



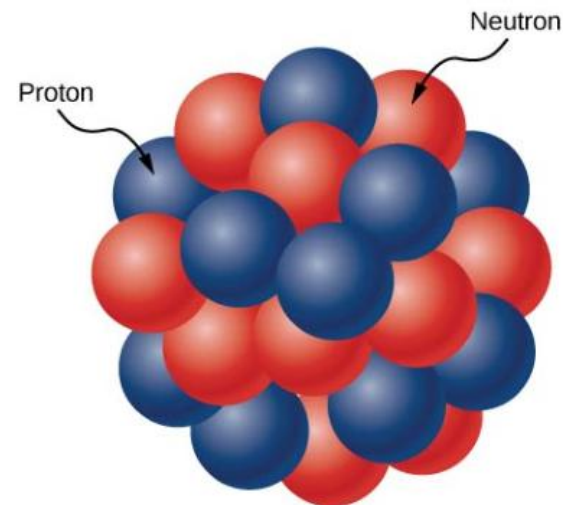
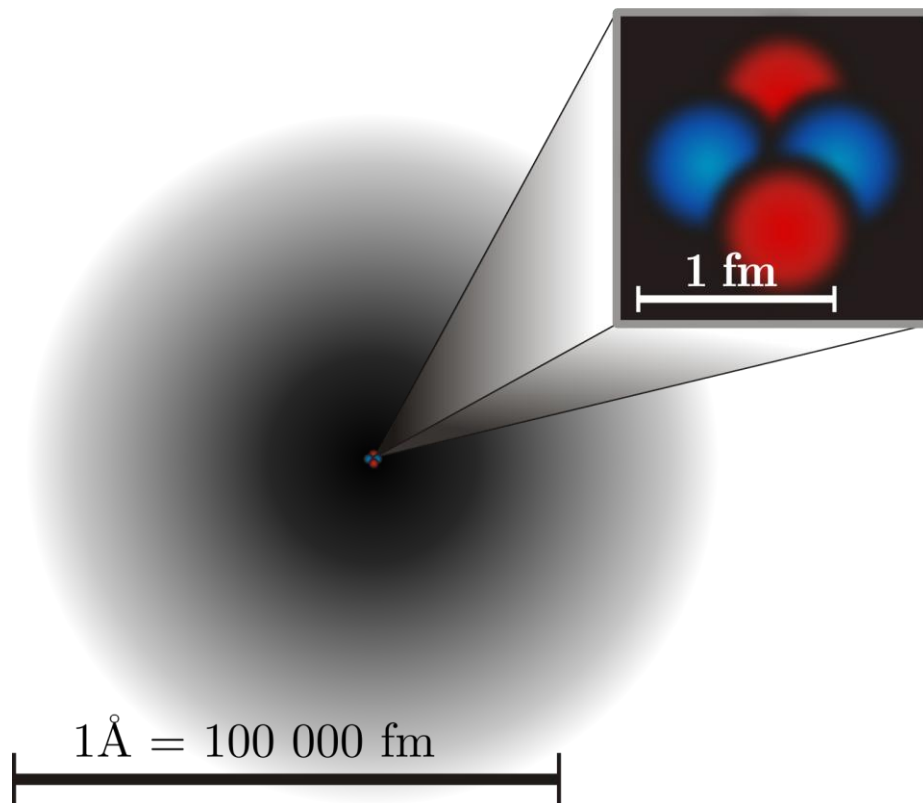
# FIZYKA Z ELEMENTAMI FIZYKI RADIACYJNEJ II | WYKŁAD 7

**Fizyka jądrowa**

dr inż. Katarzyna Gwóźdź

# Jądro atomowe

Atom helu:



- Chmura elektronowa wokół jądra (orbital 1s)
- Jądro atomowe pokazane schematycznie; jest sferycznie symetryczne (stan jądrowy 1s).
- Maksimum prawdopodobieństwa dla każdego nukleonu wypada dokładnie w samym środku jądra.
- Większe atomowo jądra mają inną strukturę

# Liczba nukleonów

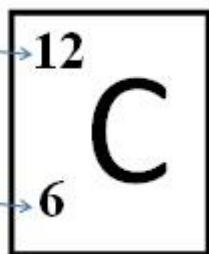
Liczba masowa – ilość nukleonów w jądrze (definiuje izotop)

Liczba atomowa – liczba protonów w jądrze (elektronów) (definiuje pierwiastek)

Masa atomowa – masa atomu w unitach [u]

Elektroujemność - miara tendencji do przyciągania elektronów przez atomy danego pierwiastka

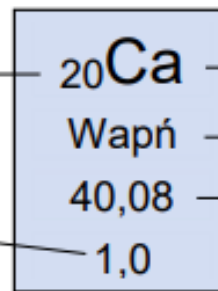
Liczba masowa



Liczba atomowa

Liczba atomowa  
(liczba porządkowa)

Elektroujemność  
w skali Paulinga



Symbol pierwiastka

Nazwa

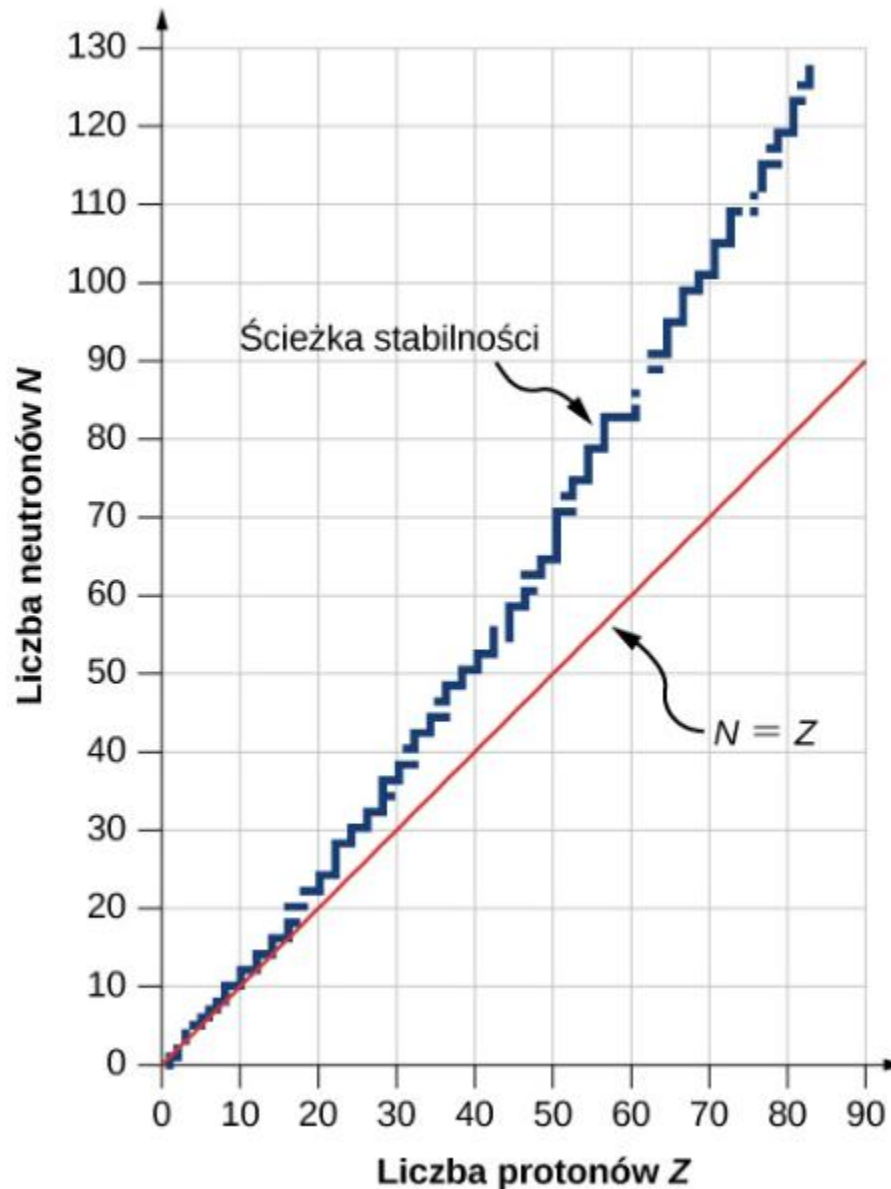
Masa atomowa, u

<https://bunny-wp-pullzone-rptkimlyno.b-cdn.net/wp-content/uploads/2022/06/image-1.png>

# Stabilność jądra

Jądra stabilne – nie rozpadają się  
Jądra niestabilne - Jądro dąży do osiągnięcia stabilności (niższego stanu energetycznego)

Okres połowicznego rozpadu -  
czas, w którym liczba nietrwałych jąder atomowych zmniejsza się o połowę w stosunku do ich początkowej ilości.

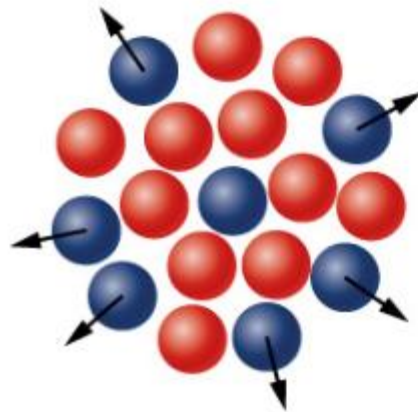




# Siły w jądrze atomowym

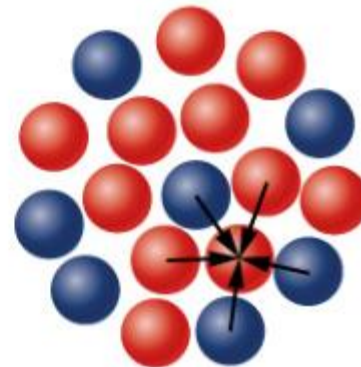
1. Siły Culombowskie między protonami - odpychające
2. Oddziaływania silne między nukleonami - przyciągające

Odpychanie pomiędzy odległymi protonami



(a)

Przyciąganie pomiędzy sąsiadującymi nukleonami

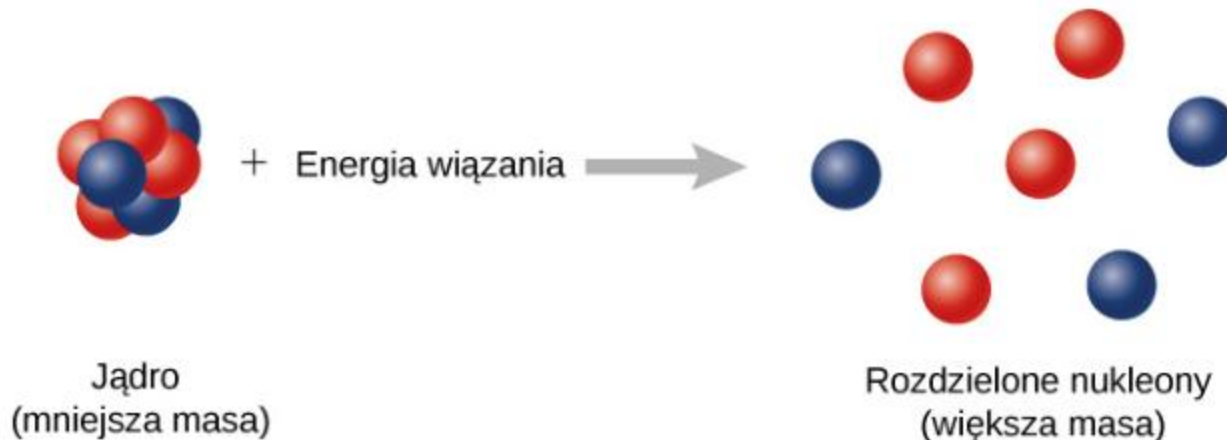


(b)

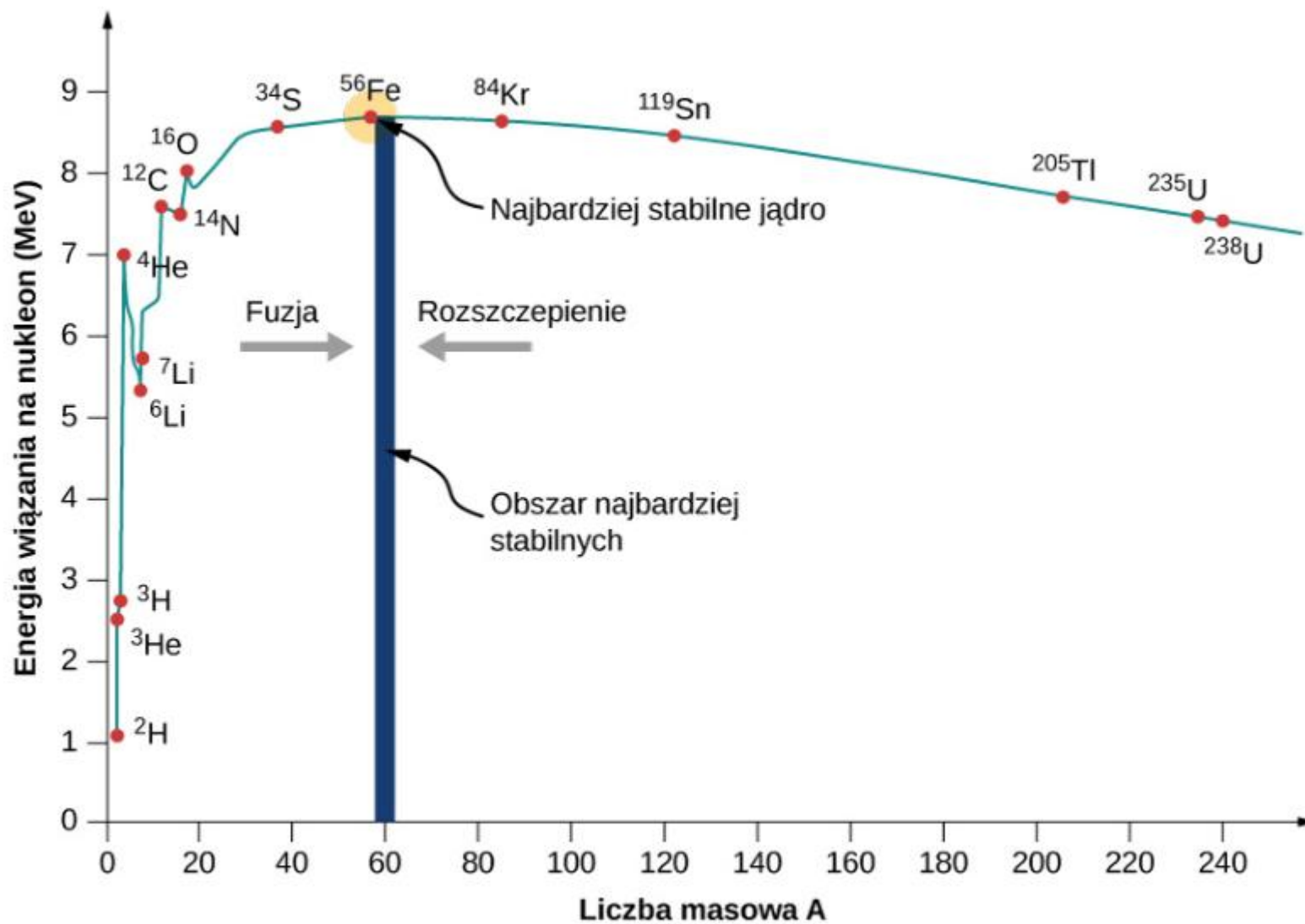
# Energia wiązania

Energia wiązania jest równa ilości energii uwalnianej w procesie tworzenia jądra i wyraża się równaniem:

$$E = \Delta mc^2$$



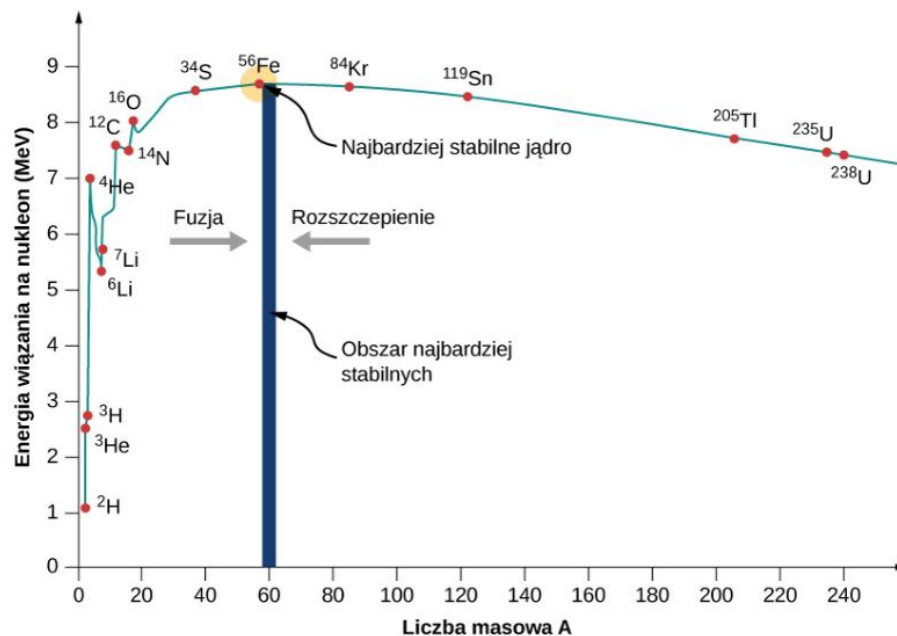
# Energia wiązania



# Energia wiązania

Kilka uwag:

- EWN  $\sim 6-10$  MeV – energia potrzebna do oderwania nukleonu z jądra
- $\sim 13,6$  eV – energia potrzebna do oderwania elektronu z atomu wodoru
- Max EWN dla żelaza – najstabilniejsze jądro w przyrodzie
- Dla małych  $A$  przeważają oddziaływania silne, dla dużych  $A$  siły Columbowskie



# Rozpad promieniotwórczy

Zachodzi, gdy pojedyncze jądro przekształca się w inne emitując promieniowanie. Szybkość rozpadu zależy od ilości jąder.

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

$N$  – liczba jąder

$\lambda$  – stała rozpadu

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

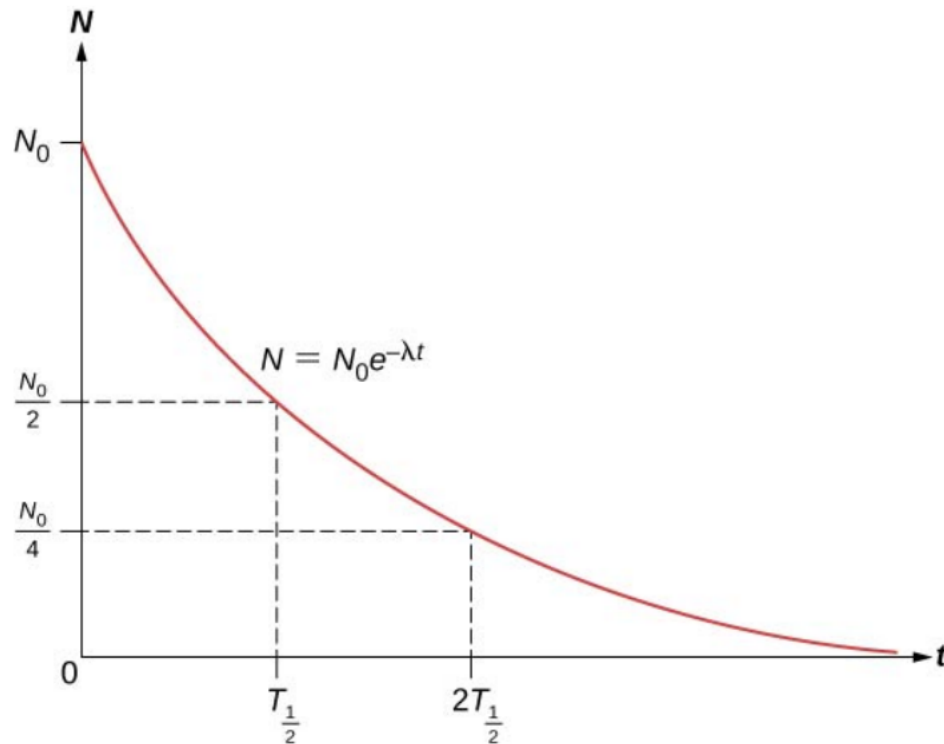
$$\int_{N_0}^N \frac{dN'}{N'} = - \int_0^t \lambda dt'$$

$$\ln \frac{N}{N_0} = -\lambda t$$

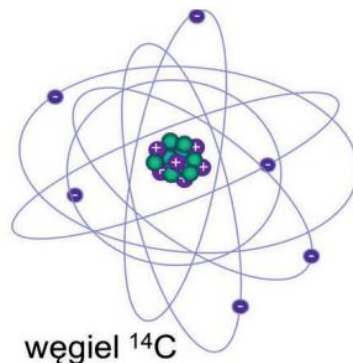
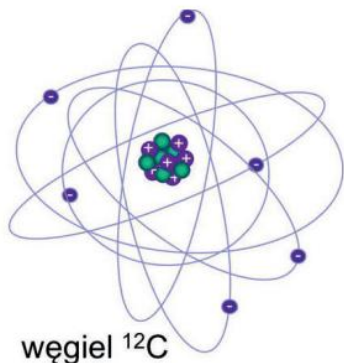
$$N = N_0 \exp(-\lambda t)$$

# Rozpad promieniotwórczy

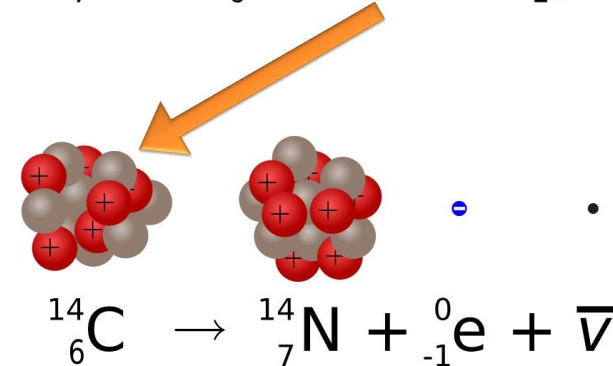
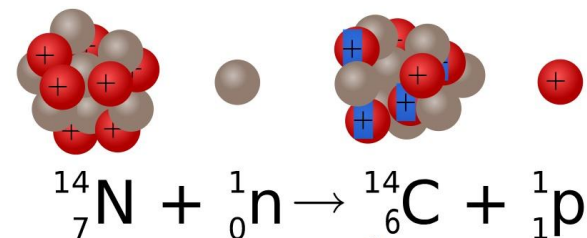
$$N = N_0 \exp(-\lambda t)$$



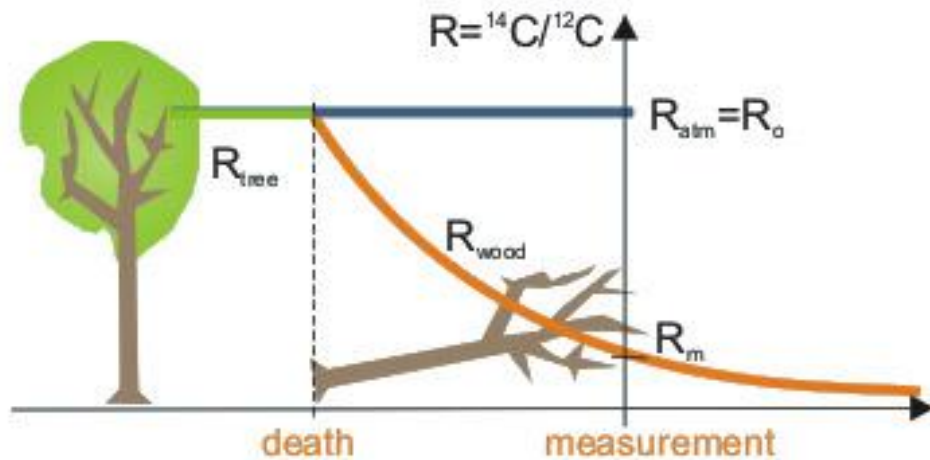
# Datowanie węglem



<https://www.zielonyatom.pl/chcesz-miec-w-sobie-wegiel-14-to-nic-nie-musisz-robic/>



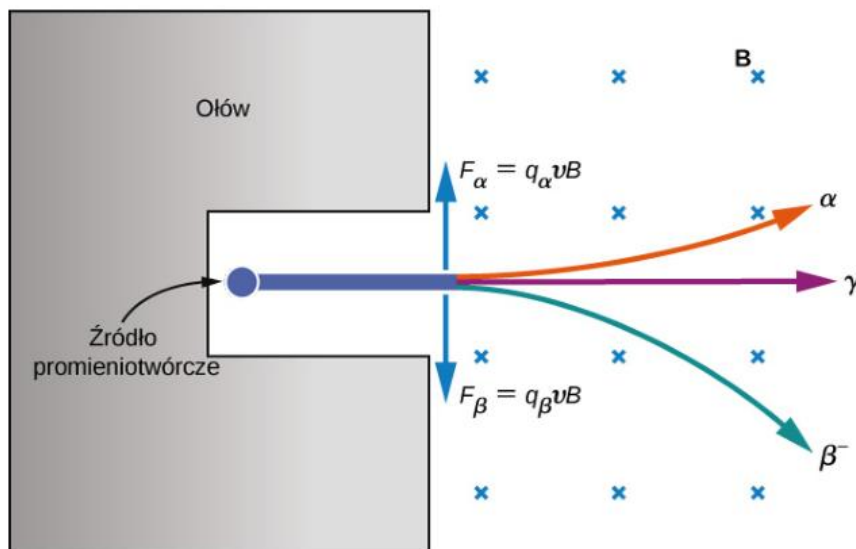
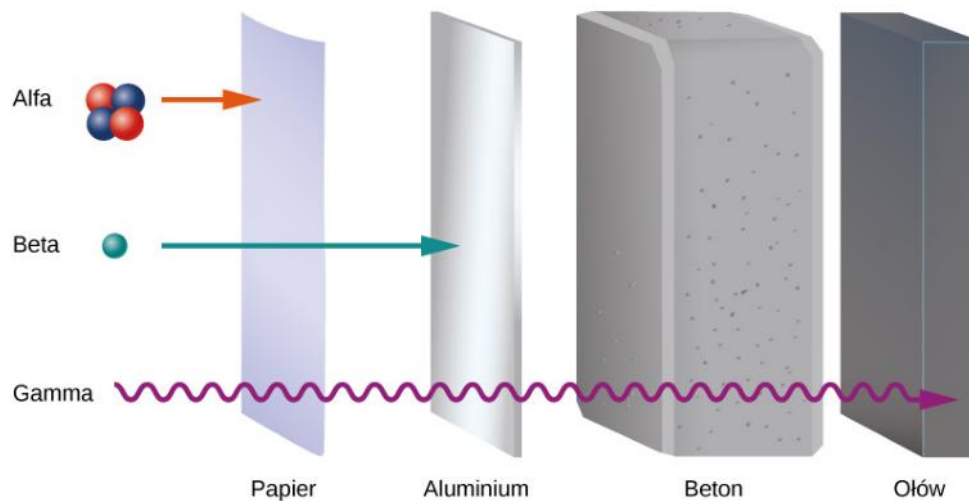
[https://koza.if.uj.edu.pl/files/d4f25be9c5671a186df90500fc9485c3/01%20Metoda\\_C14.pdf](https://koza.if.uj.edu.pl/files/d4f25be9c5671a186df90500fc9485c3/01%20Metoda_C14.pdf)



$$T_{1/2} = 5730 \text{ lat}$$

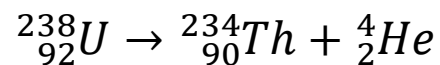
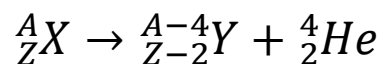
<https://radiocarbon.pl/datowanie-radiowęglowe/>

# Procesy rozpadu



# Rozpad alfa

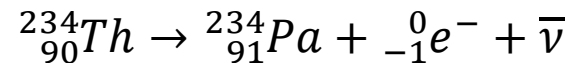
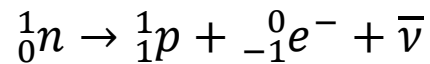
Jądro atomowe traci dwa protony i dwa neutrony emitując jądro Helu.



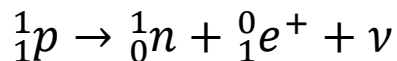
# Rozpad beta

Emitowane są cząstki  $\beta^-$  - elektron albo  $\beta^+$  - pozyton. Neutron zamienia się w proton (albo odwrotnie). Ze względu na zasadę zachowania ładunku, musi powstać elektron (albo pozyton). Ze względu na zasadę zachowania energii, musi zostać wyemitowane antyneutrino (albo neutrino).

Rozpad  $\beta^-$ :

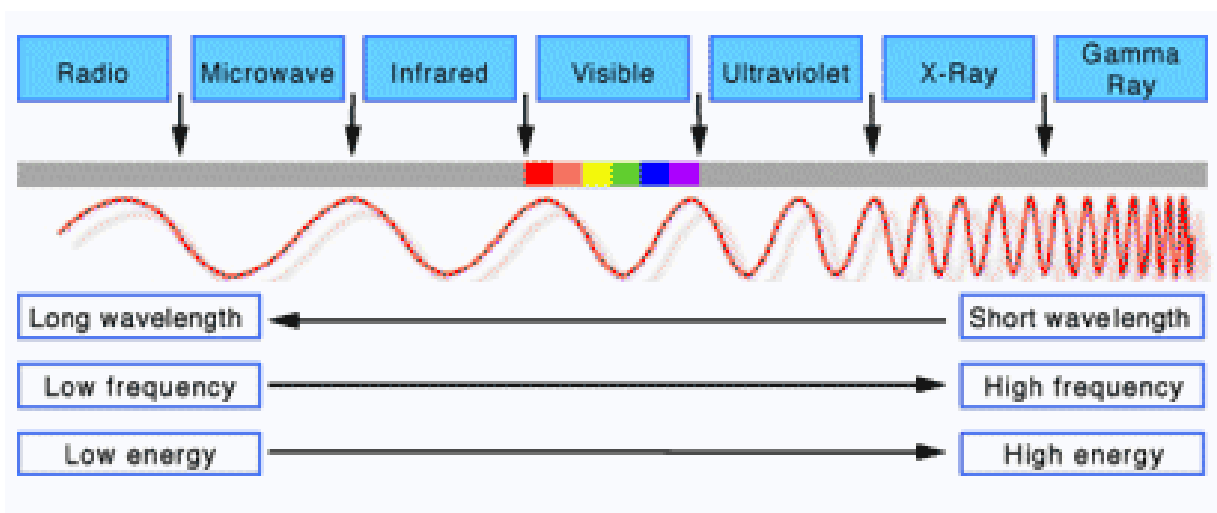
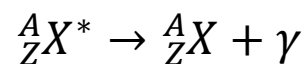


Rozpad  $\beta^+$ :

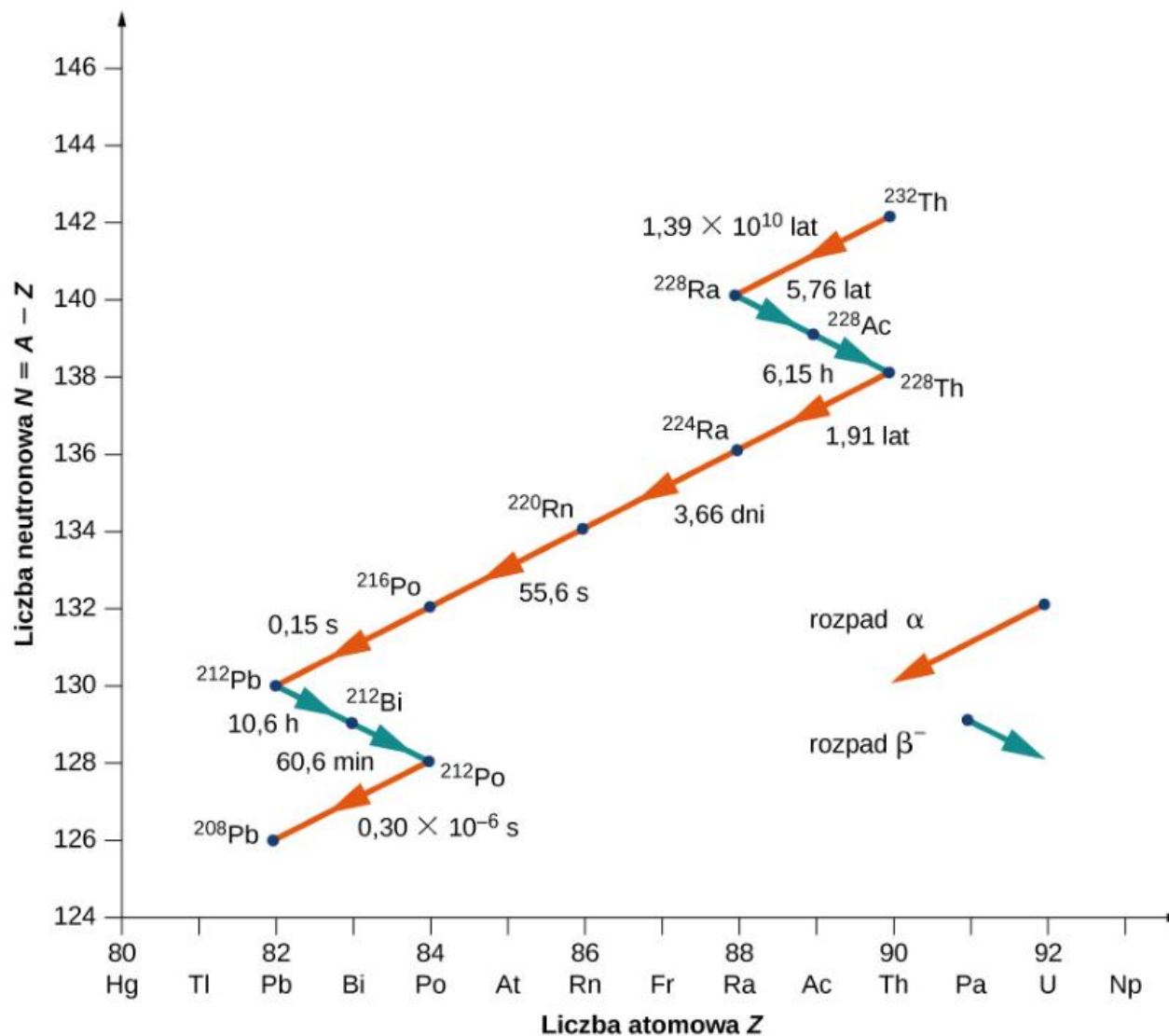


# Rozpad gamma

Jądro w stanie wzbudzonym może przejść do stanu o niższej energii przez emisję fotonów promieniowania gamma. Wzbudzenie następuje po emisji promieniowania alfa lub beta, gdy w jądro jest niestabilne energetycznie.

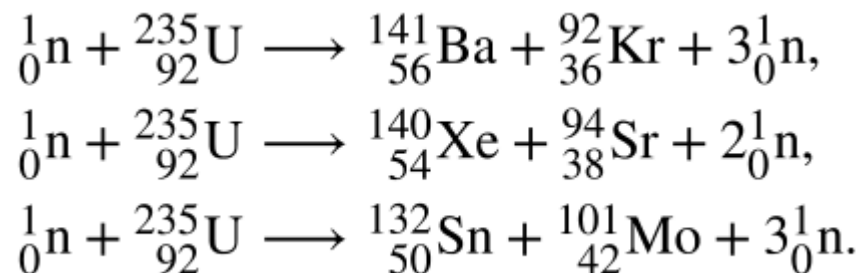


# Szereg promieniotwórczy



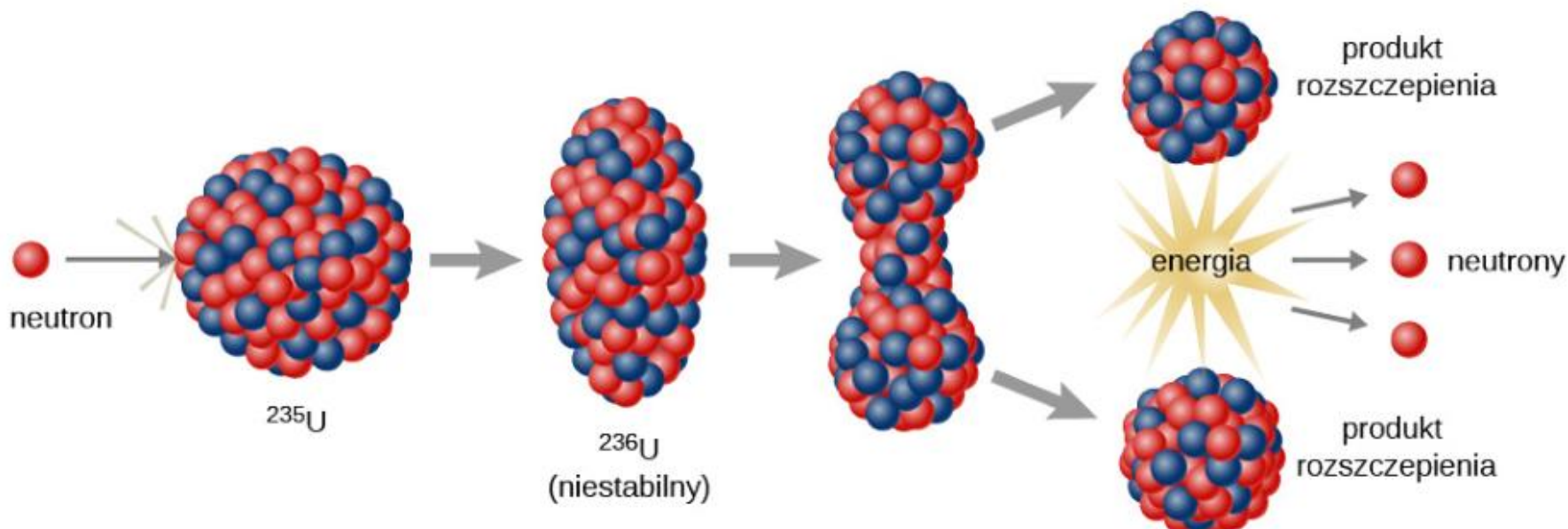
# Rozczepienie jądra atomowego

Podział ciężkiego jądra atomowego (np. Uranu-235 lub Plutonu-239) na dwa lżejsze fragmenty (tzw. fragmenty rozszczepienia) o zbliżonych masach.

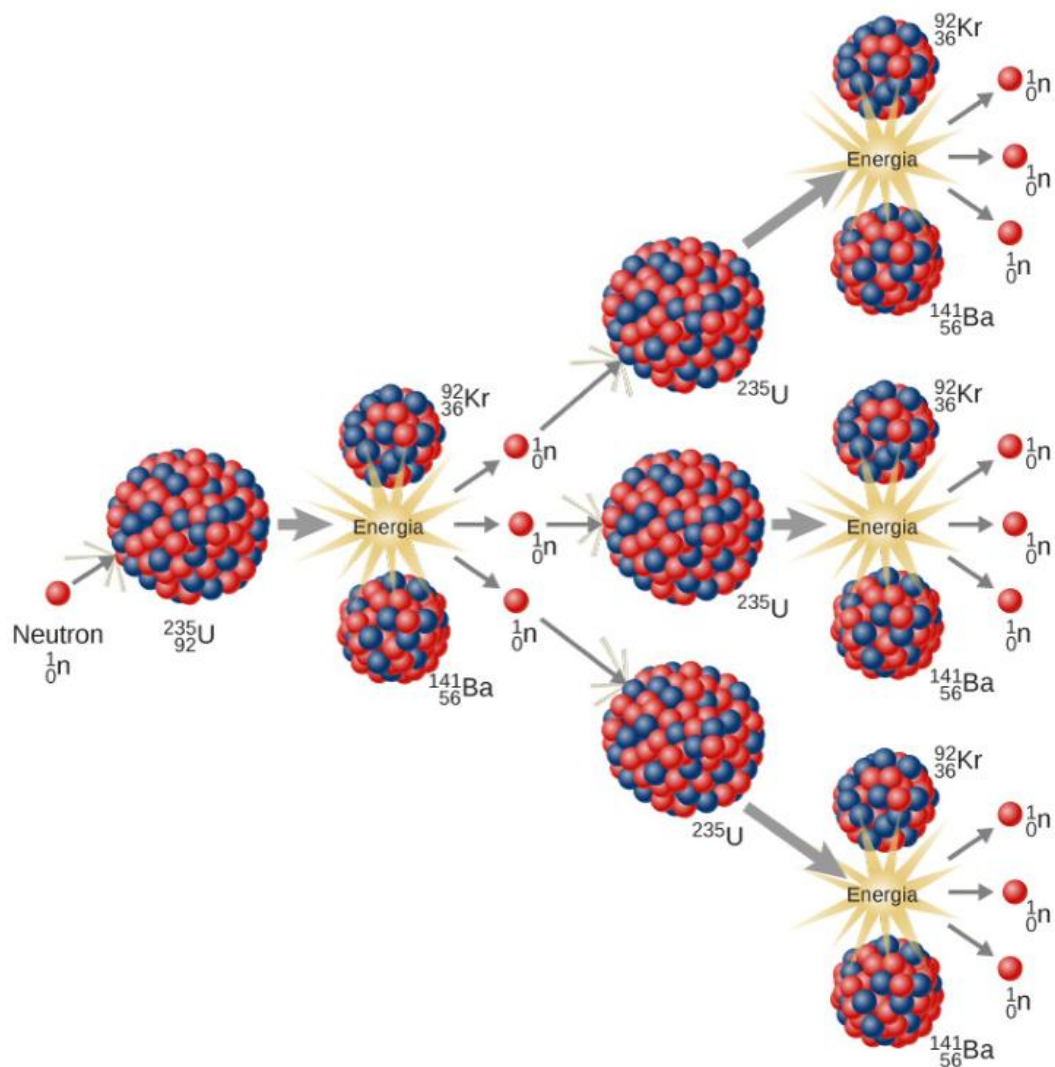


# Rozczepienie jądra atomowego

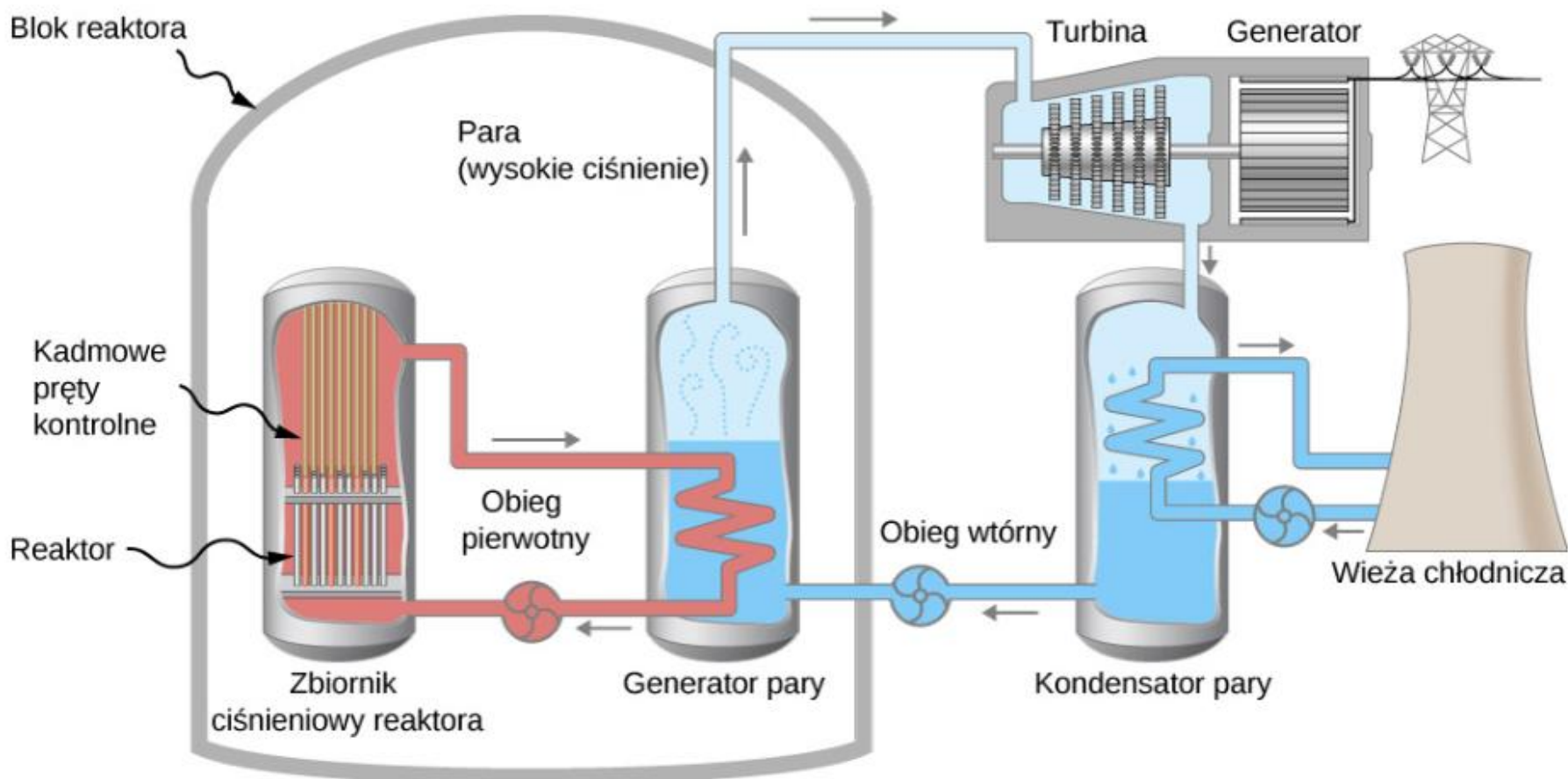
Podział ciężkiego jądra atomowego (np. Uranu-235 lub Plutonu-239) na dwa lżejsze fragmenty (tzw. fragmenty rozszczepienia) o zbliżonych masach.



# Rozczepienie jądra atomowego



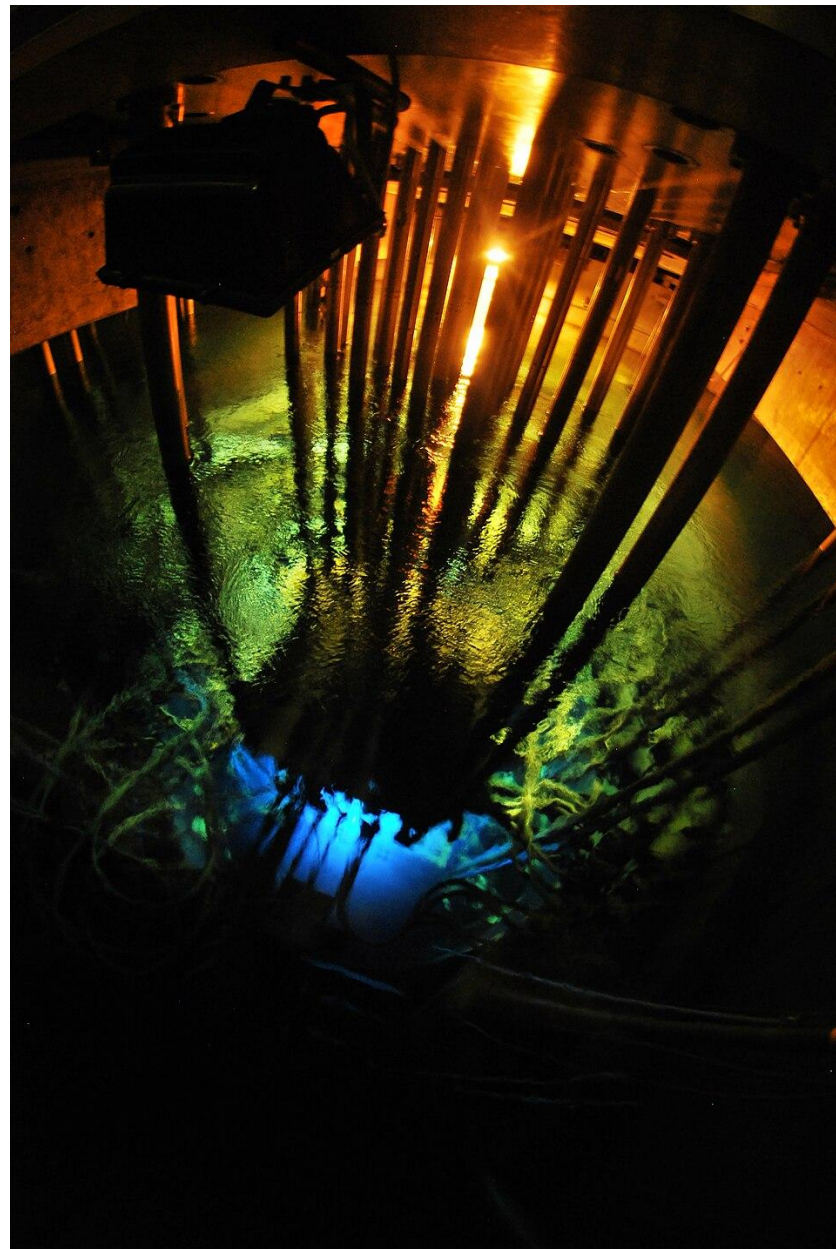
# Reaktor jądrowy



225

# Reaktor Maria

Produkcja radiofarmaceutyków – zapewnia m.in. 10% światowej produkcji molibdenu-99; jest liczącym się światowym producentem jodu-131, jego praca pokrywa 100% polskiego zapotrzebowania na tę substancję.

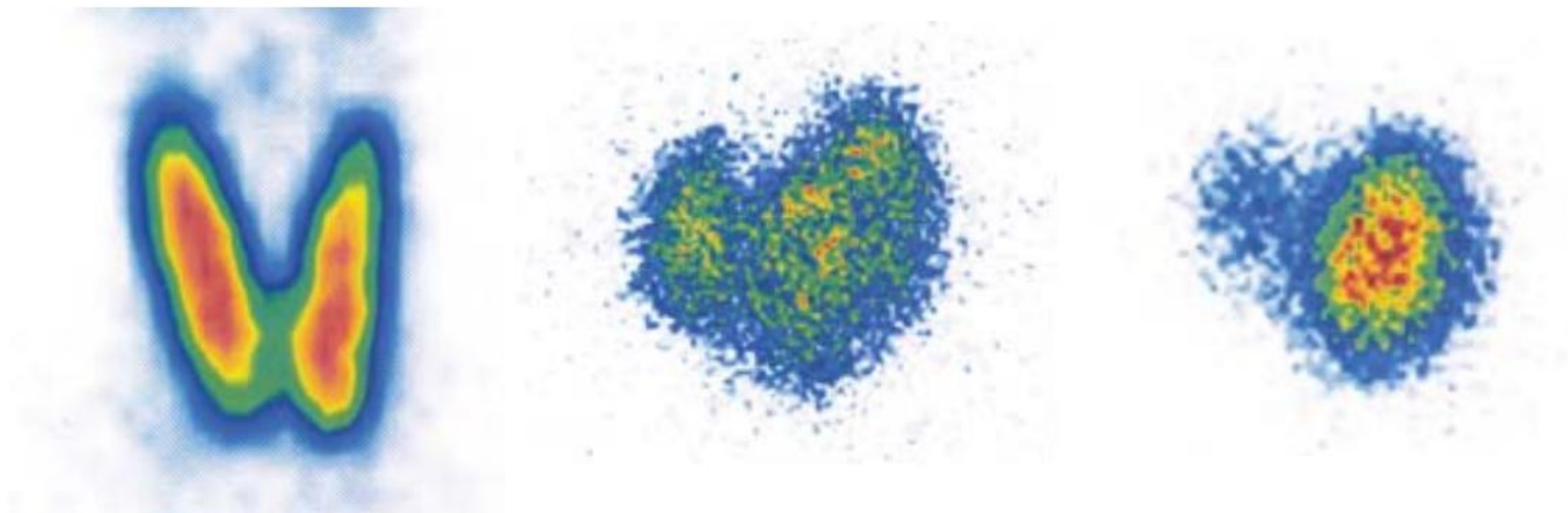


Autorstwa A. Rumińska - Praca własna, CC BY-SA 4.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=10712600>

# Radiofarmaceutyk

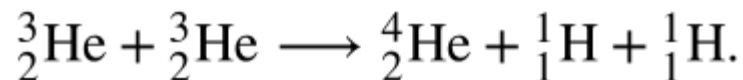
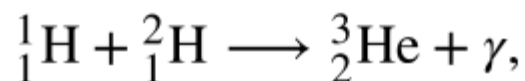
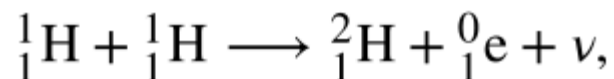
Substancja chemiczna naturalnie wykorzystywana przez badany narząd zawierająca promieniotwórczy izotop. Izotop ten rozpadając się, emituje promieniowanie, które jest rejestrowane na obrazach z urządzeń diagnostycznych.

Scyntygrafia tarczycy:

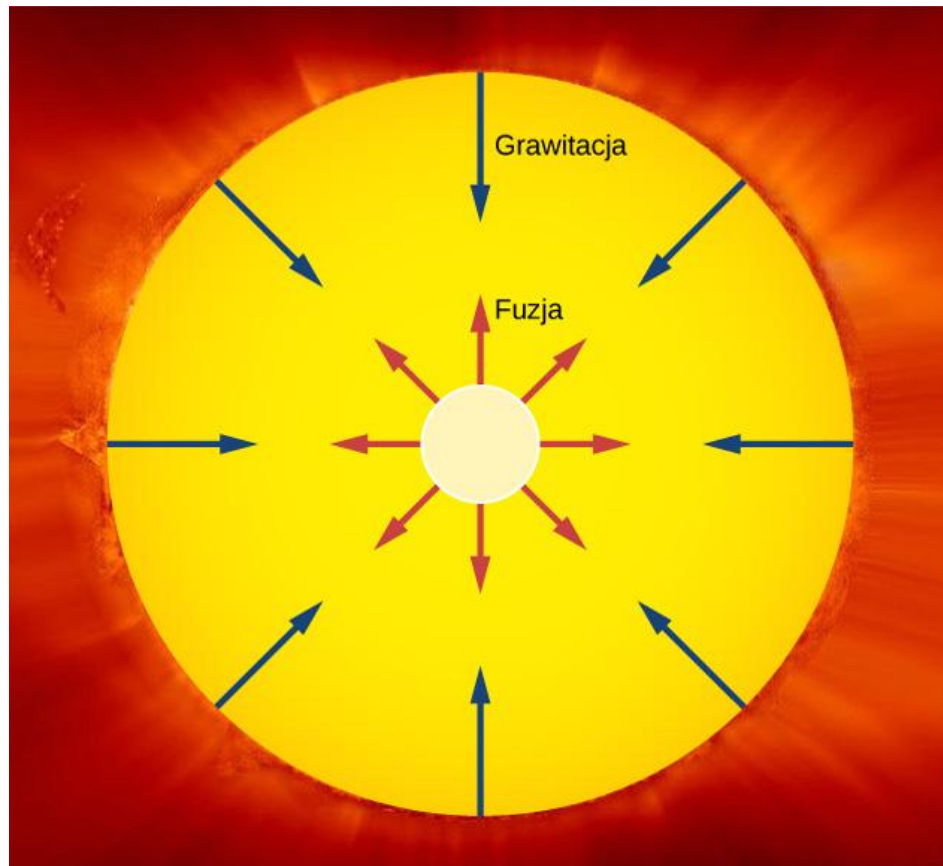


# Fuzja jądrowa

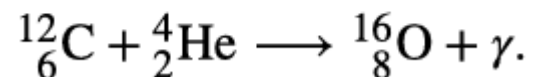
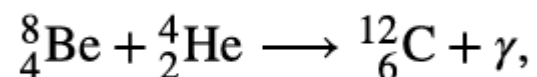
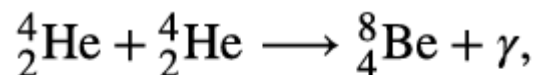
Proces, w którym dwa lekkie jądra atomowe łączą się, tworząc jedno cięższe. To reakcja, która zasila gwiazdy, w tym nasze Słońce. To tam rodzi się niemal cała energia we Wszechświecie.



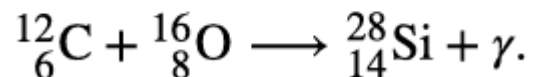
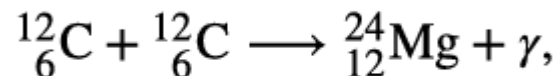
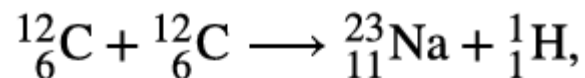
# Fuzja jądrowa w Słońcu



# Fuzja jądrowa w Słońcu

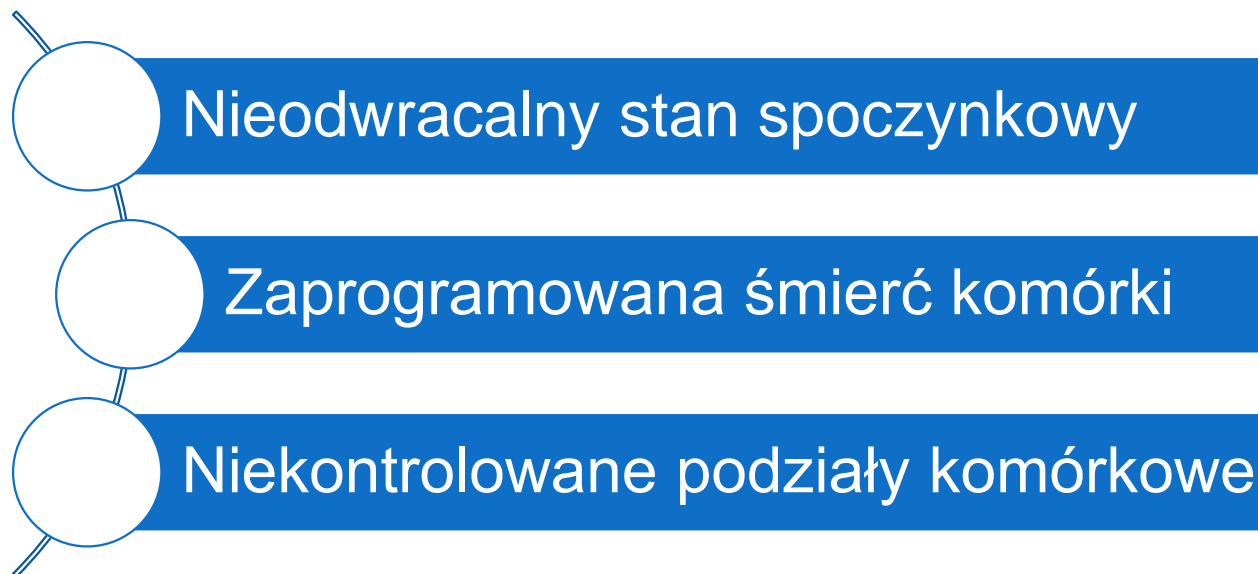


W większych gwiazdach:



# Skutki biologiczne

Promieniowanie jądrowe może zmieniać cechy strukturalne łańcucha DNA, co prowadzi do zmiany w kodzie genetycznym. Może też zniszczyć zdolność komórki do naprawy DNA.



# Skutki biologiczne

Grej

$$1 \text{ Gy} = 1 \text{ J} / 1 \text{ kg}$$

Jeden grej jest równy jednemu dżulowi energii jądrowej przypadającej na kilogram tkanki

WSB - względna skuteczność biologiczna promieniowania

Skutki promieniowania jonizującego zależą od otrzymanej dawki, ale też od rodzaju promieniowania.

# Skutki biologiczne - WSB

Typ i energia promieniowania	WSB <sup>[1]</sup>
rentgenowskie	1
$\gamma$	1
$\beta$ poniżej 32 keV	1
$\beta$ powyżej 32 keV	1,7
neutrony termiczne do powolnych (< 20 keV)	2–5
neutrony szybkie (1 MeV – 10 MeV)	10 (ciało), 32 (oczy)
protony (1 MeV – 10 MeV)	10 (ciało), 32 (oczy)
$\alpha$ z rozpadu promieniotwórczego	10–20
ciężkie jony z akceleratorów	10–20

# Skutki biologiczne

Grej

$$1 \text{ Gy} = 1 \text{ J} / 1 \text{ kg}$$

Jeden grej jest równy jednemu dżulowi energii jądrowej przypadającej na kilogram tkanki

WSB - względna skuteczność biologiczna promieniowania

Skutki promieniowania jonizującego zależą od otrzymanej dawki, ale też od rodzaju promieniowania.

Sivert

$$1 \text{ Sv} = 1 \text{ Gy} \times \text{WSB}$$

Określa skutki biologiczne promieniowania jonizującego na ludzki organizm

# Skutki biologiczne

Dawka (Sv)	Efekt
0–0,1	brak dostrzegalnych efektów
0,1–1	nieznaczny lub umiarkowany ubytek białych krwinek
0,5	czasowa bezpłodność; 35% kobiet, 50% mężczyzn
1–2	znaczne zmniejszenie liczby krwinek, krótkie nudności i wymioty; rzadko śmiertelne
2–5	nudności, wymioty, wypadanie włosów, poważne uszkodzenie układu krwionośnego, krwotok, możliwy zgon
4,5	śmiertelne dla 50% populacji w ciągu 32 dni po ekspozycji w przypadku niepodjęcia leczenia
5–20	najgorsze skutki spowodowane uszkodzeniem jelita cienkiego i krwi; ograniczona przeżywalność
> 20	zgon w ciągu kilku godzin spowodowany zapaścią ośrodkowego układu nerwowego

# Skutki biologiczne

Źródło	Dawka (mSv / rok)				
	Australia	Niemcy	Polska <sup>4</sup>	USA	Świat
naturalne promieniowanie – zewnętrzne:					
promienie kosmiczne	0,30	0,28	0,39	0,30	0,39
gleba, materiały budowlane	0,40	0,40	0,46	0,30	0,48
radon	0,90	1,10	1,30	2,00	1,20
naturalne promieniowanie – wewnętrzne:					
( <sup>40</sup> K, <sup>14</sup> C, <sup>226</sup> Ra)	0,24	0,28	0,28	0,40	0,29
sztuczne promieniowanie					
(głównie medyczne i stomatologiczne)	0,80	0,90	0,86	0,53	0,40
łącznie	2,6	3,0	3,3	3,5	2,8

# Skutki biologiczne

Procedura	Dawka skuteczna (mSv)
RTG klatki piersiowej	0,02
pantomogram	0,01
RTG czaszki	0,07
RTG nogi	0,02
mammografia	0,40
wlew z barytu	7,00
RTG górnego odcinka przewodu pokarmowego	3,00
tomogram komputerowy głowy	2,00
tomogram komputerowy jamy brzusznej	10,00



# FIZYKA Z ELEMENTAMI FIZYKI RADIACYJNEJ II | WYKŁAD 7

**Dziękuję za uwagę!**

dr inż. Katarzyna Gwóźdź