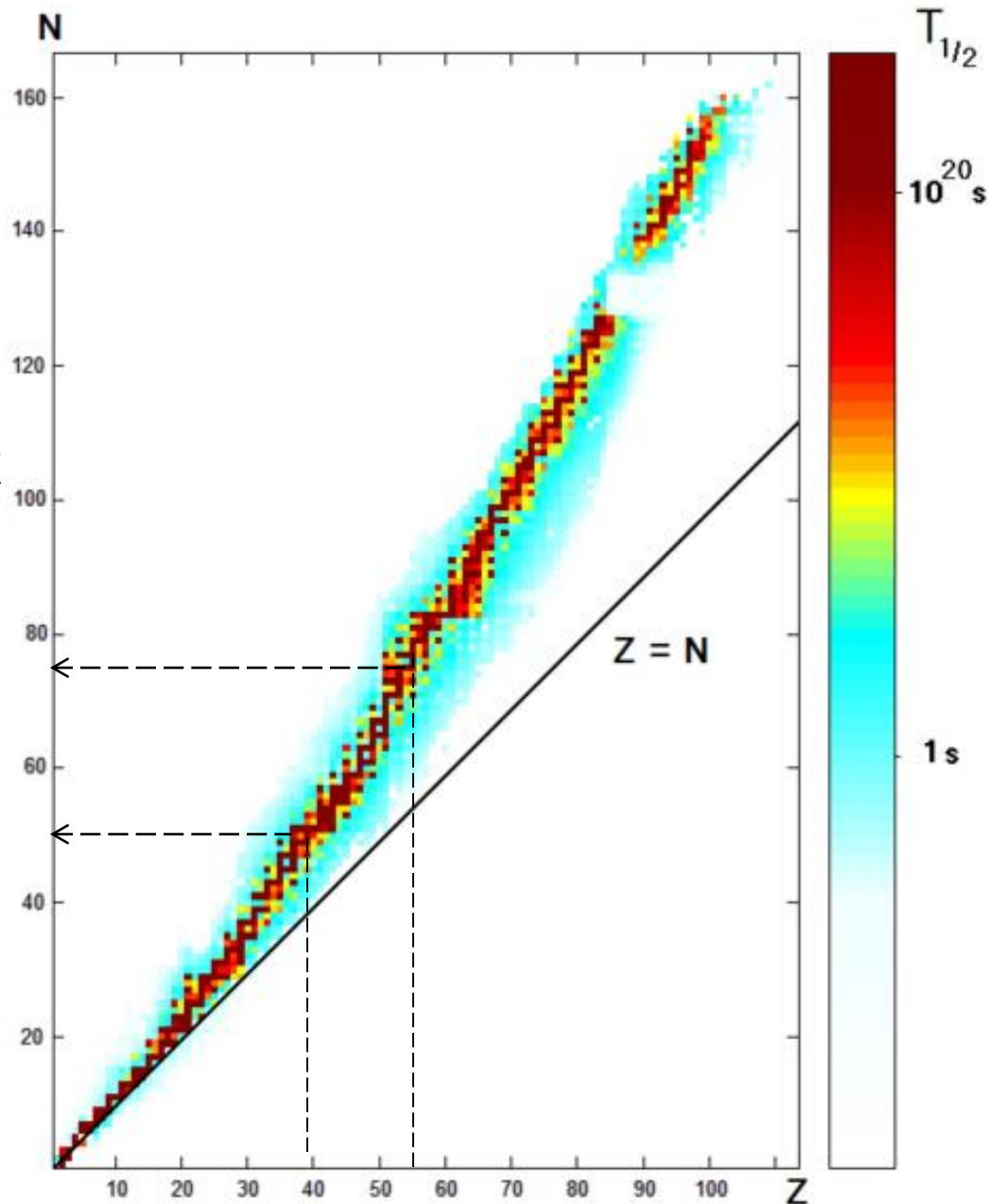
Ścieżka stabilności



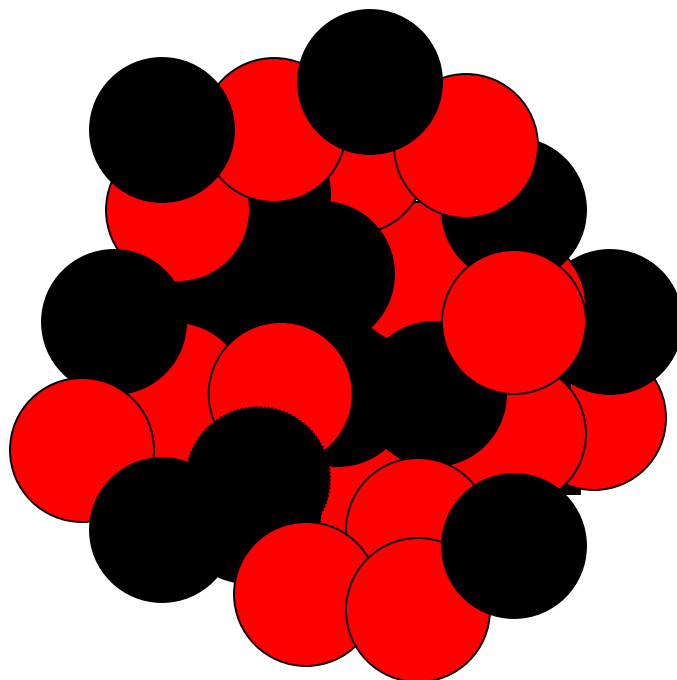
Stabilne izotopy to:



W rozszczepieniu
powstają izotopy
neutrono-nadmiarowe:

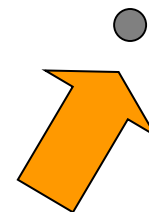


Rozpad β



$$Z \rightarrow Z+1$$

rozpad trójciałowy, w stanie końcowym mamy trzy obiekty,
trzecią cząstką, trudną w rejestracji jest neutrino



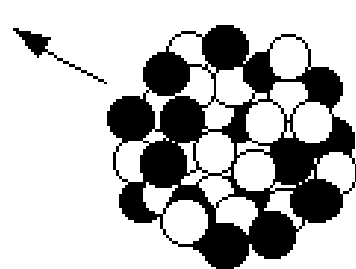
Rozpad beta



Rozpad β

Beta Particle Radiation

Daughter
Nucleus
Calcium-40

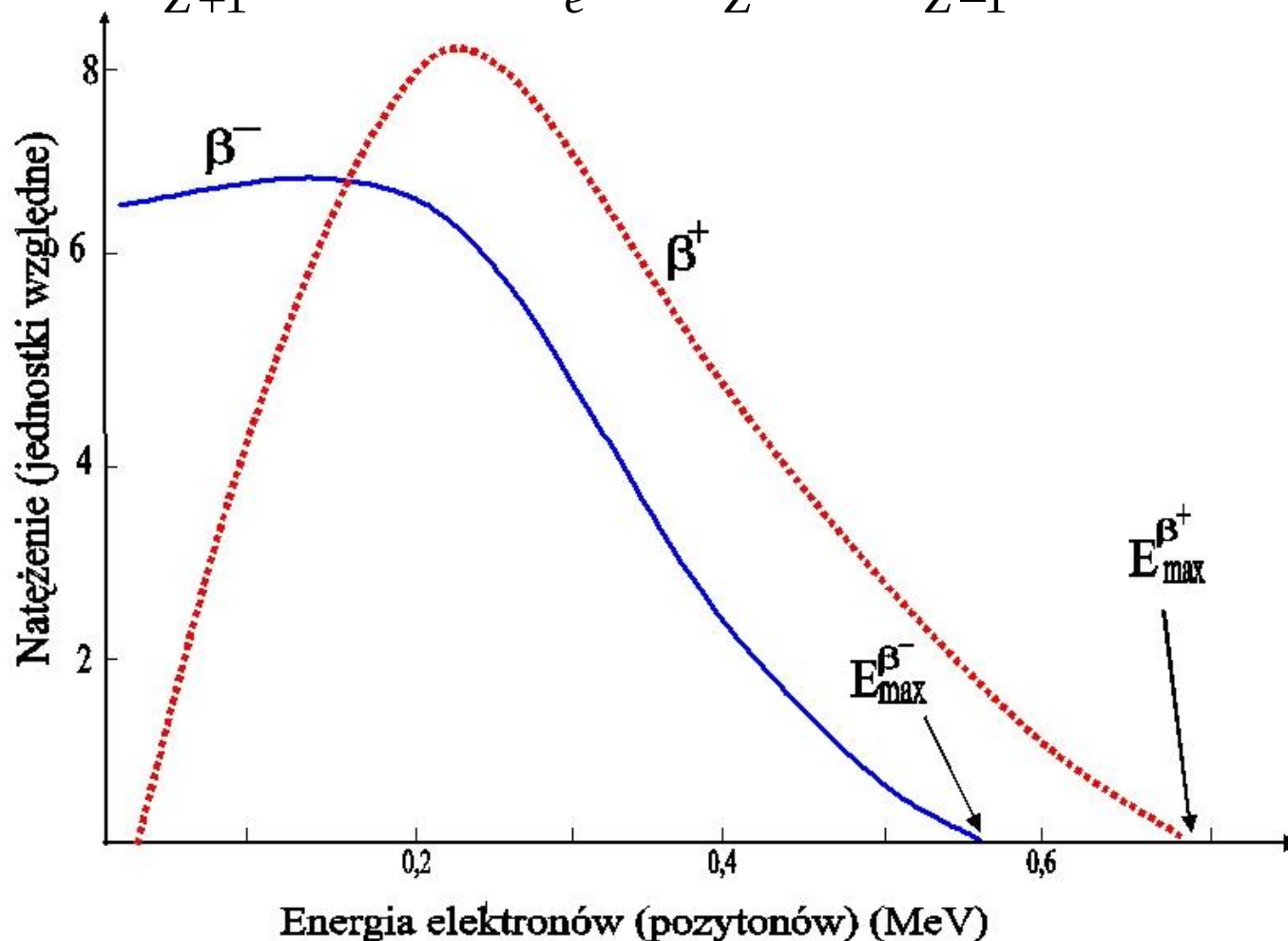


Parent Nucleus
Potassium-40

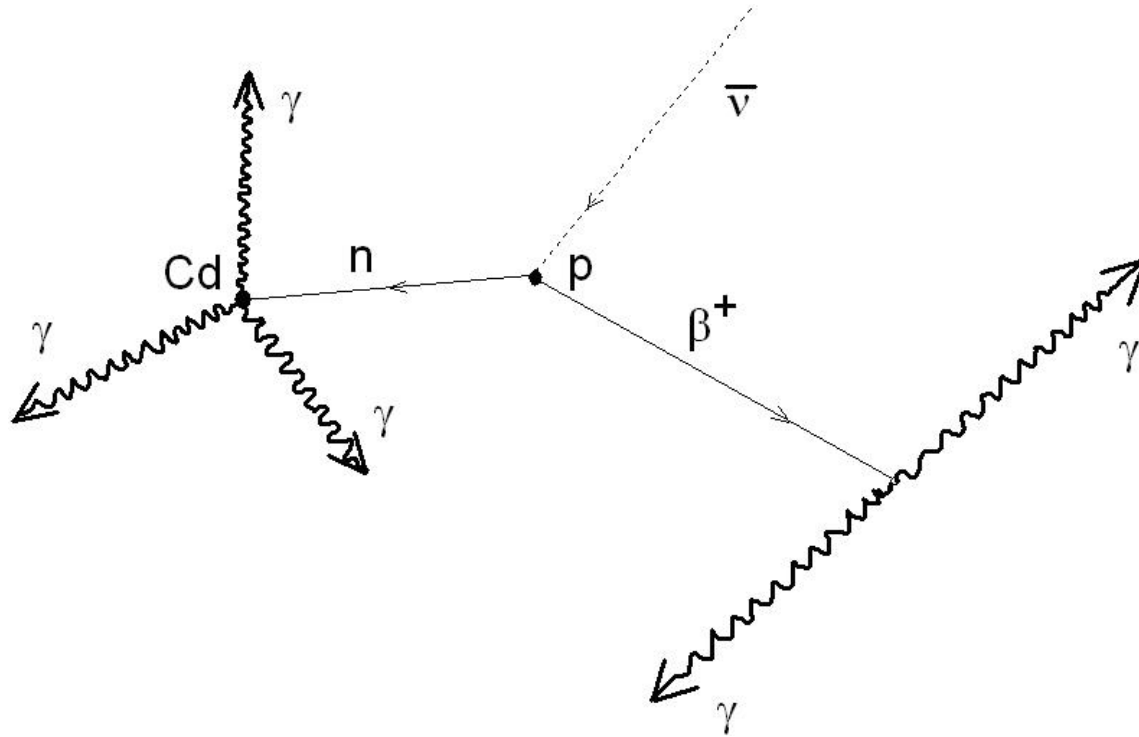
${}^0_0\bar{\nu}$
Antineutrino

${}^0_{-1}\beta^-$
Beta Particle

Rozpady β - widma



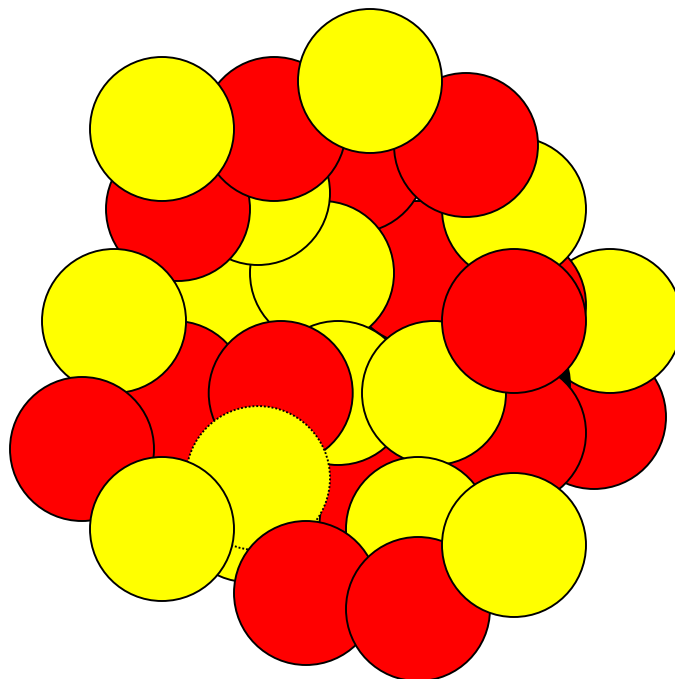
Jak wykryć neutrino



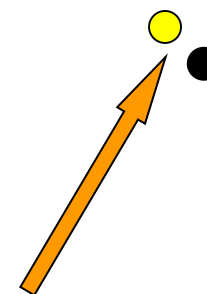
$$\bar{\nu}_e + p \rightarrow n + \beta^+$$

Obfite źródło antyneutrin elektronowych stanowi reaktor jądrowy, bardzo dużą "tarczę" protonów stanowi ciekły scyntylator (ok.1400 litrów)

Rozpad β^+

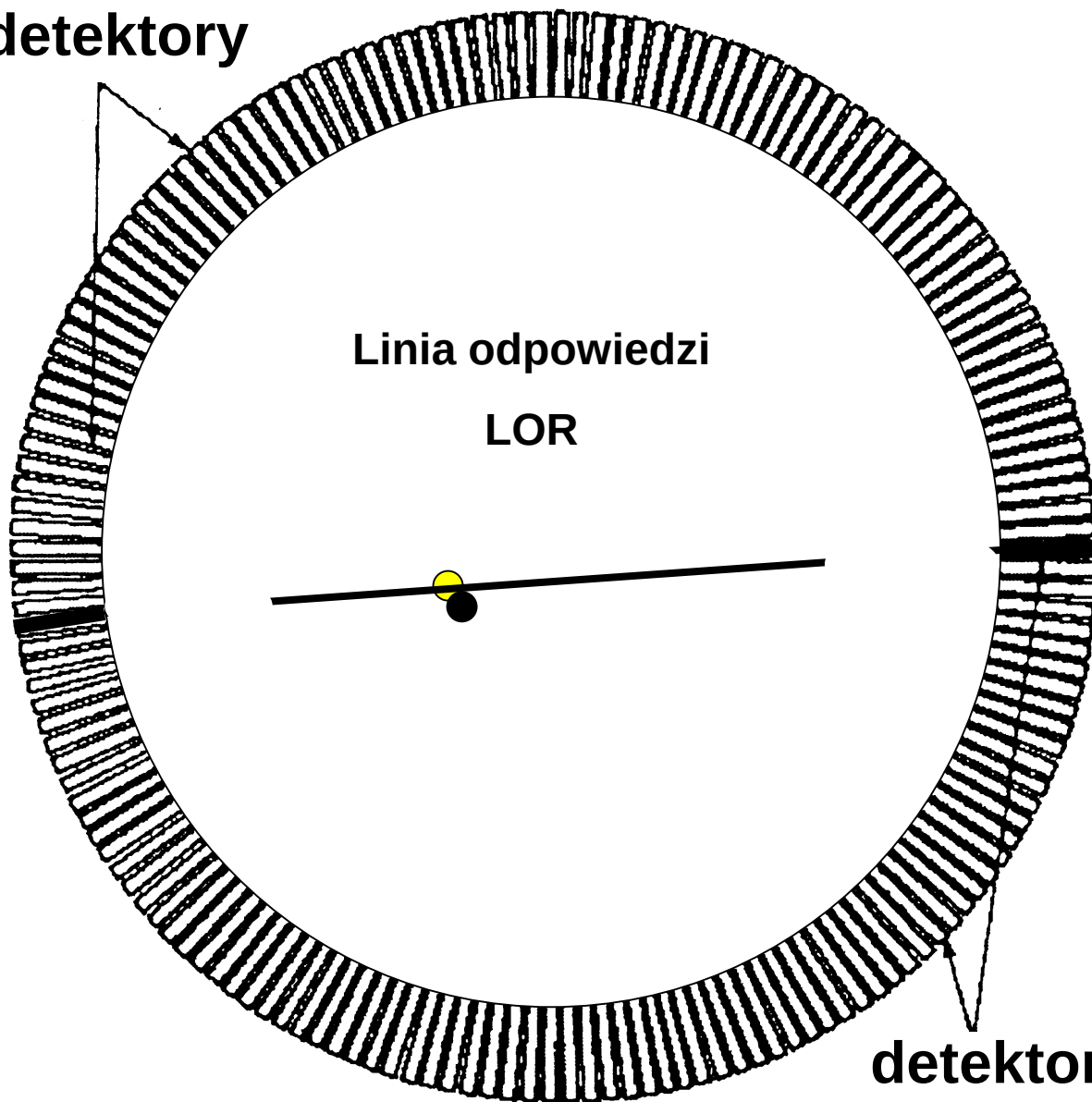


$$Z \rightarrow Z - 1$$



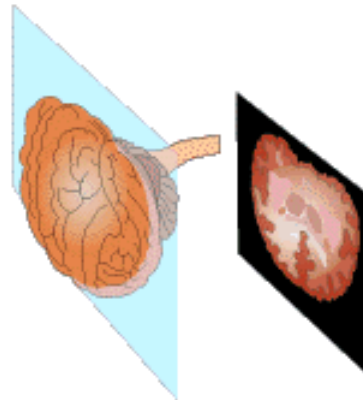
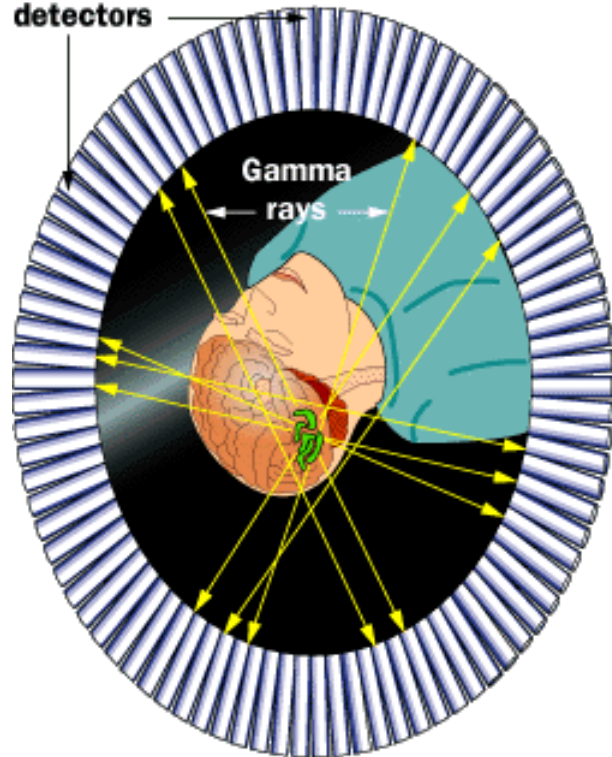
Pozytonium

detektory



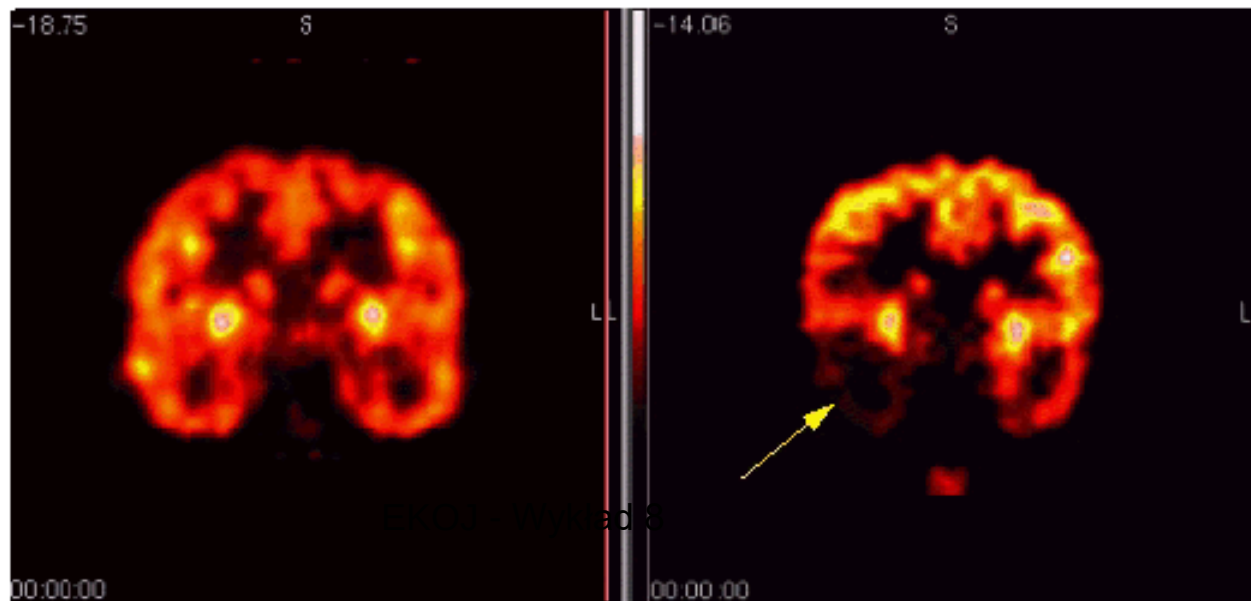
detektory

Gamma ray
detectors



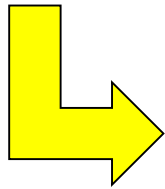
©2000 How Stuff Works

Jak powstaje obraz PET

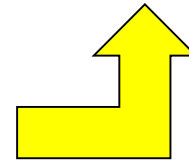




(^{18}F)



$(\text{C}_6\text{O}_5\text{FH}_{11})$



27.XI.2018

EKOJ - Wykład 8

31/21