



Polskie Towarzystwo Medycyny Nuklearnej

SCHEMATY PROSTYCH REAKCJI JĄDROWYCH

dr n. tech. Adam Bajera
Członek honorowy PTMN



TREŚĆ

ROZPAD BETA MINUS

Rozpad beta minus - Przykłady rozpadów beta minus

ROZPAD BETA PLUS

Rozpad beta plus - Przykłady rozpadów beta plus

ROZPAD ALFA

Rozpad alfa - Przykłady rozpadów alfa

WYCHWYT K

Wychwyt K- Przykłady wychwytów K

ROZPAD GAMMA

Rozpad gamma - Przykłady rozpadów gamma



SCHEMATY PROSTYCH REAKCJI JĄDROWYCH

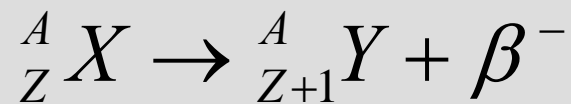
ROZPAD BETA MINUS

Rozpad beta minus

Jeśli w jądrze pierwiastka X dojdzie przemiany jednego z neutronów w proton to powstanie atom pierwiastka Y i nastąpi, wypromieniowanie cząstki, β^- , czyli elektronu o ładunku ujemnym:



W wyniku przemiany β^- liczba masowa jądra atomu pierwiastka Y pozostaje taka sama jak pierwiastka X , natomiast jego liczba atomowa wzrasta o 1. Ogólnie:

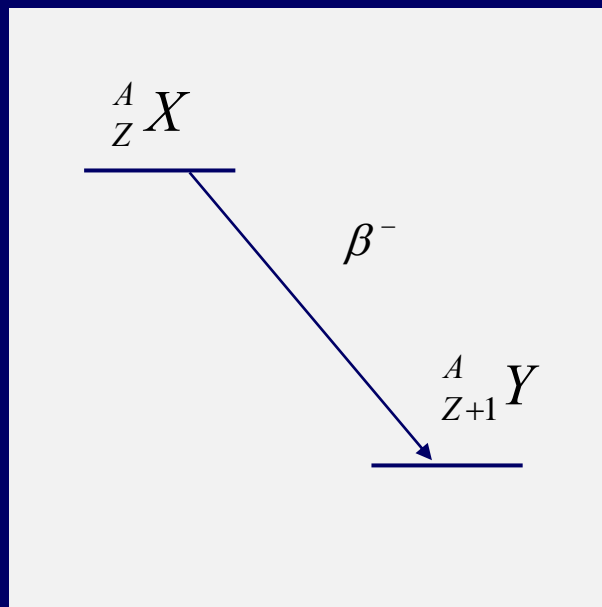


Cząstki β^- wypromieniowane w wyniku takiej przemiany mają energię kinetyczną mierzoną w MeV.



Rozpad beta minus

Jądro początkowe



Jądro wynikowe

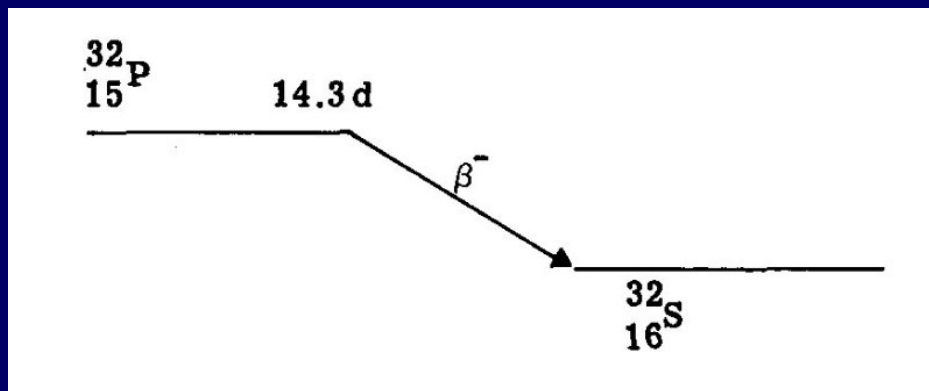
W wyniku emisji cząstki β^- powstaje nowy pierwiastek o energii jądra mniejszej od energii jądra początkowego i liczbie atomowej o 1 większej. Zatem, na schemacie, strzałka reprezentująca cząstkę jest skierowana w prawo.



Przykłady rozpadów beta minus

W jądrze neutron przemienia się w proton, emitując elektron i tzw. antyneutrino elektronowe: ${}_0^1n \rightarrow {}_1^1p + {}_{-1}^0e + {}_0^0\bar{\nu}_e$

Przykłady izotopów, które ulegają rozpadowi beta minus: P-32, Cs-137, Co-60, Na-24, C-14, H-3 (tryt).





SCHEMATY PROSTYCH REAKCJI JĄDROWYCH

ROZPAD BETA PLUS

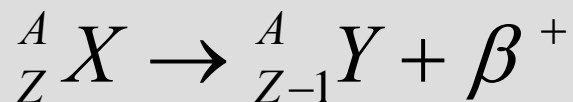


Rozpad beta plus

Jeśli w jądrze pierwiastka X dojdzie przemiany jednego z protonów w neutron to powstanie atom pierwiastka Y i nastąpi, wypromieniowanie cząstki β^+ , czyli elektronu o ładunku dodatnim:



W wyniku przemiany β^+ liczba masowa jądra atomu pierwiastka Y pozostaje taka sama jak pierwiastka X , natomiast jego liczba atomowa maleje o 1. Ogólnie:

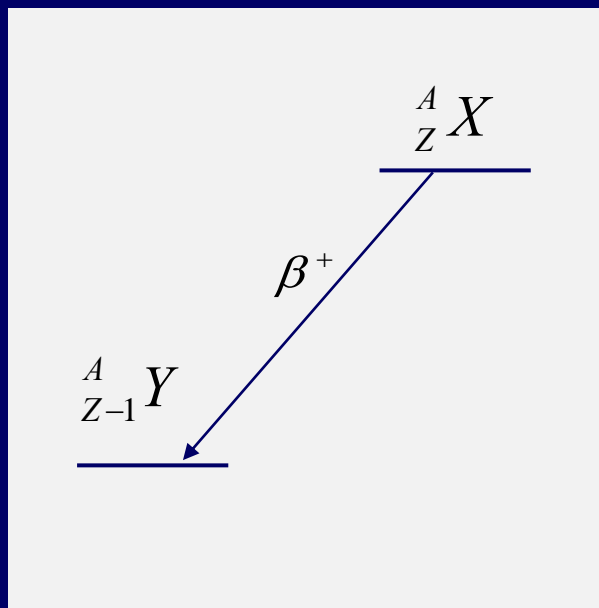


Cząstki β^+ wypromieniowane w wyniku takiej przemiany mają energię kinetyczną mierzoną w MeV.



Rozpad beta plus

Jądro wynikowe



Jądro początkowe

W wyniku emisji cząstki β^+ powstaje pierwiastek o energii jądra mniejszej od energii jądra początkowego i liczbie atomowej o 1 mniejszej. Zatem, na schemacie, strzałka reprezentująca cząstkę jest skierowana w lewo.



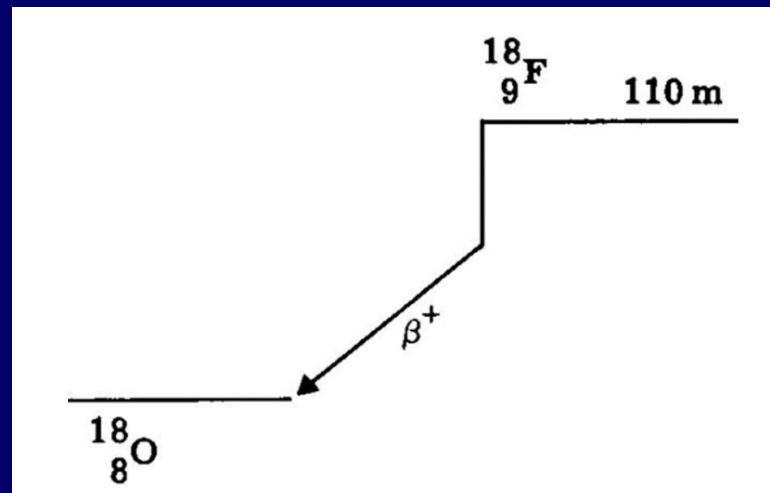
Rozpad beta plus

W jądrze atomu proton przemienia się w neutron, emitując dodatnio naładowany elektron i tzw. neutrino elektronowe:



Przykłady izotopów, które ulegają rozpadowi beta plus: F-18, C-11, N-13, O-15, i Na-22.

Przykładowe zapisy rozpadów:





SCHEMATY PROSTYCH REAKCJI JĄDROWYCH

ROZPAD ALFA



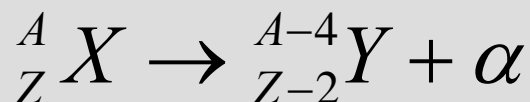
Rozpad alfa

Spośród promieniotwórczych jąder atomowych rozpadowi alfa ulegają głównie jądra cięższe – w jednostka masy atomowej powyżej 200u, ale także wyjątkowo, w okolicach masy 100u. W rzeczywistości jest to jądro helu ${}^4_2\text{He}^{2+}$.

Cząstka alfa formuje się już w jądrze. Ma energię mniejszą od energii potrzebnej na pokonanie sił przyciągania przez nukleony jądra, ale dzięki tzw. kwantowemu zjawisku tunelowania przenika poza jądro.

W wyniku przemiany alfa liczba masowa jądra atomu pierwiastka X maleje o 4, natomiast jego liczba atomowa maleje o 2.

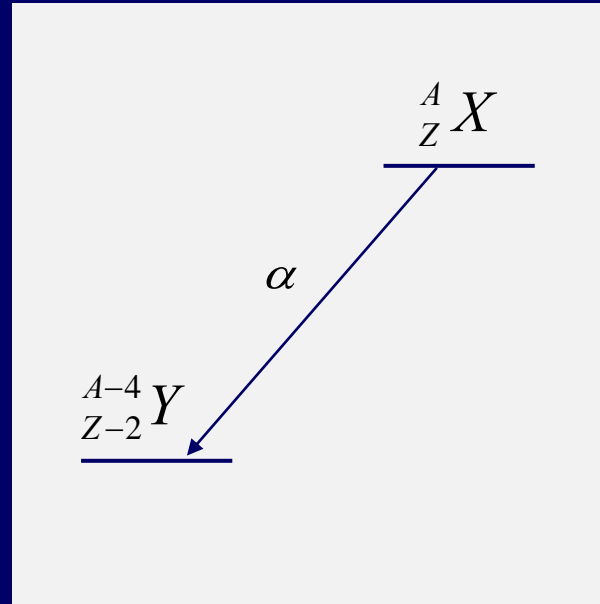
Ogólnie:





Rozpad alfa

Jądro wynikowe



Jądro początkowe

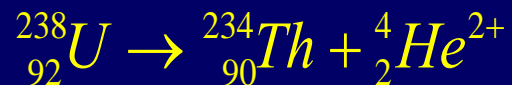
W wyniku emisji cząstki alfa powstaje nowy pierwiastek o energii jądra mniejszej od energii jądra początkowego, liczbie masowej mniejszej o 4 i liczbie atomowej mniejszej o 2. Zatem, na schemacie, strzałka reprezentująca cząstkę jest skierowana w lewo.



Rozpad alfa

Przykłady izotopów, które ulegają rozpadowi beta plus: U-238, Th-233, Ra-226.

Przykładowe zapisy rozpadów:





SCHEMATY PROSTYCH REAKCJI JĄDROWYCH

WYCHWYT K



Wychwył K

Wychwył elektronu (zwany teŹ odwrotną przemianą beta) jest reakcją jądrową, w której jeden z elektronów atomu jest przechwytywany przez proton z jądra nuklidu, w wyniku czego powstaje neutron (pozostający w jądrze) i tzw. neutrino elektronowe, które jest emitowane:



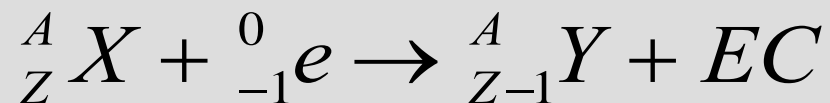
W literaturze wychwył elektronu jest oznaczany akronimem *EC* (*ang.* Electron Capture).

Pochłonięcie elektronu przez jądro powoduje reorganizację elektronów na pozostałych powłokach. Na miejsce brakującego "przeskakuje" elektron z wyższej orbity. Nadwyżka energii jaką posiada "przeskakujący elektron" jest emitowana w postaci kwantu lub kilku kwantów promieniowania.



Wychwyty K

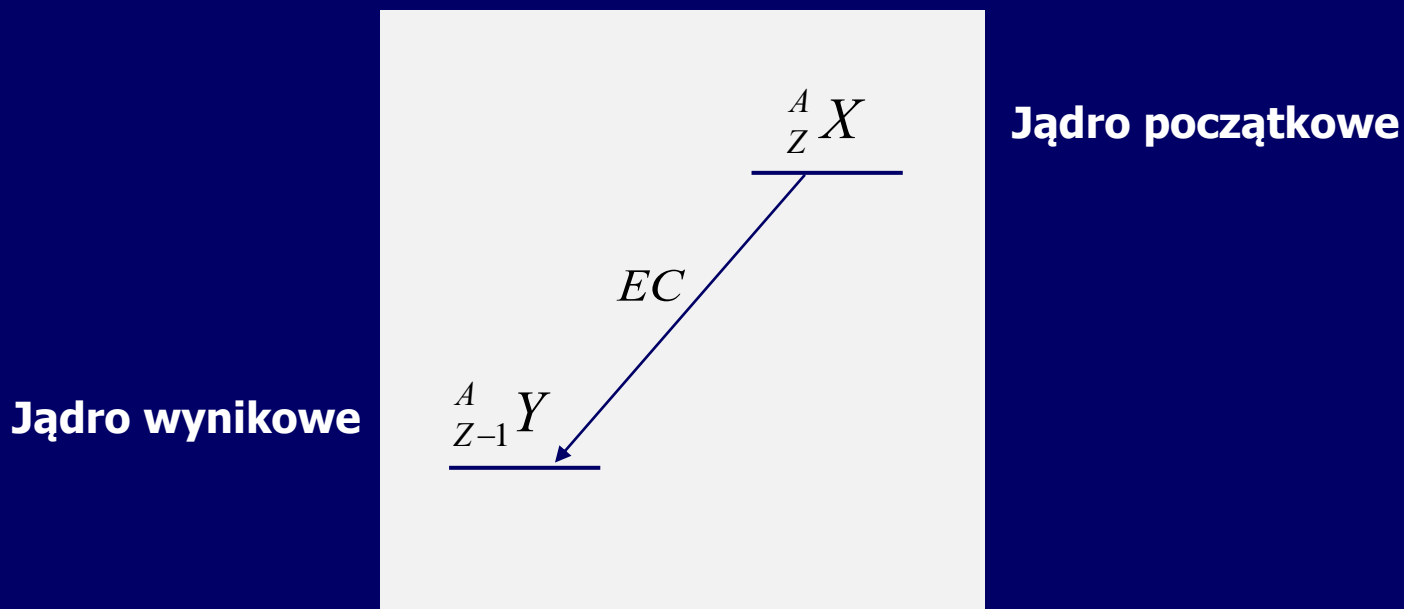
W konsekwencji tej reakcji liczba protonów w jądrze nuklidu X maleje, a liczba neutronów rośnie o 1. Tak więc nowo powstały nuklid Y ma liczbę atomową mniejszą o 1, ale jego liczba masowa pozostaje bez zmian. Ogólnie:



Wychwyty EC ulegają przeważnie jądra ciężkie. Przechwytywanym elektronem jest zwyczaj elektron najbliższy jądru, czyli pochodzący z powłoki K, dlatego przemianę tę nazywa się też "wychwyty K" (choć zdarza się także wychwyty z powłoki L).



Wychwyty K

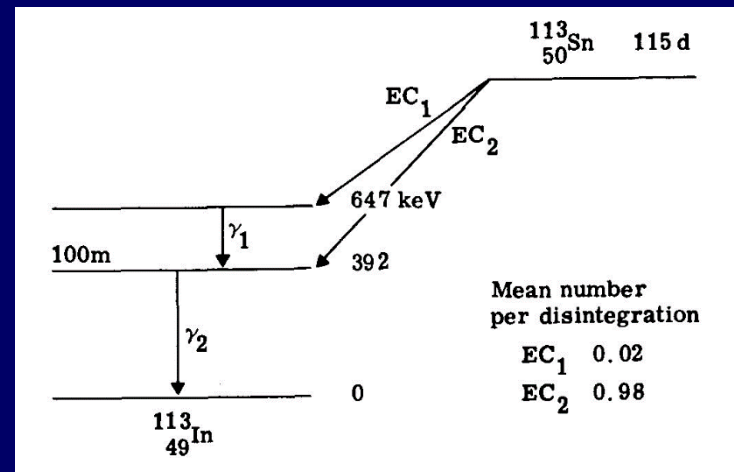
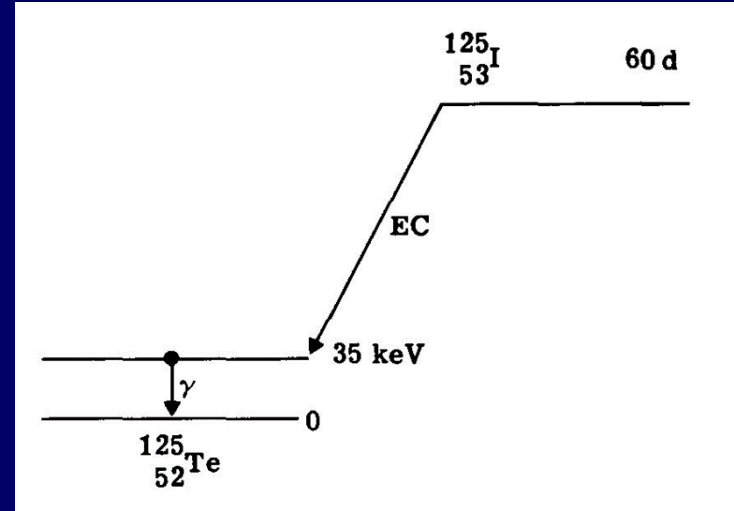
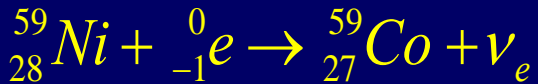
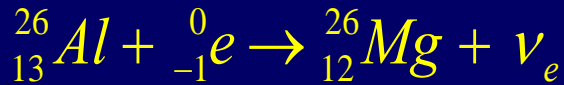


W wyniku wychwyty K powstaje nowy nuklid wynikowy, którego jądro ma energię mniejszą od energii jądra nuklidu początkowego. Liczby masowe obu nuklidów są takie same. Natomiast zmniejsza się o 1 liczba atomowa. Zatem, na schemacie, strzałka jest skierowana w lewo.



Wychwyty K

Przykłady izotopów, które ulegają wychwytoowi K: Al-26, Ni-59, Sn-113, I-125, Np-235:





SCHEMATY PROSTYCH REAKCJI JĄDROWYCH

ROZPAD GAMMA



Rozpad gamma

Rozpad gamma to przemiana jądrowa, podczas której powstaje promieniowanie gamma, czyli kwant energii elektromagnetycznej – tzw. foton. Na rozpad ten składają się dwie fazy.

W pierwszej fazie, jądro nuklidu początkowego X przekształca się w jądro nuklidu wynikowego Y , najczęściej wskutek rozpadu beta minus, któremu towarzyszy tzw. antyneutrino elektronowe:



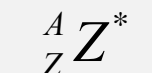
W drugiej fazie, jeśli jądro nuklidu Z jest w tzw. stanie wzbudzonym Z^* – czyli ma energię większą od energii takiego jądra w stanie podstawowym – może dojść do emisji kwantu gamma :



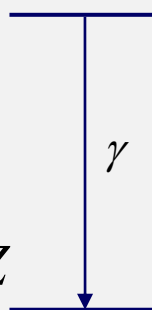


Rozpad gamma

Jądro początkowe



Jądro wynikowe



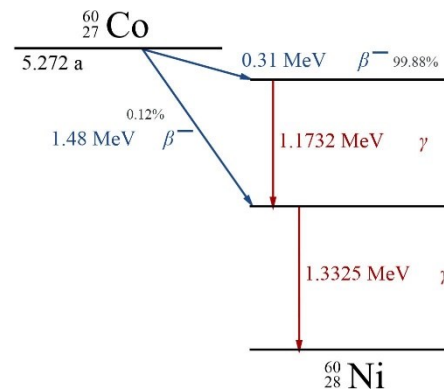
W wyniku kwantu skład jądra nuklidu Z^* nie zmienia się, zatem liczby masowa i atomowa pozostają bez zmian. Maleje jedynie energia jego jądra. Zatem, na schemacie, strzałka reprezentująca rozpad jest skierowana pionowo i w dół.



Przykładowy rozpad gamma

Wzbudzony w wyniku emisji beta minus atom ${}^{60}_{28}\text{Ni}^*$ bardzo szybko przechodzi do stanu podstawowego ${}^{60}_{28}\text{Ni}$ emitując dwa fotony promieniowania gamma: γ_1 i γ_2 o energiach 1.17 i 1.33 MeV.

Przykładowy zapis rozpadów:





Rozpad gamma ze stanem metastabilnym

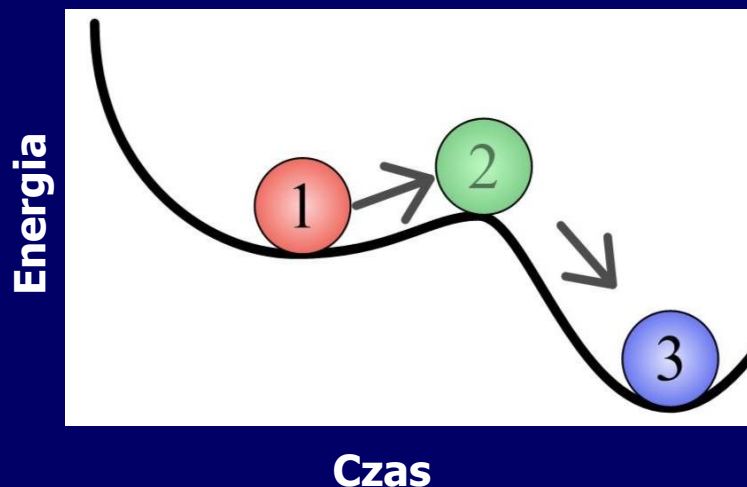
Jądra nuklidów Z^* w stanie wzbudzonym trwają bardzo krótko. Natychmiast emitują kwanty gamma i przechodzą w stan stabilny. W medycynie nuklearnej, której zadaniem jest obrazowanie procesów fizjologicznych trwających minuty lub godziny potrzebne są te nuklidy, których jądra pozostają w stanie wzbudzonym przez podobne czasy.

Niektóre nuklidy mają tę wyjątkową właściwość, która nazywa się metastabilnością! Paradoks w tym, że największa ilość badań w medycynie nuklearnej wykonywana jest właśnie z użyciem takiego metastabilnego izotopu – technetu ${}^{m99}_{43}\text{Tc}$.



Rozpad gamma ze stanem metastabilnym

Sekwencję zdarzeń w zjawisku metastabilności ilustruje poniższy rysunek:



Wzbudzone jądro nie przechodzi natychmiast do stanu stabilnego lecz przez dłuższy czas zachowuje „pośrednią” energię **1**, by z opóźnieniem przejść do stanu stabilnego **3**.



SCHEMATY PROSTYCH REAKCJI JĄDROWYCH

Koniec tematu

Kompilacja - adam.bajera@euromail.pl