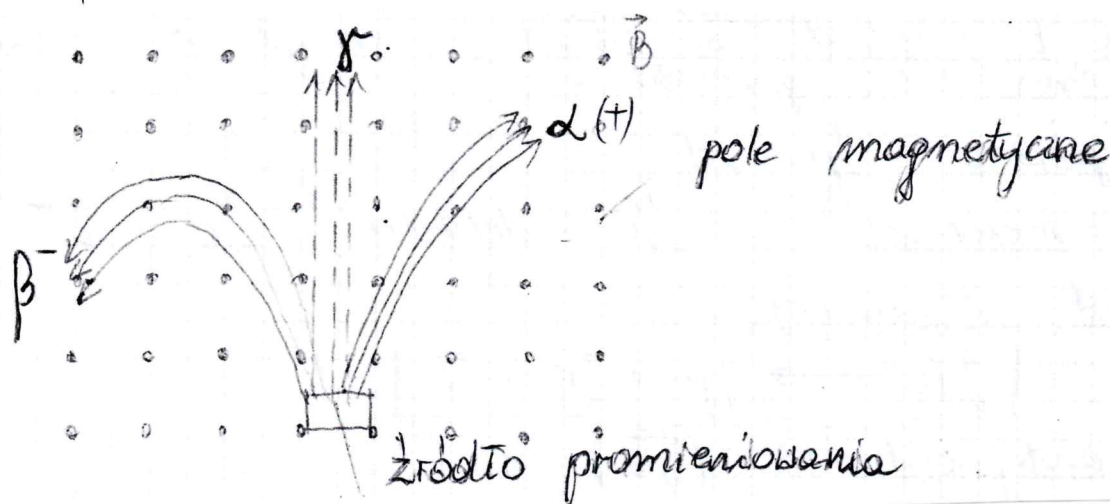


Do końca XIX wieku uważano, że najmniejszą, niepodzielną cząstką materii jest atom. Potem jednak okazało się, że atomy mają wewnętrzną strukturę. W doświadczeniach przeprowadzonych na początku XX wieku odkryto elektron, proton i neutron.

Dzięki doświadczeniom francuskich fizyków: H. Becquerela i Piotra Curie oraz Marii Skłodowskiej - Curie wiadomo, że atomy uranu i innych pierwiastków, nazywanych pierwiastkami promieniotwórczymi, wysyłają samoczynnie promieniowanie, które zabiera klisze fotograficzne, jonizuje powietrze.

W dalszych badaniach, w których promieniowanie wysyłane przez różne pierwiastki przepuszczano przez pole magnetyczne i elektryczne, ustalono, że występuje ono w trzech odmianach:  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ .



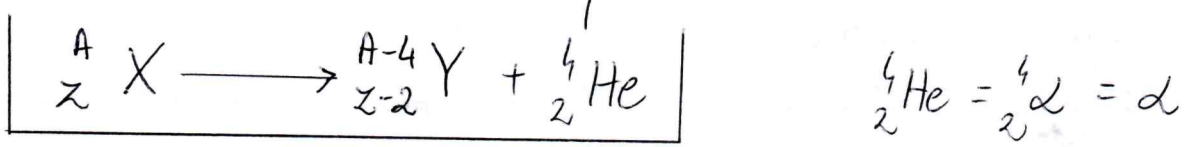
$\begin{smallmatrix} A \\ Z \end{smallmatrix} X$       X - symbol chemiczny pierwiastka

Z - liczba atomowa - ilość protonów w jądrze

A - liczba masowa - ilość nukleonów - protonów i neutronów w jądrze

Ilość neutronów w jądrze: Z - A

Promieniowanie  $\alpha$  (alfa) - cząstki niosące dodatnio, jądra helu  $\alpha = {}^4_2\text{He}$ . Ulegają odchyleniu w polu magnetycznym i elektrycznym. Przechodząc przez ośrodek jonizują w wyniku zderzeń atomy tego ośrodka. Cząstka  $\alpha$  unosi w postaci energii kinetycznej, praktycznie całą energię wywołoną w tej przemianie. Promieniowanie to jest mało przenikliwe - w powietrzu zasięg jest rzędu kilku centymetrów. Są bardzo silnie pochłaniane przez substancje. Nawet kartka papieru pochłania je całkowicie. Rozpadowi  $\alpha$  ulega większość jąder o liczbie atomowej  $Z > 83$  i liczbie masowej  $A > 209$ .

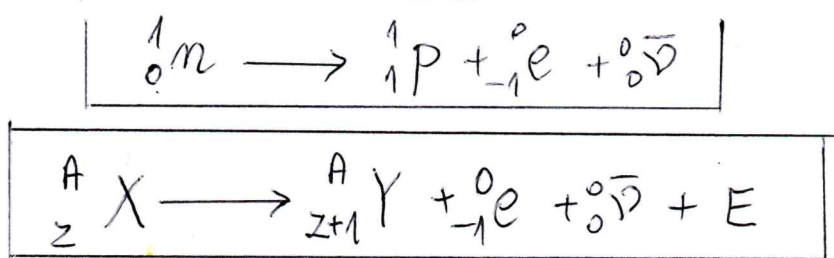


Emisja cząstki  $\alpha$  powoduje „przesunięcie” pierwiastka w układzie okresowym w inne miejsce - reguła przesunięć Soddy'ego - Fajansa.

Promieniowanie  $\beta^-$  ( $\beta$ -beta) - strumień elektronów. Ulegają odchyleniu w polu magnetycznym i elektrycznym. Poruszają się z prędkością zbliżoną do prędkości światła. Stwierdzono, że jonizujące niż  $\alpha$ . Jest silnie pochłaniane przez materię. Wystarczającą ostrość przed tym promieniowaniem jest kilka mm metali lub szkła.

1. Promieniowanie  $\beta^-$  - emitowane przez jądro elektrony, które powstają w jądrze podczas rozpadu neutronu. Rozpad ten zachodzi w jądrach, w których jest więcej neutronów niż protonów.

rozpad neutronu:

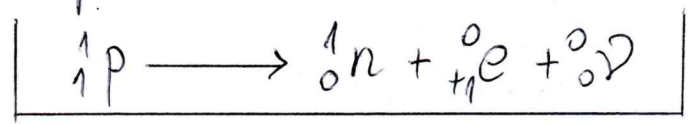




${}^1_0n$  - neutron ,  ${}^1_1p = {}^1_1H$  - proton ,  $E$  - energia  
 ${}^0_{-1}e$  - elektron ,  ${}^0_{-1}e = \beta^-$  ,  
 ${}^0_0\bar{\nu}$  - antyneutrino - antycząstka neutrina

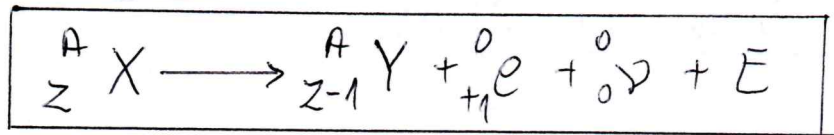
2. Promieniowanie  $\beta^+$  - rzadziej spotykane, jądro emituje pozyton  ${}^0_{+1}e$  powstałe w wyniku przemiany protonu w neutron.

rozpad protonu :



${}^0_{+1}e$  - pozyton - antycząstka elektronu - masa równa masie elektronu a ładunek wynosi  $+e$

${}^0_0\bar{\nu}$  - neutrino



Promienie  $\beta^+$  ulegają jądra, w których jest przewaga protonów.

Promieniowanie  $\gamma$  (gamma) - fala elektromagnetyczna, nie ulega odchyleniu w polu magnetycznym i elektrycznym. Jest bardzo przenikliwe - aby się zatrzymać potrzebne jest grube warstwy betonu pokrytego pianką ciężkim np. ołowiem. Jest słabo jonizujące.  
Towarzyszy rozpadom  $\alpha$  i  $\beta$ .

Sily jądrowe - oddziaływanie silne -  
są to sily krótkiego zasięgu rzędu  $10^{-15}$  m.  
Ich wartości maleje bardzo szybko, gdy wzrasta odległość między nukleonami.  
Sily te występują między nukleonami (protony i neutrony), nie zależą od ładunku elektrycznego.  
Wartości ich jest bardzo duże, około 100 razy większe od oddziaływania elektrostatycznego.

## Energia wiązania jądra

jest to najmniejsza energia, którą należy dostarczyć układowi związanemu, aby rozdzielić go na składniki swobodne - nieoddziałujące ze sobą.

Obliczamy ją ze wzoru:

$$E = \Delta m \cdot c^2$$

$\Delta m$  - deficyt (niedobór) masy [kg]

$$\Delta m = m - m_j$$

$m$  - masa cząstek swobodnych - przed połączeniem w jądro [u, kg]

$$m = Z m_p + (A - Z) m_n$$

$m_p$  - masa protonu

$m_n$  - masa neutronu

$m_j$  - masa jądra [u, kg]

$c = 3 \cdot 10^8 \frac{m}{s}$  - prędkość światła

$1u = 1,661 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$  - jednostka masy atomowej

$m_p = 1,0073u$  ,  $m_n = 1,0087u$

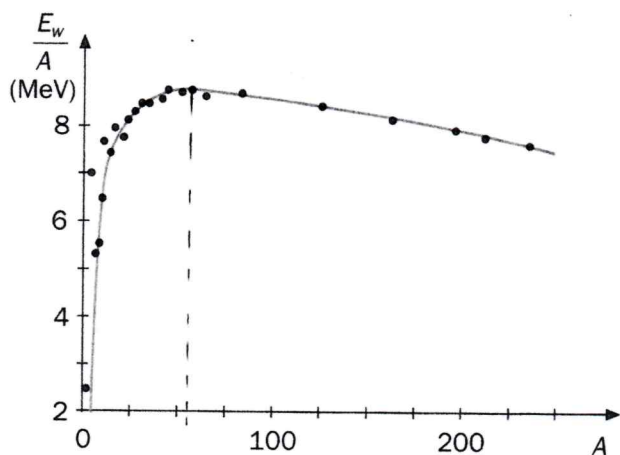
W każdej reakcji łączenia składników w układ związany uwalnia się część energii spoczynkowej tych składników.

Znając wartość energii wiązania oraz liczbę nukleonów w danym jądrze można obliczyć średnią energię wiązania - energię przypadającą średnio na jeden nukleon:

$$\frac{E_w}{A}$$

$A$  - liczba nukleonów: protony + neutrony





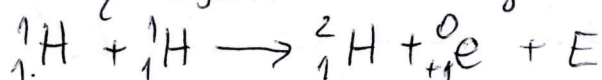
$\frac{E_w}{A}$  osiąga maksimum dla wartości  $A \approx 50$  (jądra żelaza) a potem maleje.  
Dla  $A > 60$  zaczyna stopniowo maleć

$A < 60$  - pierwiastki lekkie, energia uychiela się w reakcjach syntezy

$A > 60$  - pierwiastki ciężkie - energia uychiela się w reakcjach rozszczepienia jądra

### Synteza jąder

Przy złączeniu dwóch lekkich jąder w jedno większe, jeśli tylko temu procesowi towarzyszy zmniejszenie masy, uychiela się opramna energia:



Aby było to możliwe, jądra muszą mieć bardzo dużą energię kinetyczną - należy je więc ogrzać do temperatury setek milionów stopni

Proces złączenia jąder atomowych w bardzo wysokich temperaturach nazywamy syntezą termojądrową

Reakcje termojądrowe zachodzą we wnętrzu Słońca i innych gwiazd.

Są one również możliwe do realizacji w laboratoriach w warunkach ziemskich.

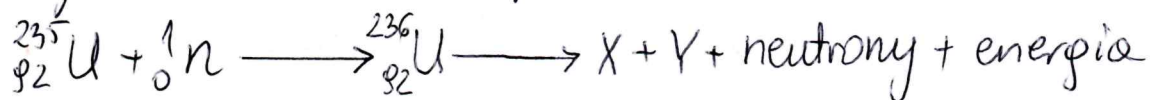
### Reakcje rozszczepienia jądra

Reakcje rozszczepienia jądra można wywołać bombardując jądra  ${}^{235}\text{U}$  powolnymi neutronami (o energii ok. 1 eV).

Tylko takie neutrony są wychwytywane przez jądro  ${}^{235}\text{U}$ , ponieważ przebywają one stosunkowo długo w pobliżu jądra.

Fragmenty rozszczepienia nie są jednoznacznie określone  
- możliwe są różne kombinacje fragmentów rozszczepienia oraz liczby uwolnionych neutronów.

Ogólny schemat rozszczepienia:



X, Y - pierwiastki, które powstają w wyniku rozpadu jądra

Jeśli porcja uranu będzie odpowiednio duża, to neutrony wytworzone w pojedynczym procesie rozszczepienia mogą inicjować nowe procesy rozszczepienia.

Jeśli więcej niż jeden z powstałych neutronów zainicjuje jedną reakcję, to liczba rozszczepień będzie rosła lawinowo. Taki proces nazywamy reakcją łańcuchową. Aby nastąpiła reakcja łańcuchowa, to masa uranu musi być lżejsza od masy krytycznej.

Jeżeli neutrony powstające w reakcji mają dużą energię, to aby reakcja przebiegała lawinowo, należy te neutrony spowolnić (zmniejszyć ich energię kinetyczną) przez oddziaływanie z odpowiednio dobrą materią.

## Reakcje jądrowe

Niektóre jądra atomowe są stabilne, a inne ulegają samodzielnemu rozpadowi. Wszystkie jądra mogą jednak brać udział w procesach zderzeń i w ich wyniku ulegać różnym przemianom.

Procesy te nazywamy ogólnie reakcjami jądrowymi.

We wszystkich reakcjach jądrowych spełnione są zasady zachowania:

- 1) zasada zachowania ładunku elektrycznego - liczba atomowa Z
- 2) zasada zachowania całkowitej liczby nukleonów - liczba masowa A
- 3) zasada zachowania energii

Suma liczb A i suma liczb Z jąder i cząstek biorących udział w reakcji się nie zmienia.



Aby przeprowadzić reakcję jądrową należy zderzyć cząstkę z jądrem atomu. Takie zderzenie jest możliwe, jeżeli przynajmniej jednemu z jąder nadamy energię kinetyczną wystarczającą do pokonania odpychania elektrostatycznego i zbliżyć je na taką odległość, aby oddziaływanie jądrowe mogło doprowadzić do reakcji. Doś używane są do tego celu akceleratory, które przyspieszają cząstki.

### Prawo rozpadu promieniotwórczego

Procesy rozpadu promieniotwórczych są zjawiskami kwantowymi. Do tych procesów stosuje się opis statystyczny.

Liczba rozpadających się jąder na jednostkę masy jest proporcjonalna do liczby wszystkich jąder w próbce.

Aktywność źródła promieniotwórczego:

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

$\Delta N$  - ilość jąder, które uległy rozpadowi w czasie  $\Delta t$

jednostką aktywności jest bekerel - Bq

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

Aktywność źródeł promieniotwórczych maleje z upływem czasu.

Czas (okres) połowicznego rozpadu -  $T$ ,  $T_{1/2}$

jest to czas, po upływie którego w próbce pozostanie połowa początkowej liczby jąder (atomów), czyli połowa uległa rozpadowi

$$\text{dla } t = T \quad N = \frac{1}{2} N_0$$

Czas połowicznego rozpadu zależy od rodzaju pierwiastka promieniotwórczego.

Prawo rozpadu promieniotwórczego można zapisać w postaci:

$$N = \frac{N_0}{2^{\frac{t}{T}}}$$

$$N = N_0 \left( \frac{1}{2} \right)^{\frac{t}{T}}$$

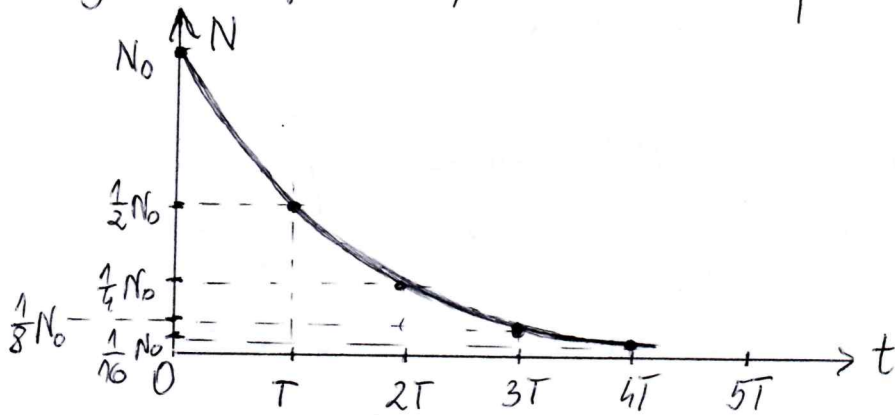
$N_0$  - początkowa liczba jąder ( $t=0$ )

$N$  - liczba jąder, które pozostały po czasie  $t$

$T$  - czas połowicznego rozpadu } jednakowe jednostki

$t$  - czas rozpadu

Krzywa rozpadu promieniotwórczego - funkcja wykładnicza



Gdy należy obliczyć, ile jąder uległo rozpadowi, to od początkowej liczby  $N_0$  należy odjąć ilość jąder, które pozostały po czasie  $t$ :

$N_0 - N$  tyle jąder uległo rozpadowi

Ilość jąder pozostałych po czasie  $t$  można również obliczyć w następujący sposób:

$$N_0 \xrightarrow{t=T} \frac{1}{2} N_0 \xrightarrow{t=2T} \frac{1}{4} N_0 \xrightarrow{t=3T} \frac{1}{8} N_0 \xrightarrow{t=4T} \frac{1}{16} N_0$$

itp.

Takie same obliczenia stosuje się, gdy znane jest maso próbki

Przydatne wzory:

ilość moli:

$$n = \frac{m}{M}$$

$$n = \frac{N}{N_A}$$

$$\boxed{\frac{m}{M} = \frac{N}{N_A}}$$

$m$  - masa substancji

$M$  - masa molowa  $\left[ \frac{\text{g}}{\text{mol}}, \frac{\text{kg}}{\text{mol}} \right]$

$N$  - ilość jąder, atomów

$N_A$  - liczba Avogadro

