**FIZYKA 2 – Energia jądrowa**

Jądra atomowe, zwane inaczej **nuklidami**, dzielimy na dwa typy:

- trwałe (stabilne)

- nietrwałe (promieniotwórcze)

Jądra takie składają się z **nukleonów:**

- *protonów* o masie:



- *neutronów* o masie:



Obraz zawierający tekst, Czcionka, zrzut ekranu, linia

Opis wygenerowany automatycznie

Jądra atomów tego samego pierwiastka, które różnią się tylko masą, nazywamy **izotopami**. Mają one **jednakową liczbę protonów** i bardzo zbliżone właściwości fizyczne i chemiczne. **Izobary** mają taką samą liczbę nukleonów, **izotony** mają taką samą liczbę neutronów.

Obraz zawierający tekst, zrzut ekranu, diagram, linia

Opis wygenerowany automatycznie

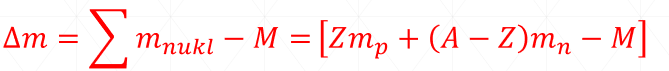
Objętość jądra jest wprost proporcjonalna do liczby masowej A (czyli liczby nukleonów). Masa jądra wyraża się w jednostkach masy atomowej *u:*



Liczba masowa *A* nuklidu równa się masie atomowej wyrażonej w atomowych jednostkach masy i zaokrąglonej do liczby całkowitej.



Masa M jądra jest **mniejsza od sumy mas tworzących je nukleonów**. Zjawisko to nazywane jest **defektem masy** i wyraża się następującym wzorem:



Energię wiązania jądra określamy jako **energię spoczynkową defektu masy**.

Obraz zawierający Czcionka, czerwony, tekst, Grafika

Opis wygenerowany automatycznie

Całkowita energia wiązania jądra to praca potrzebna na rozłożenie jądra na jego składowe nukleony bez nadania im energii kinetycznej. Energia wiązania jest wygodną miarą trwałości jądra, choć lepiej podawać energię wiązania przypadającą na jeden nukleon. Energią wiązania nukleonu nazywamy wielkość równą pracy potrzebnej na usunięcie danego nukleonu z jądra bez nadania mu energii kinetycznej.

Siły jądrowe cechują się w następujący sposób:

Obraz zawierający tekst, zrzut ekranu, Czcionka, numer

Opis wygenerowany automatycznie

Obraz zawierający krąg, diagram, zrzut ekranu, Grafika

Opis wygenerowany automatycznie

Modele struktur jądra atomowego (których jest ponad kilkanaście) dzielimy na trzy podstawowe grupy:

* **model kroplowy** - modele cząstek silnie skorelowanych (ruch jednego nukleonu jest ściśle skorelowany z ruchem innych)
* **model powłokowy** - modele cząstek niezależnych (nukleony poruszają się niezależnie we wspólnym potencjale)
* **model kolektywny** – jest połączeniem w/w modeli.

Cechy modelu kroplowego:

Obraz zawierający tekst, zrzut ekranu, Czcionka, dokument

Opis wygenerowany automatycznie

Cechy modelu powłokowego:

Obraz zawierający tekst, zrzut ekranu, Czcionka, dokument

Opis wygenerowany automatycznie

Większość nuklidów jest nietrwałych, to nuklidy promieniotwórcze.

Jądra atomowe pierwiastków nietrwałych samorzutnie i w różny sposób przekształcają się w jądra innych pierwiastków, czemu towarzyszy emisja różnego promieniowania. Proces ten nazywany jest **rozpadem** lub **przemianami jądrowymi**.

Obraz zawierający zrzut ekranu, diagram, tekst

Opis wygenerowany automatycznie

Obraz zawierający tekst, zrzut ekranu, Czcionka, linia

Opis wygenerowany automatycznie

Zjawisko naturalnej promieniotwórczości zostało odkryte w związkach uranu w 1896 r. przez Henriego Becquerela. Na jego cześć jednostką aktywności próbki (szybkości rozpadu) jest **bekerel:** 1 Bq = 1 rozpad na sekundę.

Istotny wkład w odkrycie promieniotwórczości wnieśli Maria Skłodowska-Curie i Piotr Curie: odkrycie uranu 238U, polonu 210Po i radu 226Ra (nagroda Nobla w 1903 r.).

Obraz zawierający tekst, Czcionka, zrzut ekranu, biały

Opis wygenerowany automatycznie

Szybkość rozpadu nuklidu jest proporcjonalna do liczby jego jąder *N.* Prawo to nazywane jest **prawem rozpadu promieniotwórczego.**

**Reakcje jądrowe** to procesy oddziaływania jądra atomowego z innym jądrem lub cząstką elementarną. pierwszą reakcję jądrową odkrył w 1919 r. Rutherford bombardując jądra azotu cząstkami α.

Obraz zawierający Czcionka, typografia, biały, numer

Opis wygenerowany automatycznie

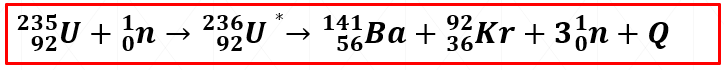
Promieniowanie jądrowe powstałe podczas tych reakcji nazywamy promieniotwórczością sztuczną. Ogólny schemat reakcji jądrowej wygląda następująco:

Obraz zawierający tekst, Czcionka, linia, zrzut ekranu

Opis wygenerowany automatycznie

Rozpad ciężkich jąder na dwie części jest korzystny energetycznie jednak nie może zajść samorzutnie – należy dostarczyć energię progową (aktywacji) aby nukleony mogły pokonać kulombowską barierę potencjału. Dokonuje się to metodą bombardowania izotopu uranu neutronami.

Jądro 235U absorbuje neutron termiczny i przekształca się w silnie wzbudzone jądro 236U, które **może** ulec rozszczepieniu na dwa fragmenty zazwyczaj o różnych masach.



Obraz zawierający tekst, zrzut ekranu

Opis wygenerowany automatycznie

Obraz zawierający tekst, zrzut ekranu, diagram

Opis wygenerowany automatycznie

Obraz zawierający tekst, zrzut ekranu, szkic, sztuka

Opis wygenerowany automatycznie

Moderator (spowalniacz) zmniejsza energię kinetyczną neutronów wyemitowanych w reakcji rozszczepienia: H2O, D2O, Be, Li, grafit, aby zwiększyć prawdopodobieństwo reakcji lawinowej. Zadaniem materiału pochłaniającego jest utrzymanie współczynnika powielenia reakcji na poziomie jedności, co oznacza, że z każdego aktu rozszczepienia średnio jeden neutron powoduje następny akt rozszczepienia: stopy Ag + In + Cd, B, Hf – reakcja jest pod kontrolą. Zapobiega to powstaniu reakcji lawinowej – wybuchowi jądrowemu. Wydzielana w trakcie reakcji energia odbierana jest przez chłodziwo i służy do wytworzenia pary napędzającej turbinę.

Reaktor Maria został pierwszy raz uruchomiony w grudniu roku 1974 i jako jedyny w Polsce działa do dzisiaj. Jest on zbudowany od podstaw w Polsce, a oparty na radzieckim pomyśle (reaktor MR w Instytucie Kurczatowa w Moskwie). Jest on reaktorem naukowo-badawczym, nie energetycznym.

**Czy reaktor energetyczny może być bombą jądrową?**

Tylko dla marnych dziennikarzy, a dlaczego?

Ze względu na obecność kontrolnych i awaryjnych prętów pochłaniających neutrony nie może dojść do **reakcji łańcuchowej** (wybuchu jądrowego), a najwyżej stopienia rdzenia reaktora i wybuchu chemicznego – Czarnobyl.

A promieniowanie? Konstrukcja reaktora uniemożliwia jego emisją na zewnątrz. Ale mogą się wydostawać np. woda i powietrze aktywowane neutronami.

Problemem jest natomiast transport, a zwłaszcza składowanie odpadów promieniotwórczych – mogilniki.

* Procesowi połączenia dwóch lekkich jąder w jedno większe towarzyszy wyzwolenie energii (**reakcja syntezy**),
* połączeniu jąder przeciwdziała odpychanie kulombowskie, np. dla dwóch protonów *U* = 400 keV,
* aby pokonać tą barierę zderzające się jądra atomowe muszą uzyskać odpowiednią energię kinetyczną:
  + w akceleratorze,
  + podczas wybuchu bomby jądrowej,
  + w wyniku wysokiej temperatury (rzędu 107 K),
* energia kinetyczna odpowiadająca najbardziej prawdopodobnej prędkości oddziałujących cząstek *E*k=k*T*,
* we wnętrzu Słońca k*T* = 1,3 eV, a mimo to zachodzi synteza termojądrowa: (*T* = 1,5·107 K),
  + występują cząstki o prędkościach większych od średnich,
  + cząstki o energii mniejszej od U mogą połączyć się dzięki tunelowaniu.

**Fuzja laserowa** – skupienie energii ponad 200 wiązek laserowych na kulce paliwa jądrowego o wymiarach ziarnka pieprzu. Zapoczątkowana reakcja termojądrowa będzie podtrzymywana ciepłem samej reakcji. W sierpniu 2021 r. udało się odzyskać aż 70% energii użytej do wywołania reakcji (przez szereg lat odzyskiwano mniej niż 1% włożonej energii).

**NOTATKI Z INTERNETU**

Rozszczepienie jądra atomowego to reakcja polegająca na rozpadzie jądra na dwie (rzadziej na więcej) części o zbliżonych masach, któremu towarzyszy emisja neutronów oraz kwantów gamma. Jądra, które ulegają rozszczepieniu, są jądrami ciężkimi posiadającymi dużą liczbę nukleonów. Proces ten zachodzi częściej dla stanu wzbudzonego jądra niż dla stanu podstawowego.

Obraz zawierający zrzut ekranu, tekst, Grafika, projekt graficzny

Opis wygenerowany automatycznie

Zjawisko rozszczepienia charakterystyczne jest dla izotopów ciężkich pierwiastków. Do pierwiastków tych zaliczamy przede wszystkim **uran, pluton, tor, kaliforn, ameryk, kiur czy neptun**. W praktyce izotopem wykorzystywanym w reaktorach jądrowych jest **uran-235** z uwagi na jego dostępność w przyrodzie, wysokie prawdopodobieństwo rozszczepienia i możliwość stosunkowo łatwego kontrolowania całej reakcji.

Jądra atomowe mogą ulec rozszczepieniu **samoczynnie bądź w wyniku indukcji zewnętrznej**. Przykładowym izotopem, który z dużym prawdopodobieństwem ulega rozszczepieniu spontanicznemu (samorzutnemu) jest kaliforn-252. Także popularne izotopy uranu-235 i 238 mogą z niewielkim prawdopodobieństwem ulec takiemu rozpadowi, lecz znacznie częściej wykorzystuje się ich zdolność do rozszczepienia indukowanego (wymuszonego).

Wymuszone rozszczepienie jądra atomowego występuje w wyniku **oddziaływania jądra z neutronem**, który zazwyczaj wytracił swoją pierwotną energię w materiale lekkim, bogatym w wodór (zwanym moderatorem), takim jak np. woda. W wyniku rozszczepienia, oprócz powstania dwóch (lub więcej) jąder porozpadowych (tzw. fragmentów rozszczepienia), emitowane są także dodatkowe neutrony oraz fotony gamma. W efekcie nowo powstałe neutrony w pewnych warunkach mogą powodować rozszczepianie kolejnych jąder, co powoduje powstanie kolejnych neutronów i tak dalej. Proces ten zwany jest **reakcją łańcuchową i wykorzystywany jest m.in. do produkcji energii w reaktorach jądrowych.**

Masa krytyczna jest pojęciem charakterystycznym dla dowolnego materiału rozszczepialnego. Po osiągnięciu masy krytycznej dochodzi do samopodtrzymującej się reakcji rozszczepienia. W zależności od typu izotopu oraz użycia (bądź nie) moderatora i reflektora neutronów, masy krytyczne mogą wahać się w przedziale od kilku do kilkuset kilogramów. Przykładowo paliwo w pracującym reaktorze jądrowym osiąga swoją masę krytyczną.

Klasyczny reaktor jądrowy składa się z elementów paliwowych, które zazwyczaj zawierają odpowiednią ilość uranu-235 przeznaczonego do reakcji rozszczepienia. Oprócz paliwa reaktor zawiera moderator, czyli **lekki materiał służący do spowalniania neutronów**. W większości przypadków moderatorem jest **woda**, ale można używać także **grafitu bądź berylu**. Ponadto we wnętrzu rdzenia reaktora znaleźć można elementy wykonane z materiału silnie pochłaniającego neutrony (np. związki boru czy kadmu), a służące do sterowania mocą reaktora. Są to m.in. pręty sterowania, bezpieczeństwa i kompensacyjne. Oprócz tego rdzeń reaktora otoczony jest reflektorem, który ma za zadanie odbicie części traconych neutronów z powrotem do rdzenia.

W wyniku reakcji rozszczepienia w reaktorze jądrowym generowane są znaczne ilości ciepła. Ciepło to odbierane jest przez czynnik roboczy, którym jest najczęściej woda. W wyniku podgrzania czynnik roboczy paruje i pod dużym ciśnieniem napędza turbinę generatora, dzięki czemu ciepło z reaktora zamieniane jest na energię elektryczną. Tak działa elektrownia jądrowa.

Reaktor jądrowy, z uwagi na wzbogacenie uranu oraz geometrię rdzenia, nie jest w stanie doprowadzić do wybuchu jądrowego. Wybuch jądrowy jest możliwy jedynie w bombie jądrowej.