

Podstawy fizyki – sezon 2

12. Elementy fizyki jądrowej

Agnieszka Obłąkowska-Mucha

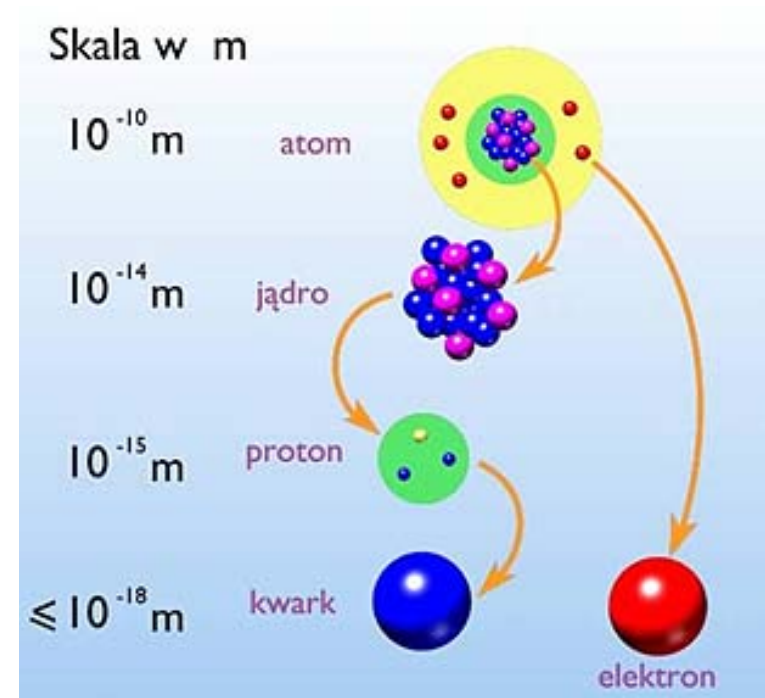
AGH, WFLiS, Katedra Oddziaływań i Detekcji Cząstek,
D11, pok. 111

amucha@agh.edu.pl

<http://home.agh.edu.pl/~amucha>

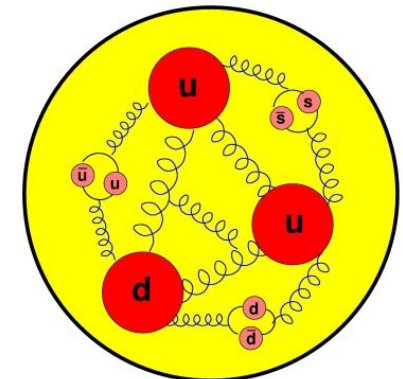
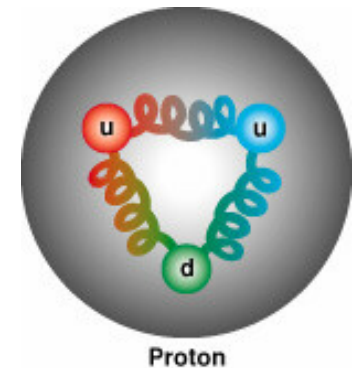
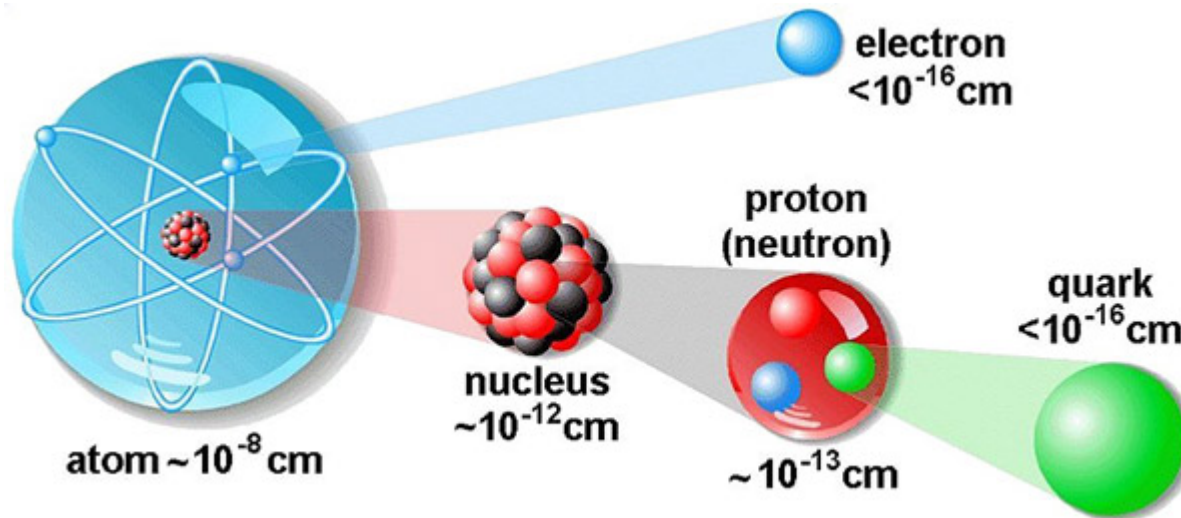
Budowa atomu

- ▶ Atom składa się z jądra atomowego i elektronów.
- ▶ Klasycznie – elektrony są utrzymywane na orbitach przez siłę Coulomba.
- ▶ Jądro atomowe ma ładunek dodatni
- ▶ Prawie cała masa atomu, to masa jądra.
- ▶ W jądrze są protony i neutrony (nukleony).



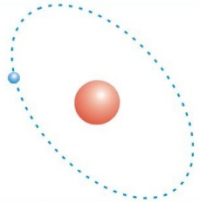

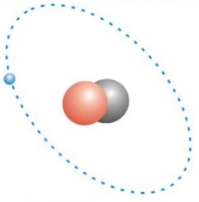

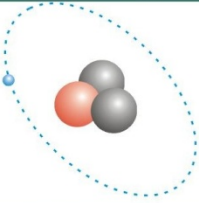
Nukleony

- ▶ Nukleony oddziałują za sobą poprzez **oddziaływania silne** (jądrowe).
- ▶ Nukleony zbudowane są z **kwarków** (np. uud).
- ▶ Nie ma bardziej elementarnego składnika materii niż kwarki.



Izotopy

- Izotopy – atomy tego samego pierwiastka (bo protonów i, co za tym idzie elektronów jest tyle samo), różniące się **liczbą neutronów**.

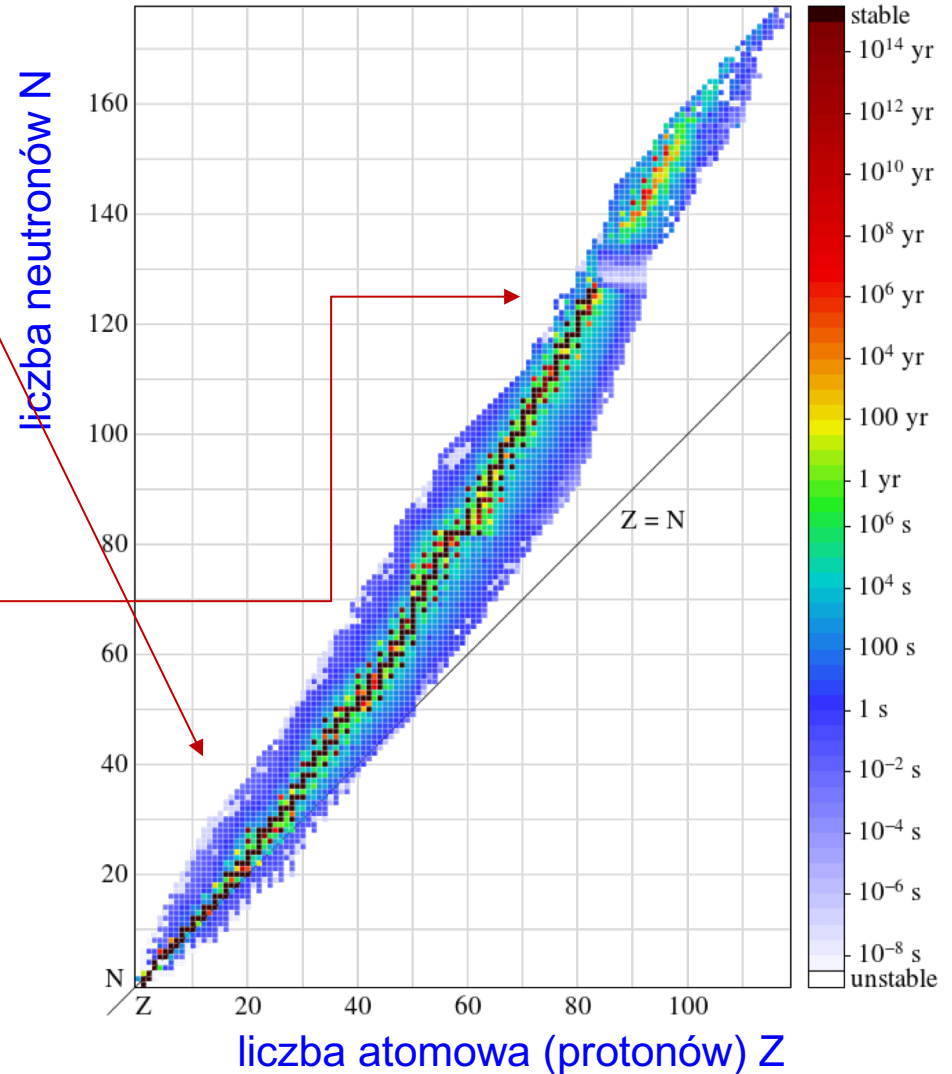
<i>izotopy wodoru</i>	<i>izotopy węgla</i>
${}^1_1\text{H}$ prot 	${}^{12}_6\text{C}$ 
${}^2_1\text{H}$ deuter 	${}^{14}_6\text{C}$ 
${}^3_1\text{H}$ tryt 	

liczba masowa (suma protonów i neutronów w jądrze atomu) ${}^3_1\text{H}$

liczba atomowa (liczba protonów w jądrze atomu) ${}^3_1\text{H}$

Ścieżka stabilności

- ▶ Dla lżejszych jąder korzystnie jest, jak liczba protonów jest taka sama, jak neutronów.
- ▶ Dla cięższych – protonów jest tak dużo, że aby zrównoważyć kulombowskie odpychanie, musi być więcej neutronów oddziałujących silnie.

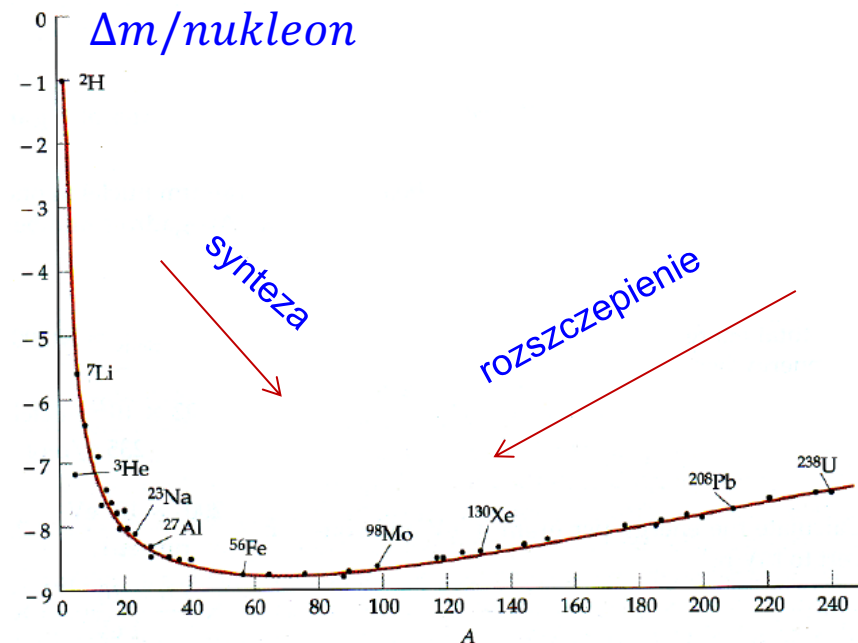


Energia wiązania

- ▶ Energią wiązania ΔE nukleonu nazywamy wielkość równą pracy potrzebnej na usunięcie danego nukleonu z jądra (bez nadania mu energii kinetycznej).
- ▶ Całkowita energia wiązania jądra jest określona jako praca potrzebna na rozłożenie jądra na jego składowe nukleony.
- ▶ ΔE - energia wiązania. Jak nukleony się łączą, całkowita masa zmniejsza się i energia wydziela się na zewnątrz.
- ▶ Masa jądra jest mniejsza niż masa jego składników o $\Delta E/c^2$.
- ▶ W celu rozdzielenia jądra na składniki należy dostarczyć energii do układu, aby wywołać zwiększenie się masy spoczynkowej.

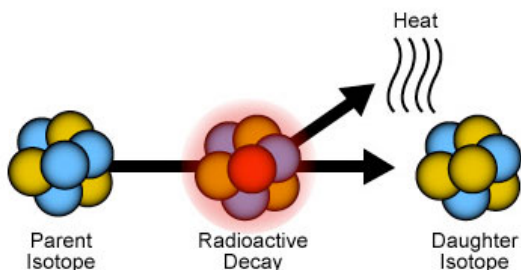
$$E_W = (Zm_p + Nm_n - M_A)c^2$$

Δm – defekt masy

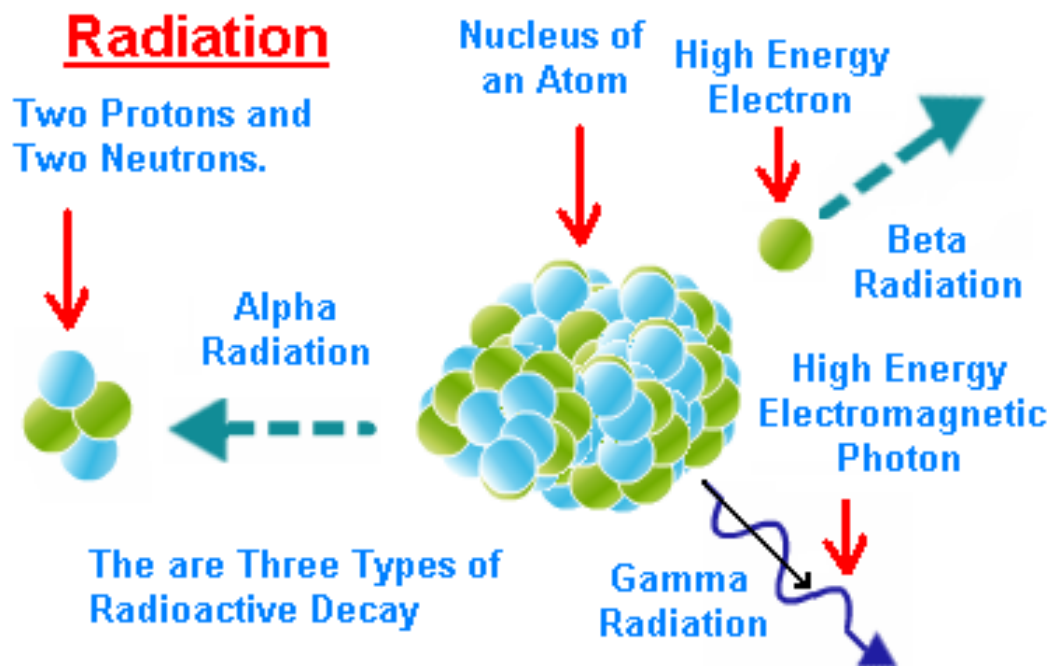


Rozpady promieniotwórcze

- ▶ Jądro może rozpaść się spontanicznie lub poprzez wymuszenie



- ▶ Rozpad następuje, gdy jest to korzystne energetycznie.
- ▶ W wyniku rozpadu emitowane jest promieniowanie:
 - **alfa** (jądra helu)
 - **beta** (elektrony lub pozytony)
 - **gamma** (fotony)



Rozpady promieniotwórcze (samoistne)

- ▶ Rozpad ma charakter statystyczny – nie można przewidzieć, kiedy rozpadnie się konkretne jądro. Można jedynie powiedzieć, że prawdopodobieństwo rozpadu dla danego jądra jest takie samo.

- ▶ Szybkość rozpadu jądra $-\frac{dN}{dt}$ jest proporcjonalna do liczby jąder N :

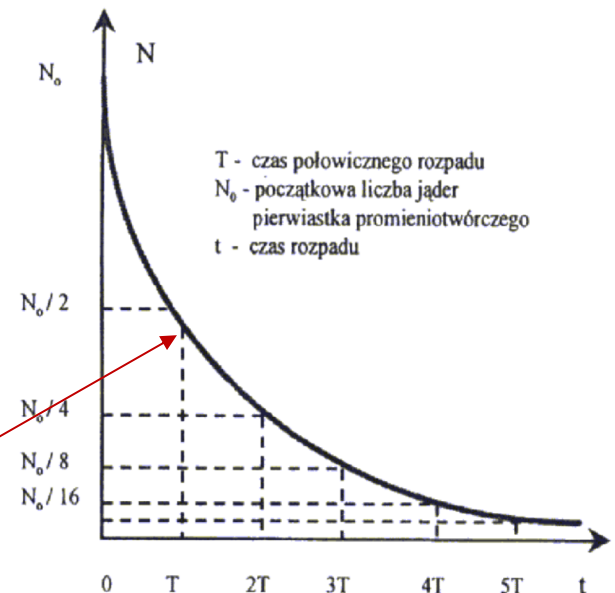
$$-\frac{dN}{dt} = \lambda N$$

stała rozpadu λ

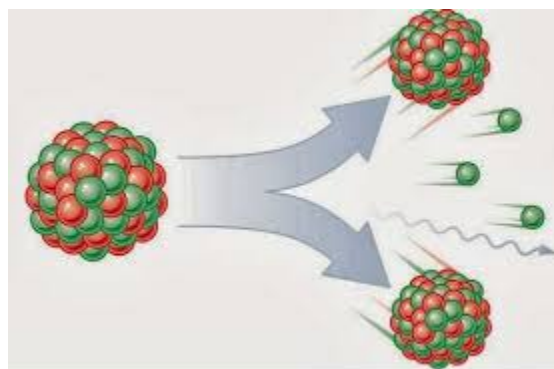
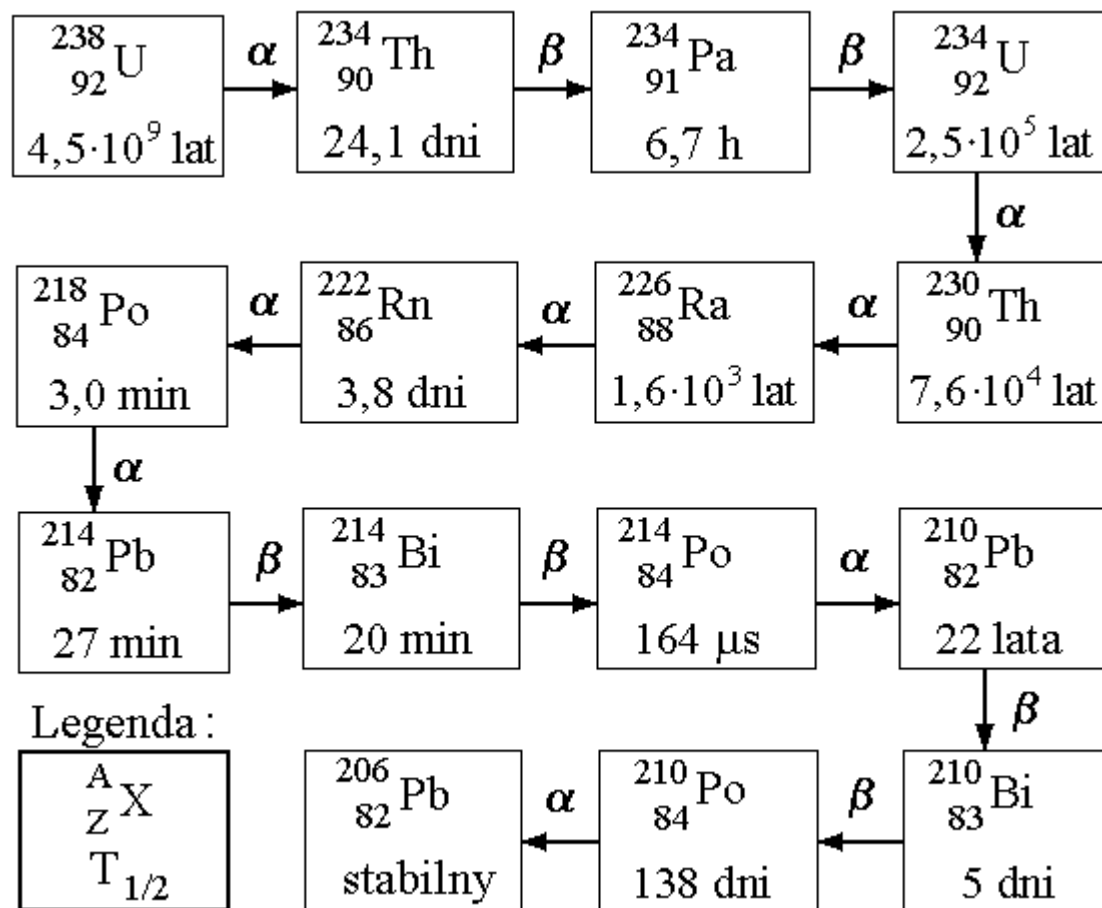
- ▶ Rozwiązując to równanie dostaniemy liczbę jąder, które nie uległy rozpadowi (pozostały w próbce):

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

- ▶ Czas połowicznego rozpadu – czas, po którym liczba jąder spadnie o połowę
- ▶ Średni czas życia τ – czas, po którym liczba jąder będzie e razy mniejsza od początkowej



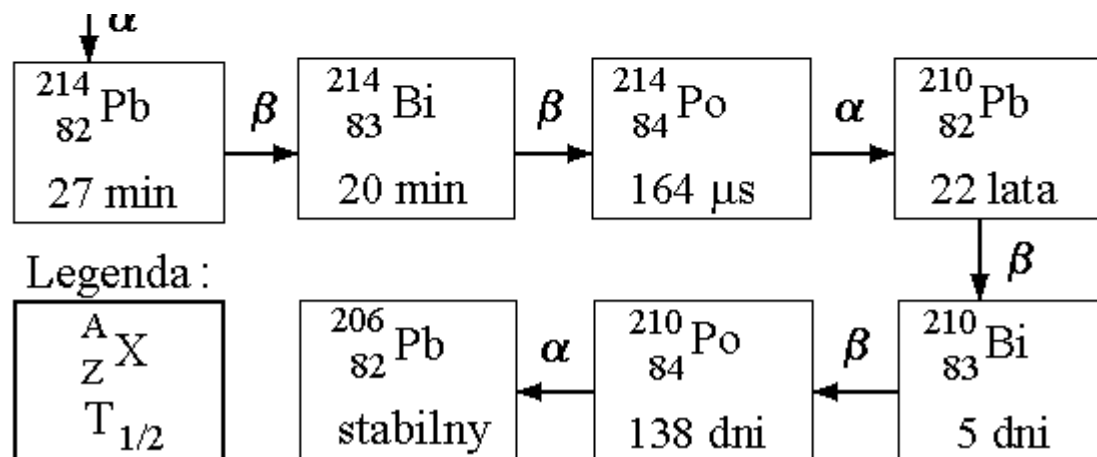
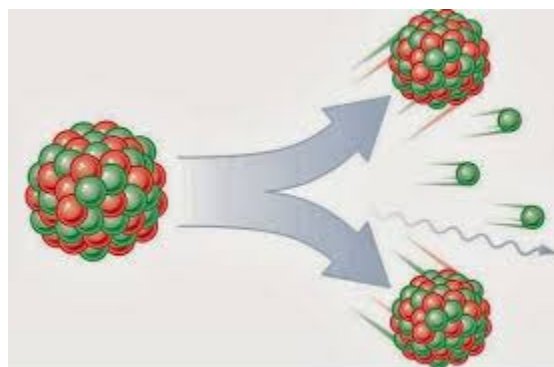
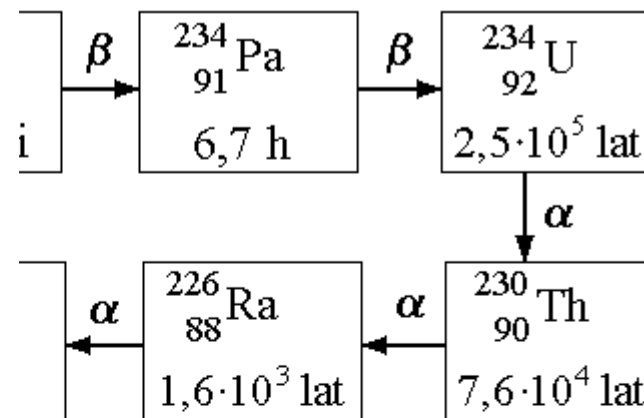
Rozpady – szeregi promieniotwórcze



Rozpady – szeregi promieniotwórcze

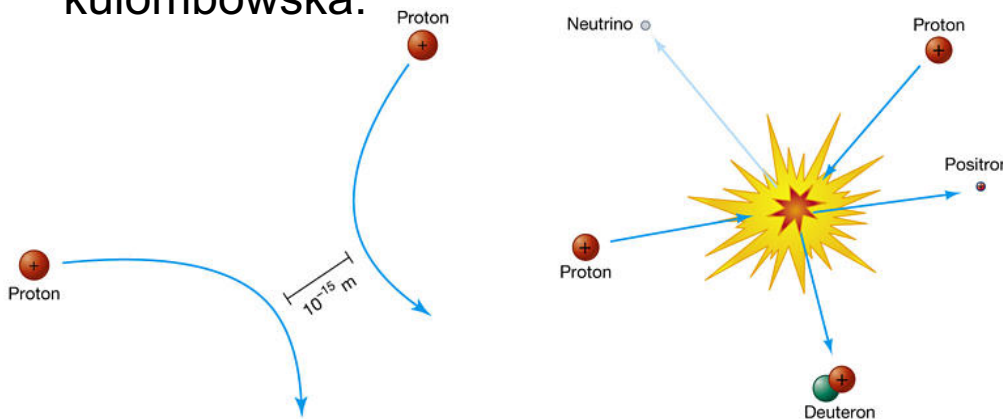
m	Nazwa szeregu	Izotop rozpoczynający dany szereg i okres jego połowicznego rozpadu	Końcowy produkt
0	Torowy	${}_{90}^{232}\text{Th}$ $1,4 \cdot 10^{10}$	${}_{82}^{208}\text{Pb}$
1	Neptunowy	${}_{93}^{237}\text{Np}$ $2,2 \cdot 10^6$	${}_{83}^{209}\text{Bi}$
2	Uranowy	${}_{92}^{238}\text{U}$ $4,5 \cdot 10^9$	${}_{82}^{206}\text{Pb}$
3	Aktynowy	${}_{92}^{235}\text{U}$ $7,1 \cdot 10^8$	${}_{82}^{207}\text{Pb}$

$A = 4n + m$: Liczba masowa izotopów promieniotwórczych

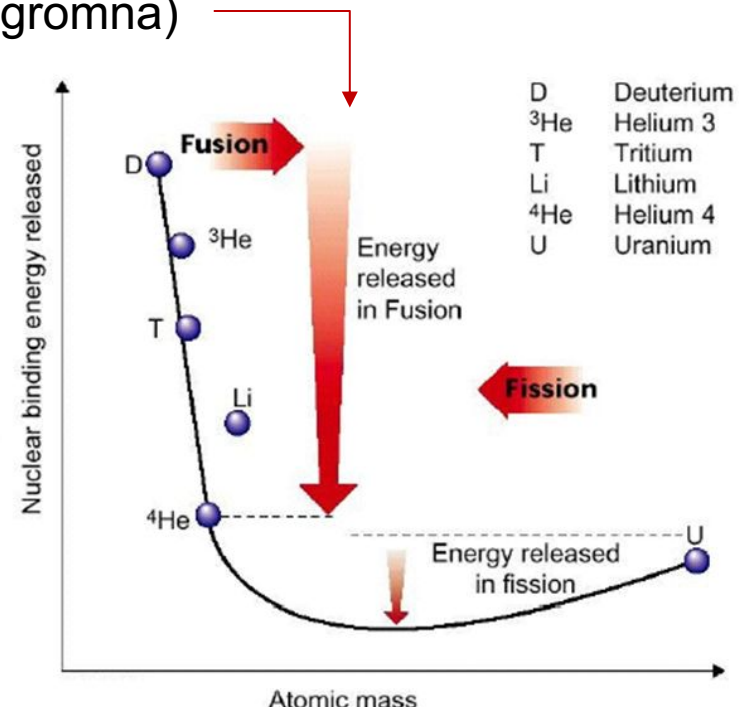


Reakcja syntezy

- ▶ Synteza jądrowa jest to proces polegający na połączeniu dwóch lekkich jąder w cięższe.
- ▶ W wyniku syntezy wyzwolona jest energia (ogromna)
- ▶ Syntezę jest trudno wywołać, gdyż jądra odpychają się kulombowsko (jądra trudno jest zbliżyć) – bariera kulombowska.



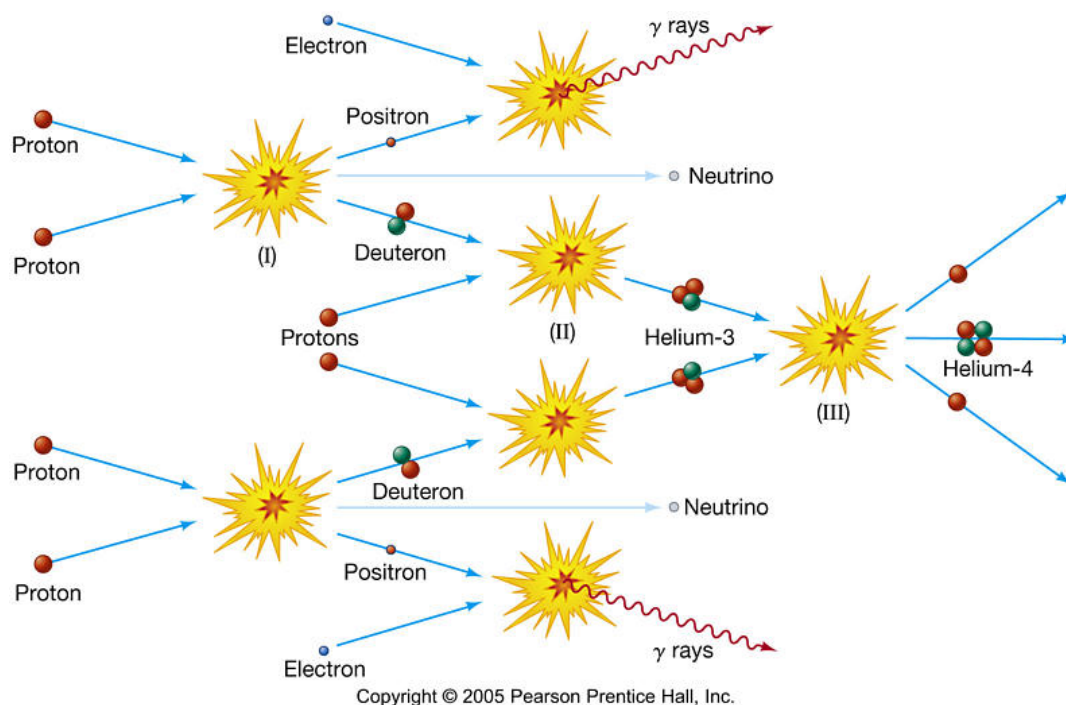
Copyright © 2005 Pearson Prentice Hall, Inc.



- ▶ Bariere (>400 keV) można pokonać ogrzewając próbkę i podnosząc ciśnienie

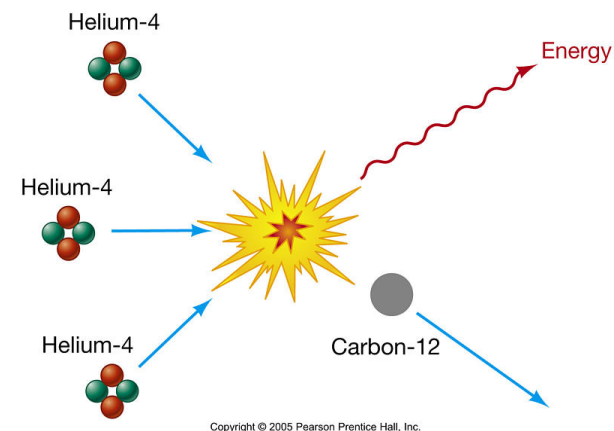
Synteza termojądrowa na Słońcu

- ▶ Cykl protonowo-protonowy – wytwarzanie energii we wnętrzu Słońca.
- ▶ Prawd-two tego procesu to ok. 10^{-26} , ale ogromna liczba protonów daje stałą, powolną produkcję energii we wnętrzu Słońca.



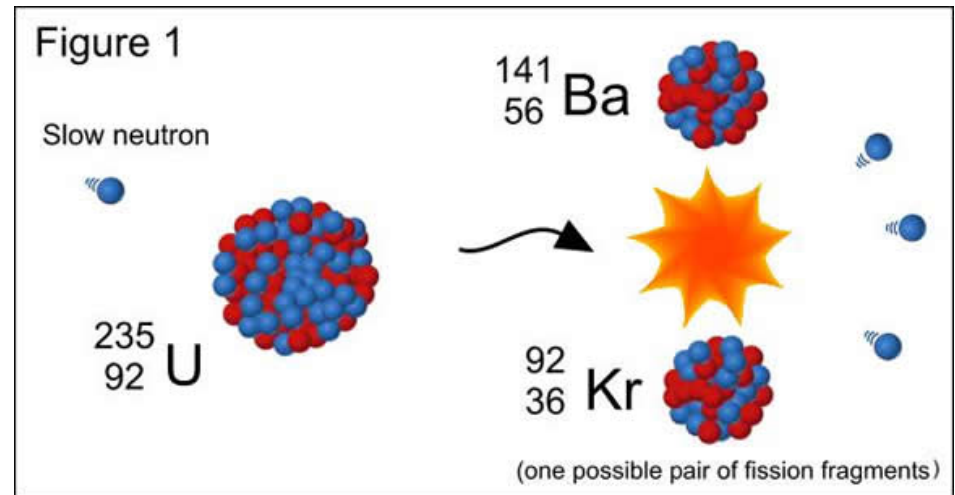
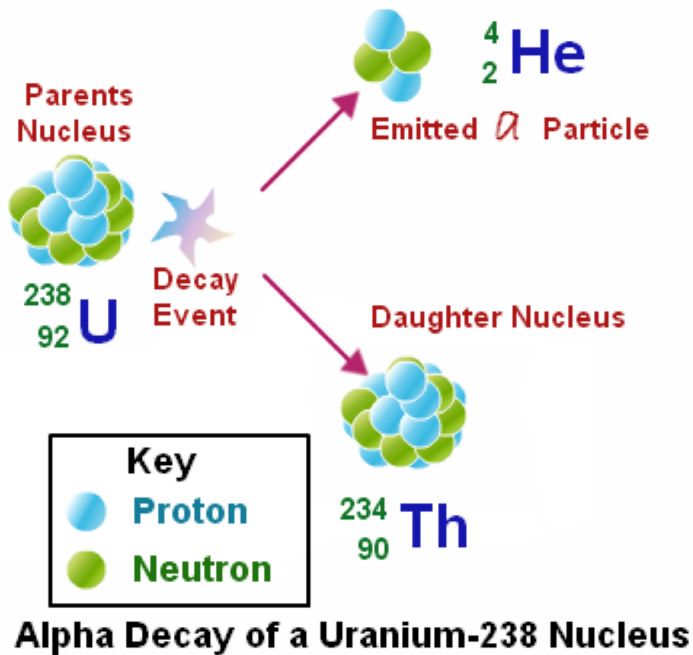
- ▶ Energia ta jest stopniowo wypromieniowana w postaci fal elektromagnetycznych

Przy wysokich temperaturach 10^8K - spalanie helu do węgla...



Rozpady uranu

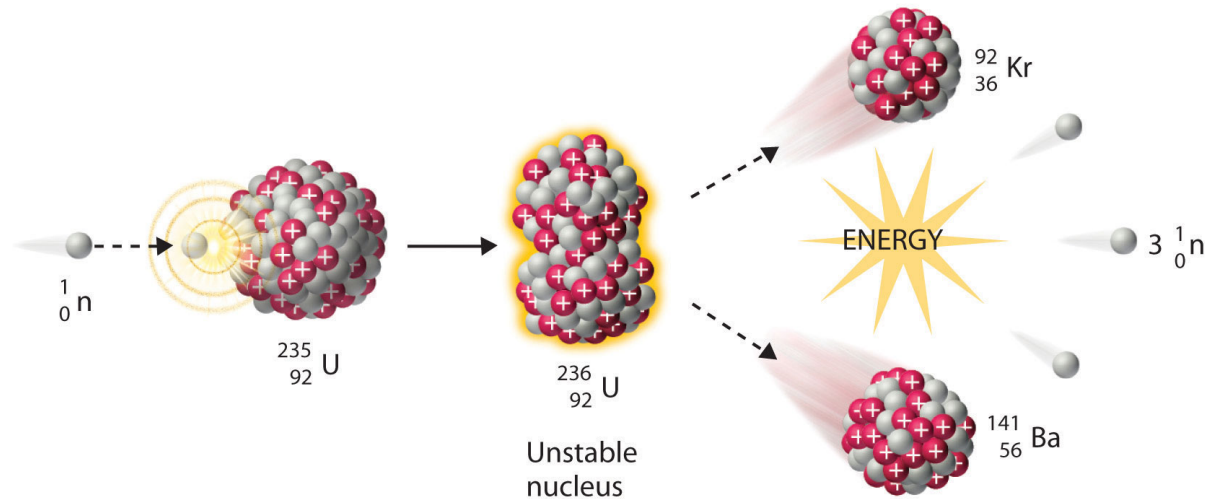
- ▶ Uran i jego izotopy mogą rozpadadać się spontanicznie lub pod wpływem np. oddziaływania z neutronem (rozszczerpiecie) - 1939.



Rozszczepienie jednego atomu uranu 235 uwalnia energię ok. 200 MeV. Jest to 20 milionów razy więcej niż spalanie jednego atomu węgla w elektrowni węglowej

Rozpady wymuszone

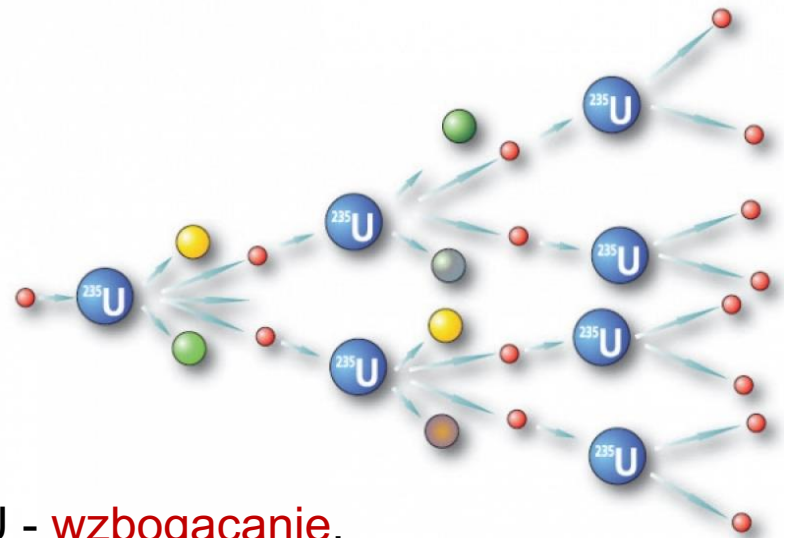
- ▶ 1935-38 – E.Fermi, **Lise Meitner**, O.Hahn, F. Strassmann – bombardowanie neutronami ciężkich izotopów powoduje powstanie nowych izotopów.



- ▶ **Rozszczepienie** – jądro uranu absorbując **neutron termiczny** dzieli się na prawie równe inne jądra, uwalniając przy tym energię.
- ▶ Powstałe izotopy mają zbyt dużo neutronów – emitują je i stają się bardziej trwałe.
- ▶ 1939 – Fermi emigruje do USA, gdzie kieruje programem budowy pierwszego reaktora

Reakcja łańcuchowa

- ▶ W wyniku rozszczepienia emitowane są neutrony, które mogą zainicjować kolejne rozszczepienie. Są to neutrony o wysokich energiach (tzw. **prędkie neutrony**)
- ▶ **Reakcja łańcuchowa** (jedno rozszczepienie inicjuje dokładnie jedno następne rozszczepienie) powstanie, gdy:
 - neutrony nie zostaną pochłonięte, ani nie uciekną z próbki,
 - jest odpowiednie pr-two (przekrój czynny) na absorpcję (wychwyty) neutronu. Zazwyczaj jedynie neutrony o bardzo niskich energiach (**neutrony termiczne**) mogą zostać wychwycone przez materiał rozszczepialny. Szybkie neutrony należy spowolnić.
- ▶ Reakcja łańcuchowa przebiegnie w sposób **lawinowy** (niekontrolowany), gdy jedno rozszczepienie wywoła więcej niż jedno następne rozszczepienie.
- ▶ Najprostszym sposobem wywołania reakcji łańcuchowej jest dostarczenie materiału w ilości przekraczającej **masę krytyczną**.
- ▶ **Masa krytyczna** dla materiału w kształcie kuli wynosi: 52kg dla ^{235}U , 10kg dla Pu.
 - ▶ W uranie naturalnym jest 0.7% Uranu ^{235}U - **wzbogacanie**.

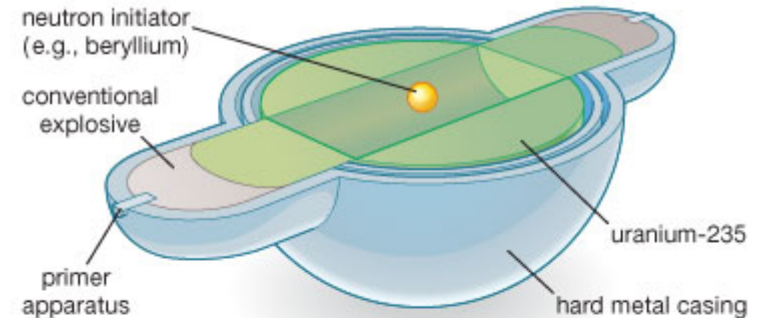


Projekt Manhattan

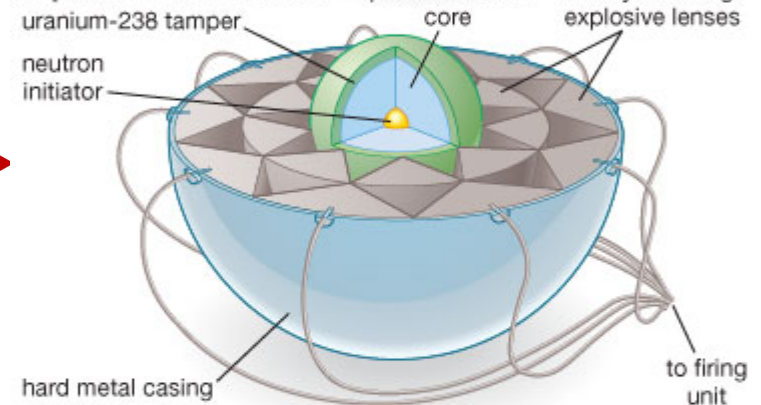
- ▶ 1941 - Enrico Fermi – stos atomowy w Chicago, 2 grudnia 1942 r. – pierwsza reakcja łańcuchowa – projekt Manhattan (R. Openheimer)
- ▶ lipiec 1945 – pierwsza bomba atomowa na pustyni w stanie Nowy Meksyk.



gun-assembly fission bomb



implosion fission bomb



Projekt Manhattan

- ▶ 1941 - Enrico Fermi – stos atomowy w Chicago, 2 grudnia 1942 r. – pierwsza reakcja łańcuchowa – projekt Manhattan
- ▶ lipiec 1945 – pierwsza bomba atomowa na pustyni w stanie Nowy Meksyk.
- ▶ 130 tys ludzi w dwa lata rozwinęło technologię produkcji wzbogaconego uranu, koszt (obecnie 24 mld \$)
- ▶ 6 sierpnia - Hiroszima, Nagasaki (200 tys ludzi zginęło, drugie tyle rannych i trzecie tyle napromieniowanych)



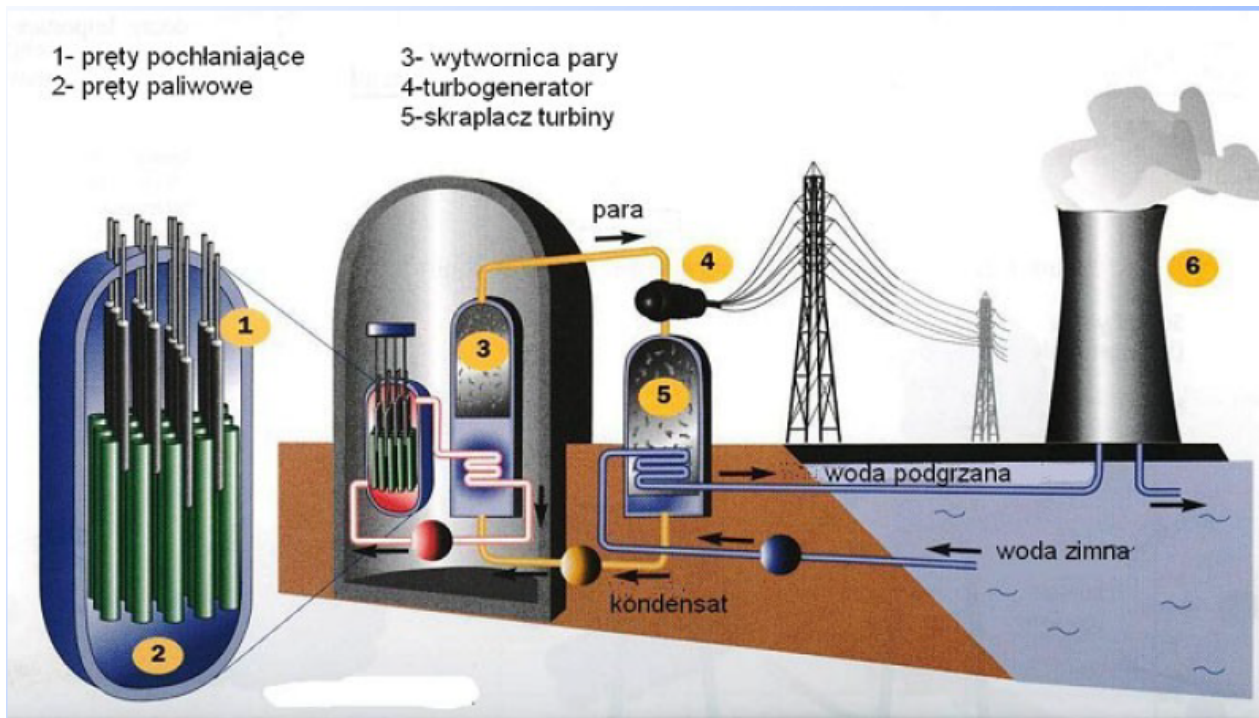
„Little Boy” – 64 kg uranu,
0.8 kg ^{235}U

- ▶ 1.11.1952 – Pacyfik – bomba wodorowa 500 razy większa

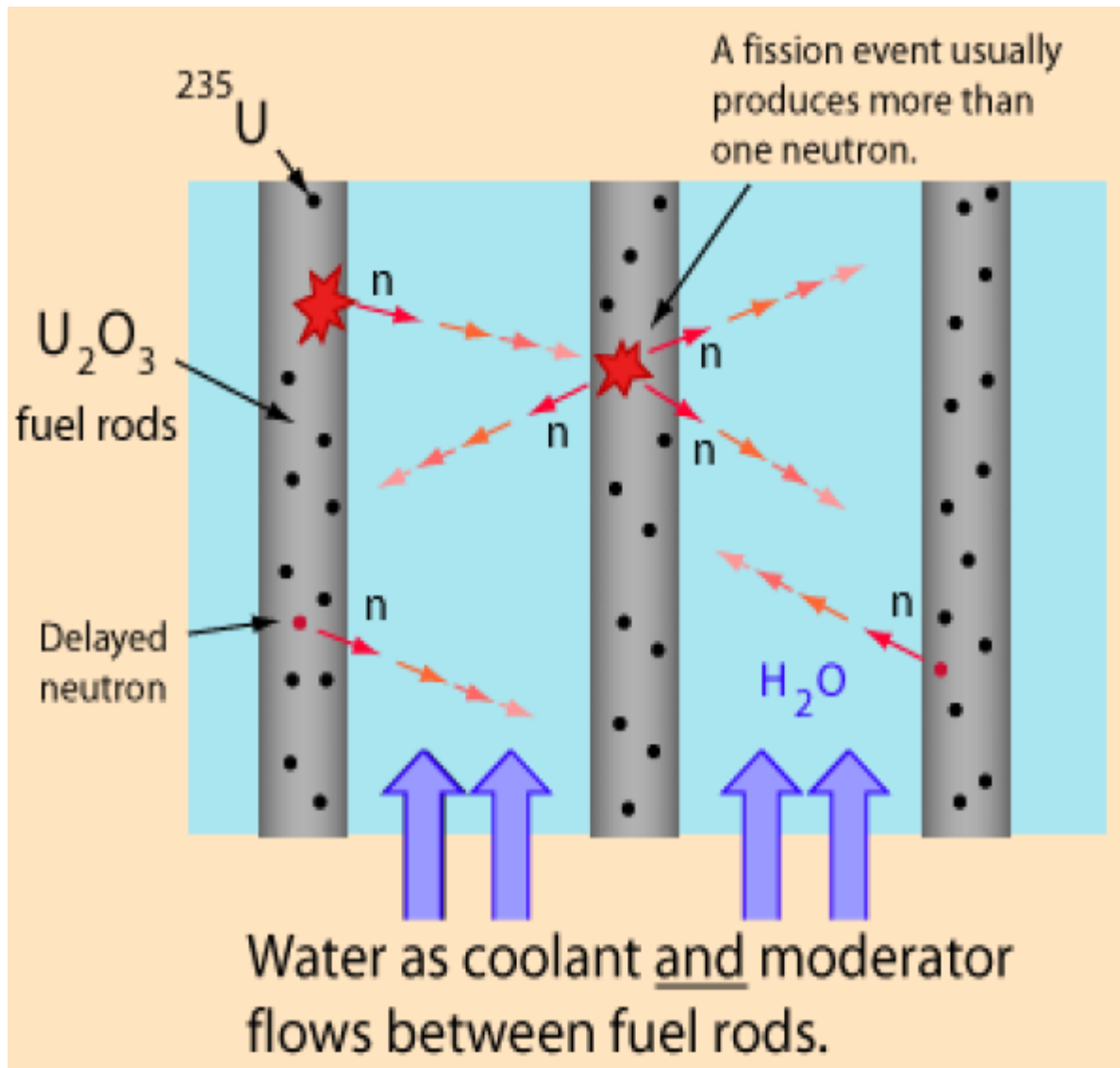


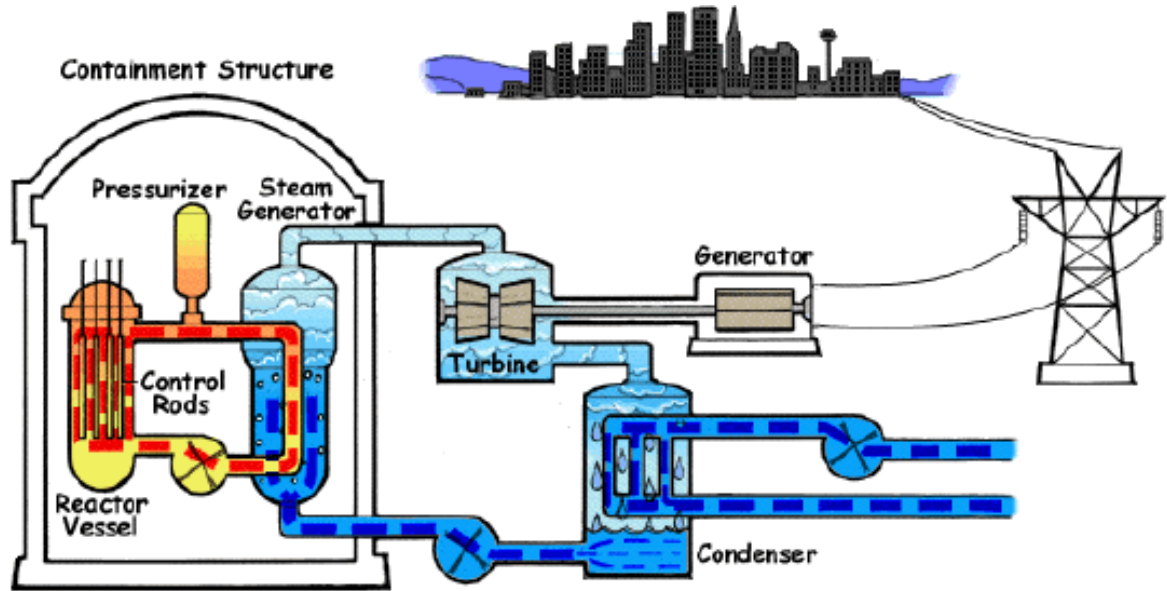
Reaktory jądrowe

- ▶ Pierwszy stos Fermiego – pierwszy reaktor.
- ▶ Problem polega na utrzymaniu reakcji jądrowej pod kontrolą.

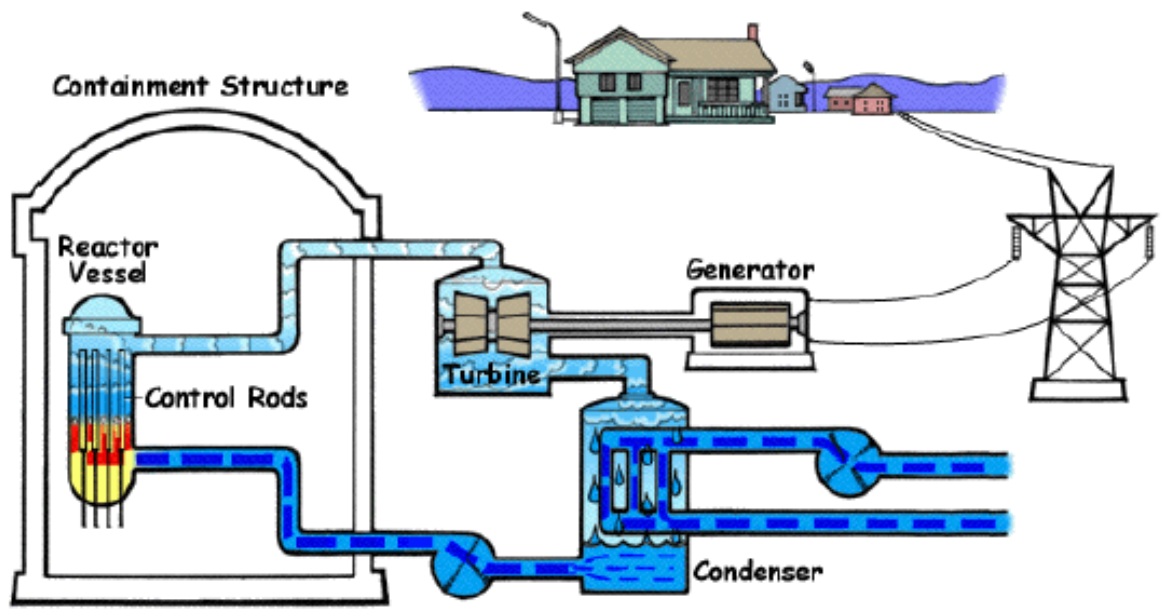


Zasada działania elektrowni





PWR



BWR

Reaktor typu PHWR (CANDU)

