

Przemiany jądrowe

Przemiany jądrowe

Radioaktywne jądra pierwiastków wysyłają promieniowanie α , β i γ , ale co się dzieje z jądrami atomów promieniotwórczych? Jakie zmiany w nich zachodzą? Co powstaje w wyniku tych przemian? Jak szybko odbywają się te zmiany? Oprócz pierwiastków radioaktywnych występujących w przyrodzie pojawiają się nowe – są nimi np. odpady promieniotwórcze powstające w elektrowniach jądrowych. Jak długo te odpady pozostaną radioaktywne i będą stanowić zagrożenie? Czytaj dalej, a znajdziesz odpowiedzi na te pytania.



Pod koniec XIX wieku Henri Becquerel zauważył, że próbki zawierające uran powodują naświetlanie kliszy fotograficznych. Badania tego fenomenu doprowadziły do odkrycia zjawiska przemiany promieniotwórczej pierwiastków. Obecnie wykorzystuje się je m.in. do datowania, czyli określania wieku próbek, znalezisk i monumentów takich jak Stonehenge, który – jak się okazało po badaniach metodą radiowęglową przeprowadzonych w 2008 roku – budowany był stopniowo od około 3100 do 1600 roku p.n.e.

Źródło: thegarethwiscombe, dostępny w internecie: <https://www.flickr.com/>, licencja: CC BY 2.0.

Przed przystąpieniem do zapoznania się z tematem, należy znać poniższe zagadnienia

- co to jest promieniowanie jądrowe i jakie są jego najważniejsze rodzaje;
- definicję promieniowania jonizującego;

- właściwości fizyczne promieniowania alfa, beta i gamma.

Ich opracowanie znajdziesz materiale [Promieniowanie jądrowe \$\alpha\$, \$\beta\$ i \$\gamma\$](#) .

Nauczysz się

- podawać definicję aktywności pierwiastka;
- praw rozpadu promieniotwórczego;
- obliczać liczbę jąder, które jeszcze nie uległy rozpadowi promieniotwórczemu;
- podawać definicję czasu połowicznego rozpadu promieniotwórczego;
- zapisywać równania przemian jądrowych i przewidywać, jakie nowe jądra powstają w procesie rozpadu promieniotwórczego.

Aktywność promieniotwórcza

Wiele razy mogłeś usłyszeć, że coś jest aktywne promieniotwórczo. Ten zwrot oznacza, że w danej substancji dochodzi do samorzutnych rozpadów jąder atomowych, czyli dzieleniu się ich na dwa lub kilka jąder. Różne substancje mają różną szybkość przeprowadzania tych rozpadów, dlatego aby móc porównywać te substancje wprowadzono wielkość nazywaną aktywnością promieniotwórczą.

Zapamiętaj!

Wyrażenie:

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

nazywamy [aktywnością](#) promieniotwórczą. Aktywność oznacza liczbę przemian jądrowych w danej ilości substancji, które zachodzą w określonej jednostce czasu. ΔN to liczba jąder które uległy rozpadowi, a Δt to czas w jakim to nastąpiło.

Jednostką aktywności promieniotwórczej jest jeden bekerel (Bq):

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

Zapamiętaj!

Aktywność promieniotwórcza jest równa jednemu bekerelowi, jeśli w czasie jednej sekundy następuje jeden rozpad promieniotwórczy.

Rozpad promieniotwórczy zachodzi zgodnie z prawem, które nosi nazwę prawa rozpadu promieniotwórczego. Warto podkreślić, że termin ten odnosi się do samorzutnych przemian jąder macierzystych w jądra pochodne. Proces ten jest naturalny i ma charakter statystyczny - nie możemy przewidzieć, kiedy konkretne jądro ulegnie rozpadowi. Liczba rozpadów będzie tym większa, im większa będzie ilość substancji radioaktywnej i im dłuższy czas będziemy rozpatrywać. Prawo rozpadu dotyczy także izotopów promieniotwórczych uzyskiwanych sztucznie w wyniku reakcji jądrowych.

Rozpad opisujemy z pomocą równania:

$$\Delta N = -\lambda \cdot N \cdot \Delta t$$

Oznacza ona, że liczba jąder rozpadających się w czasie Δt jest proporcjonalna (λ - współczynnik proporcjonalności zwany stałą rozpadu) do liczby atomów w próbce i do czasu trwania rozpadu. Próbka zawierająca dwa razy więcej jąder danego pierwiastka będzie wysyłać dwa razy więcej cząstek α lub β w tym samym czasie. Oznacza to, że dwa razy więcej jąder będzie ulegać rozpadowi. Znak minus oznacza, że liczba jąder się zmniejsza.

Ćwiczenie 1



Oblicz aktywność bryłki nieznanej substancji, w której dochodzi do 139 rozpadów promieniotwórczych w ciągu godziny. Zaznacz poprawną odpowiedź.

☐ 0,432 Bq

☐ 0,039 Bq

☐ 2,317 Bq

Źródło: ZPE, licencja: CC BY 3.0.

My sami i nasze otoczenie stanowimy źródło promieniowania jądrowego. Poniższa tabela podaje aktywności naturalnych pierwiastków i źródeł.

Aktywność promieniotwórcza wybranych źródeł naturalnych w odniesieniu do jednostki masy lub objętości.

Źródło	Aktywność promieniotwórcza
banan	$125 \frac{\text{Bq}}{\text{kg}}$
mleko	$50 \frac{\text{Bq}}{\text{l}}$
woda morska	$12 \frac{\text{Bq}}{\text{l}}$
woda mineralna	$6 \frac{\text{Bq}}{\text{kg}}$

źródło: Salamon J., *Wpływ promieniowania naturalnego na zdrowie człowieka*, Instytut Fizyki Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2014

Gdy uwzględnimy, że liczba jąder pozostałych po rozpadzie to:

$$N = N_0 - \Delta N,$$

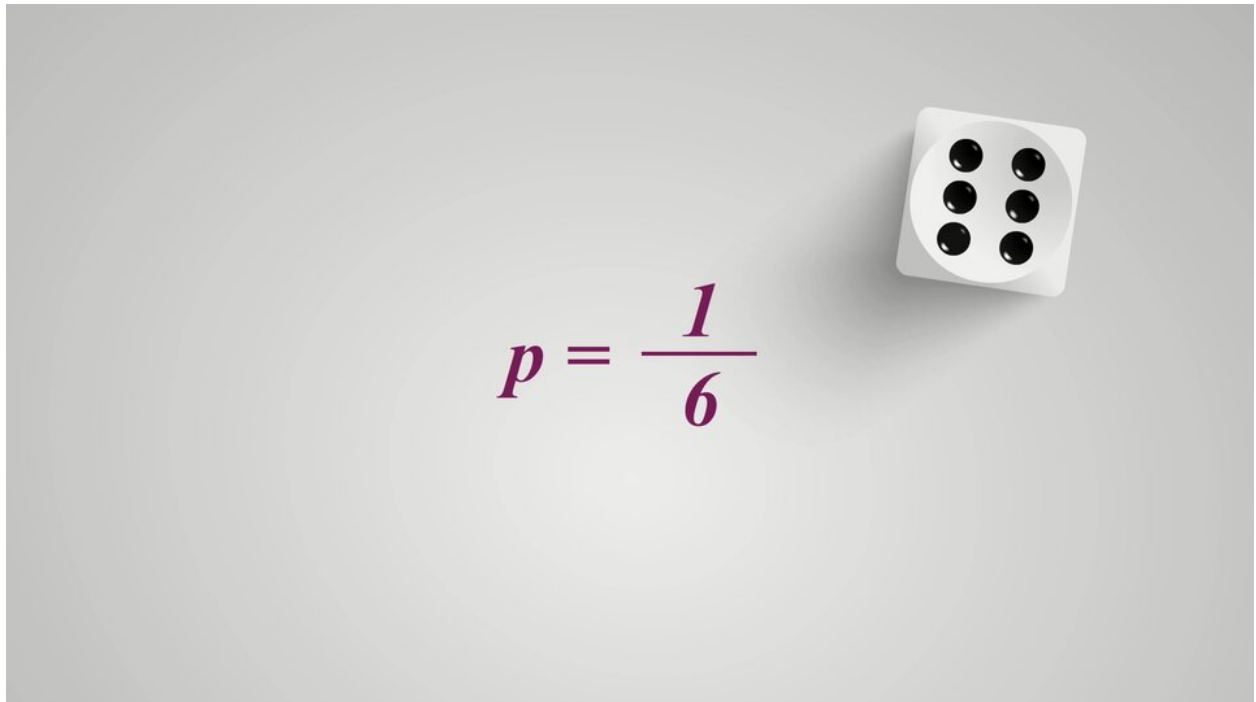
gdzie ΔN będzie dodatnie:

$$\Delta N = \lambda \cdot N_0 \cdot \Delta t$$

i definicji aktywności, możemy zapisać, że:

$$A = \lambda \cdot N$$

Jeżeli liczba jąder radioaktywnych maleje (a tak jest zawsze), to maleje również aktywność promieniotwórcza danej substancji.



Film dostępny pod adresem </preview/resource/R12RrMdxlMlVp>

Rozpad promieniotwórczy

Źródło: Tomorrow Sp. z o.o., licencja: CC BY 3.0.

Film dotyczący rozpadu promieniotwórczego.

Aby opisać, jak zmienia się liczba jąder danego pierwiastka z upływem czasu, wygodnie jest wprowadzić pewne pojęcie.

Czas, po upływie którego w próbce pozostała połowa początkowej liczby jąder, to [okres połowicznego rozpadu](#) (niekiedy nazywany także okresem połowicznego zaniku). Czas połowicznego zaniku oznaczamy jako $T_{\frac{1}{2}}$ lub po prostu T . Po upływie czasu równego dwóm okresom połowicznego zaniku zostaje $\frac{1}{4}$ jąder w stosunku do ich liczby początkowej, po trzech okresach połowicznego zaniku – $\frac{1}{8}$ itd.

Czas połowicznego rozpadu wybranych źródeł promieniotwórczych.

Źródło promieniotwórcze	Czas połowicznego rozpadu ($T_{\frac{1}{2}}$)	Rodzaj rozpadu
$^{222}_{86}\text{Rn}$	3, 82 dni	α
$^{14}_6\text{C}$	5730 lat	β
$^{131}_{53}\text{I}$	8, 02 dni	β
$^{235}_{92}\text{U}$	$7, 04 \cdot 10^8$ lat	α
$^{232}_{90}\text{Th}$	$1, 41 \cdot 10^{10}$ lat	α

Czas połowicznego zaniku jąder atomów jest różny dla różnych izotopów. Może być równy zarówno bilionowym częściom sekundy, jak i miliardom lat.

W naukach takich jak historia, archeologia, biologia i geologia ważną rolę odgrywa nietrwały izotop węgla ^{14}C , którego czas połowicznego zaniku wynosi 5730 lat. Izotop węgla ^{14}C stanowi niewielką domieszkę całej zawartości atomów węgla w materii i jeśli zmierzymy zawartość tego izotopu w danym organizmie lub przedmiocie, możemy oszacować datę powstania przedmiotu bądź śmierci organizmu.

Ćwiczenie 2

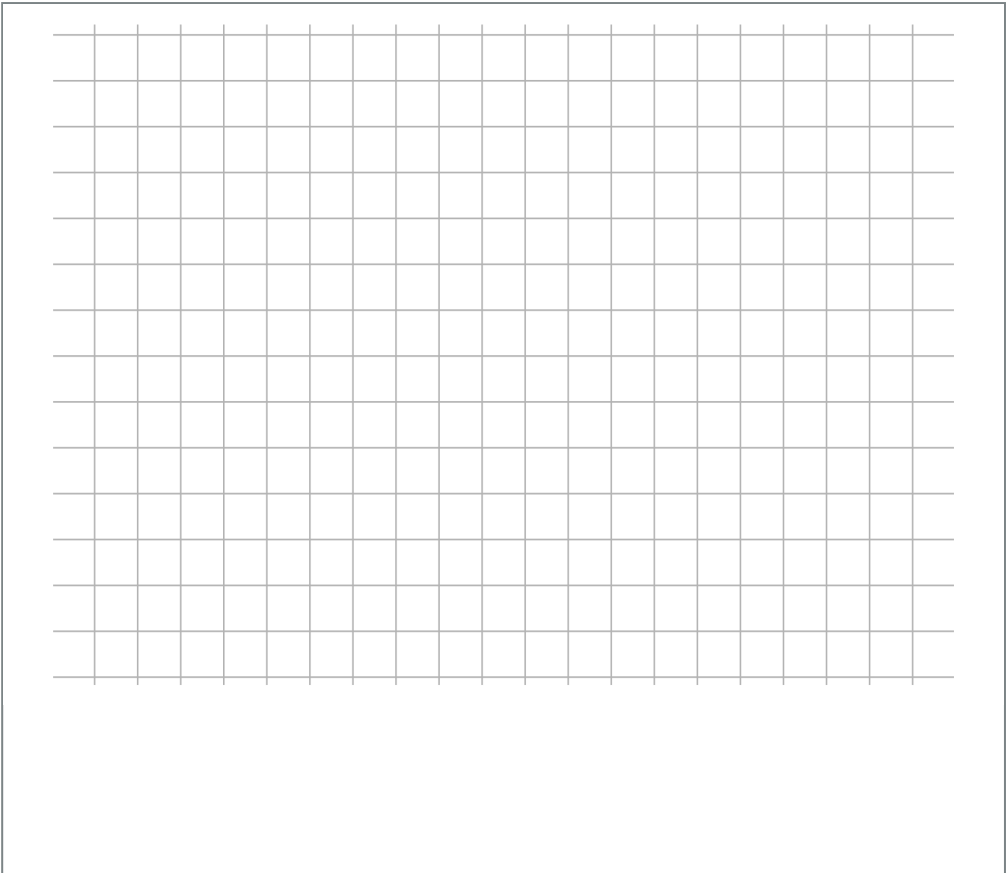


Okres połowicznego zaniku pewnego izotopu wynosi 4 godziny. Uzupełnij poniższą tabelkę wpisując odpowiednie liczby. Wyniki zaokrąglaj do pierwszego miejsca po przecinku.

Czas [h]	Liczba jąder [10^{10}]
0	6,4
4	
8	
12	
16	
20	
24	

Źródło: ZPE, licencja: CC BY 3.0.

Następnie narysuj wykres zależności liczby jąder, które nie uległy rozpadowi, od czasu trwania rozpadu dla tego izotopu.



Wyprowadzenie dokładnej zależności liczby jąder od czasu wymaga wiedzy na poziomie matematyki wyższej. Ale jeśli skorzystamy z pojęcia okresu połowicznego zaniku, to możemy otrzymać taką zależność w prosty sposób. Zapisz, jaka część początkowej liczby jąder pozostanie po upływie kolejnych okresów.

Na początku było N_0 , potem kolejno: $\frac{N_0}{2}$, $\frac{N_0}{4}$, $\frac{N_0}{8}$, $\frac{N_0}{16}$, $\frac{N_0}{32}$. Ciąg ten możemy zapisać jako: $N_0, \frac{N_0}{2^1}, \frac{N_0}{2^2}, \frac{N_0}{2^3}, \frac{N_0}{2^4}, \frac{N_0}{2^5}$, a to z kolei da się uprościć do postaci (biorąc pod uwagę, ile okresów połowicznego zaniku upłynęło):

$$N = \frac{N_0}{2^n}$$

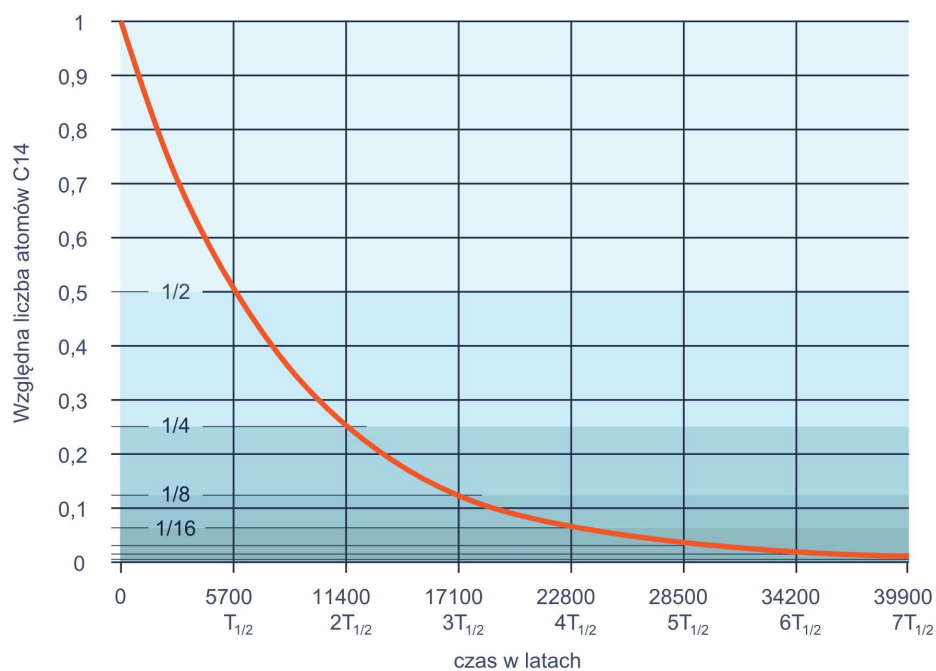
gdzie n jest liczbą okresów połowicznego zaniku, które upłynęły od momentu rozpoczęcia procesu. Oczywiście:

$$n = \frac{t}{T_{\frac{1}{2}}}$$

i ostatecznie:

$$N(t) = N_0 \cdot 2^{-\frac{t}{T_{\frac{1}{2}}}}$$

Ostatnia zależność pozwoli na obliczenie liczby jąder w dowolnym czasie. Potrzebne do tego będą kalkulator naukowy albo arkusz kalkulacyjny.



Wykres ilustrujący rozpad promieniotwórczy izotopu węgla ^{14}C

Źródło: Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, licencja: CC BY 3.0.

Ćwiczenie 3



Uzasadnij, dlaczego zamiast N i N_0 można używać mas próbek $m(t)$ i m_0 .

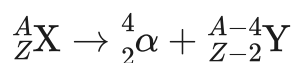
Ćwiczenie 4

Czas połowicznego zaniku pewnego pierwiastka wynosi 110 minut. Wykaż, że po 330 minutach pozostanie w tej próbce 12,5% jąder tego pierwiastka (w stosunku do stanu początkowego). Czy masa końcowa całej próbki będzie stanowiła 12,5% początkowej masy tej próbki? Dlaczego?

Reguły przesunięć

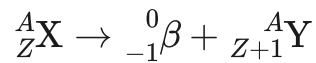
Pierwiastki, które emitują promieniowanie jądrowe α i β , ulegają przemianom jądrowym. Prowadzi to do zamiany tych pierwiastków w inne pierwiastki, o czym mówi reguła przesunięć.

Na początku 1913r kilku fizyków (w tym Polak Kazimierz Fajans pracujący w Niemczech) sformułowało tzw. [regułę przesunięć](#), określaną obecnie mianem reguły przesunięć Soddy'ego-Fajansa. Podczas rozpadu α przybiera ona poniższą postać:

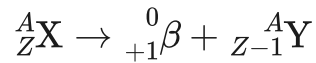


Po emisji cząstki α przez jądro pierwiastka X, przekształca się ono w jądro pierwiastka Y, który ma o dwa ładunki dodatnie w jądrze mniej w porównaniu z pierwiastkiem X. Oznacza to, że nowy pierwiastek w stosunku do wyjściowego jest przesunięty o dwa miejsca w lewo w [układzie okresowym](#), a o cztery zmniejsza się jego liczba masowa.

Jeśli chodzi o rozpad β , to zasadniczo istnieją dwa jego rodzaje – rozpad β^- oraz rozpad β^+ . W przypadku rozpadu β^- następuje zwiększenie ładunku jądra, a nowy pierwiastek jest przesunięty o jedno miejsce w prawo w układzie okresowym:

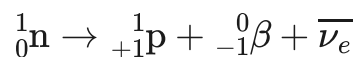


W przypadku rozpadu β^+ z kolei, miejsce ma zmniejszenie ładunku jądra, a nowy pierwiastek jest przesunięty o jedno miejsce w lewo w układzie okresowym:

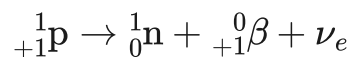


Zapis ${}^0_{-1}\beta$ oznacza elektron – cząstkę o praktycznie (w stosunku do masy nukleonów) zerowej masie i ładunku ujemnym, zaś ${}^0_{+1}\beta$ oznacza cząstkę o masie i wartości ładunku takich samych jak elektron, lecz ładunku dodatnim. Cząstka ta nosi nazwę „pozyton” i jest tzw. antycząstką elektronu.

A co właściwie dzieje się w jądrze podczas rozpadu β ? Jak wiesz, w jądrze atomu nie występują elektrony. W rozpadzie β^- suma liczb protonów i neutronów musi pozostać stała. Liczba protonów wzrasta o 1, zatem liczba neutronów musi zmaleć o 1. Można powiedzieć, że jeden z neutronów przekształca się w proton. Przemiana ta przebiega w następujący sposób:



W efekcie proton zostaje w jądrze atomu, a elektron jest wyrzucany na zewnątrz. W następnych latach odkryto sztuczną promieniotwórczość i emisję cząstek β^+ . Nowo powstałe jądro ma niezmienną liczbę nukleonów, ale mniejszą liczbę protonów (o jeden). Zachodzi następująca przemiana:



Wyrzucaną cząstką jest w tym przypadku wspomniany wcześniej pozyton. Dokładna analiza rozpadów β^+ i β^- wykazała, że podczas tych rozpadów musi pojawiać się jeszcze jedna z dwóch innych cząstek. Mianowicie podczas rozpadów β^+ powstaje tzw. [neutrino elektronowe](#) ν_e , a podczas rozpadów β^- – antyneutrino elektronowe $\overline{\nu}_e$. Obie cząstki nie mają ładunku elektrycznego i bardzo słabo oddziałują z materią.

Ciekawostka

Neutrino to jedna z najbardziej tajemniczych cząstek elementarnych. Nie ma ładunku elektrycznego, a masa tej cząstki jest bliska zeru. Oddziałuje wyjątkowo słabo z materią. Neutrino można rejestrować tylko pośrednio, na podstawie obserwacji rezultatów oddziaływań tych cząstek z jądrami atomów. Gdy neutrino zostanie wychwycone przez jądro, co statystycznie jest bardzo mało prawdopodobne, ulega rozpadowi, którego efekty możemy zaobserwować w specjalnych detektorach.

Ciekawostka

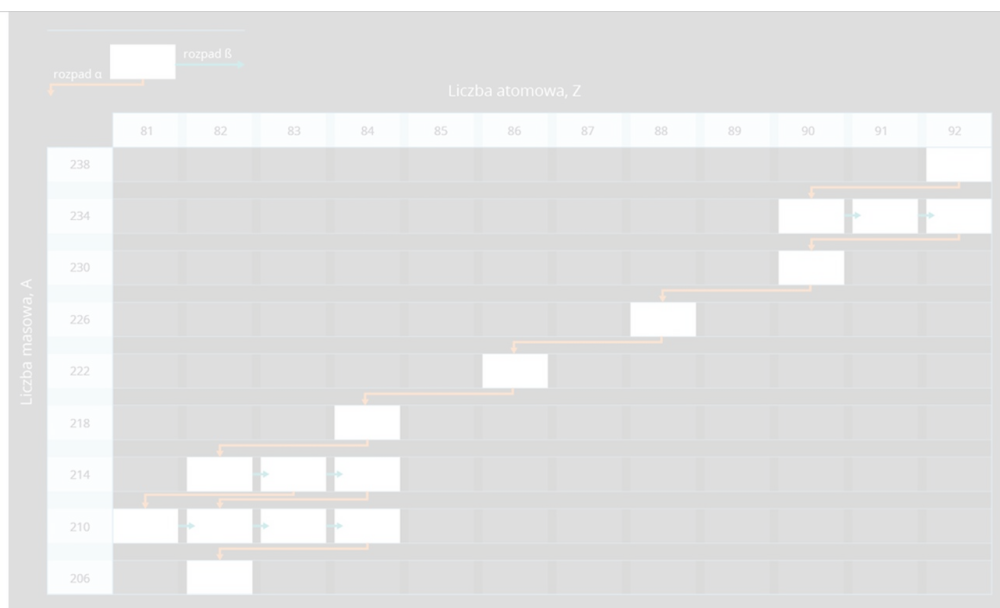
Istnienie neutrin przewidział Wolfgang Pauli w 1930 roku. Podczas analizy rozkładu energii elektronów w rozpadzie beta stwierdził, że w tym procesie często brakuje znacznej części początkowej wartości energii. Jak zapewne pamiętasz, w fizyce obowiązuje zasada zachowania energii: suma energii ciał w układzie przed procesem musi równać się sumie ich energii po zakończeniu procesu. W 1930 r. uważano, że w rozpadzie beta nie była spełniona zasada zachowania energii albo że istniała jeszcze jedna, trudno wykrywalna cząstka, która unosiła ze sobą część początkowej energii układu.

Eksperymentalne potwierdzenie hipotezy Pauliego o istnieniu neutrina nastąpiło dopiero w 1956 roku.

Ćwiczenie 5



Korzystając z poniższej aplikacji wybierz, czy podane przejście zachodzi przez emisję cząstki α czy jest rozpadem β^- .



Zasób interaktywny dostępny pod adresem <https://zpe.gov.pl/a/DQz8d5nEu>

Szereg promieniotwórczy uranowo-radowy. Czasami nowo powstałe jądro jest niestabilne i ulega kolejnym rozpadom tak długo, dopóki w efekcie przemian nie powstanie jądro stabilne.

Źródło: Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, licencja: CC BY 3.0.

Rozpad	Rozpad α	Rozpad β^-
$^{238}\text{U} \rightarrow ^{234}\text{Th}$	☐	☐
$^{234}\text{Pa} \rightarrow ^{234}\text{U}$	☐	☐
$^{218}\text{Po} \rightarrow ^{214}\text{Pb}$	☐	☐
$^{214}\text{Po} \rightarrow ^{210}\text{Pb}$	☐	☐
$^{214}\text{Bi} \rightarrow ^{214}\text{Po}$	☐	☐
$^{210}\text{Tl} \rightarrow ^{210}\text{Pb}$	☐	☐
$^{210}\text{Po} \rightarrow ^{206}\text{Pb}$	☐	☐

Źródło: ZPE, licencja: CC BY 3.0.

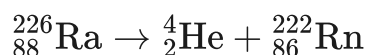
Reguły przesunięć wyjaśniły wiele niezrozumiałych dotąd zjawisk, obserwowanych podczas badania właściwości różnych pierwiastków. Jednak dopiero odkrycie

neutronu przez Jamesa Chadwicka w 1932 roku ostatecznie rozwiązało zagadkę istnienia [izotopów](#).

Warto podkreślić, że w powyższych równaniach przemian jądrowych obowiązują dwie zasady. Jedna to znana już wcześniej [zasada zachowania ładunku](#). Zarówno w rozpadzie α , jak i β suma ładunków przed rozpadem jest równa sumie ładunków cząstek po rozpadzie. Drugą zasadę sformułujemy jako [zasadę zachowania liczby nukleonów](#).

Przykład 1

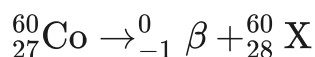
Rad ${}^{226}_{88}\text{Ra}$ ulega rozpadowi α . Schemat rozpadu jest następujący:



Skorzystaliśmy tu z obu wymienionych wyżej zasad: suma ładunków przed rozpadem jest równa 88, suma po rozpadzie również wynosi $86 + 2 = 88$. Suma nukleonów po rozpadzie to $4 + 222 = 226$, czyli tyle samo co przed rozpadem.

Przykład 2

Jeden z izotopów kobaltu ${}^{60}_{27}\text{Co}$ emituje cząstki β . Zapis rozpadu jest następujący:



Liczba nukleonów jest stała i wynosi 60. Suma ładunków przed rozpadem wynosi 27 i tyle samo po rozpadzie: $-1 + 28 = 27$. W [układzie okresowym](#) sprawdzamy, że pierwiastkiem X jest nikiel ${}^{60}_{28}\text{Ni}$.

Ćwiczenie 6



Jeden z izotopów fosforu rozpada się w następujący sposób: ${}^{30}_{15}\text{P} \rightarrow \square + {}^{30}_{14}\text{Si}$. Wskaż brakujący element powyższego równania.

☐ ${}^4_2\alpha$

☐ ${}^0_1\beta$

☐ ${}^0_{-1}\beta$

Źródło: ZPE, licencja: CC BY 3.0.

Podsumowanie

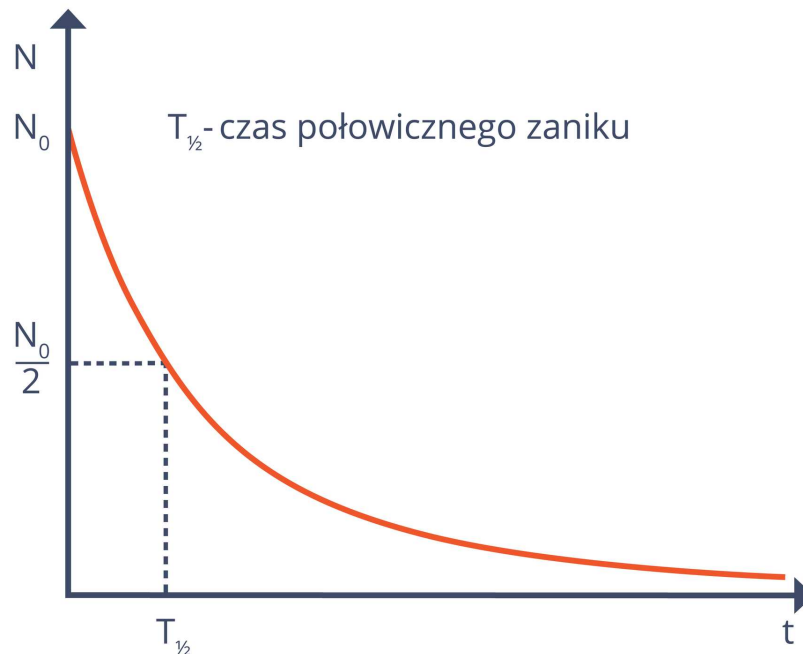
- Izotopy promieniotwórcze dzielimy na stabilne (trwałe) i nietrwałe. Czas życia izotopów nietrwałych (promieniotwórczych) jest stosunkowo krótki, a podczas rozpadu emitują one promieniowanie α , β lub γ .
- W celu określenia stopnia radioaktywności pierwiastka wprowadzono pojęcie aktywności. Wyrażenie $A(t) = \frac{\Delta N}{\Delta t}$ nazywamy aktywnością danej próbki. Oznacza ono liczbę rozpadających się jąder w jednostce czasu (szybkość rozpadów). Aktywność ta jest proporcjonalna do aktualnej liczby jąder danego pierwiastka: $A(t) = \lambda \cdot N(t)$. Ponieważ liczba jąder radioaktywnych maleje w wyniku rozpadów (a tak jest zawsze), to aktywność spada.
- Jednostką aktywności promieniotwórczej jest 1 bekerel (Bq):

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

- Aktywność promieniotwórcza jest równa jednemu bekerelowi, jeśli w czasie jednej sekundy następuje jeden rozpad promieniotwórczy.
- Czas, po upływie którego w próbce pozostała połowa początkowej liczby jąder, to okres połowicznego zaniku (niekiedy nazywany również czasem połowicznego rozpadu). Oznaczamy go T lub (częściej) $T_{\frac{1}{2}}$.

- Za pomocą pojęcia okresu połowicznego zaniku możemy zapisać prawo rozpadu w następującej formie:

$$N(t) = N_0 \cdot 2^{-\frac{t}{T_{1/2}}}$$



Prawo rozpadu promieniotwórczego

Źródło: Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, licencja: CC BY 3.0.

- Rozpady α i β podlegają regułom przesunięć (regułom Soddy'ego-Fajansa).
 Rozpad α : ${}^A_Z\text{X} \rightarrow {}^4_2\alpha + {}^{A-4}_{Z-2}\text{Y}$.
 Rozpad β^- : ${}^A_Z\text{X} \rightarrow {}^0_{-1}\beta + {}^A_{Z+1}\text{Y}$,
 Rozpad β^+ : ${}^A_Z\text{X} \rightarrow {}^0_{+1}\beta + {}^A_{Z-1}\text{Y}$,
- Promieniowanie γ (gamma) powstaje podczas rozpadów α lub β i jest skutkiem uwolnienia przez jądro nadmiaru energii w formie kwantów promieniowania elektromagnetycznego o bardzo dużej energii.

Zadanie podsumowujące moduł

Ćwiczenie 7



Oceń prawdziwość poniższych zdań. Przy każdym zdaniu w tabeli zaznacz „Prawda” albo „Fałsz”.

Zdanie	Prawda	Fałsz
Czas połowicznego zaniku to czas, w którym rozpadnie się połowa jąder w danej próbce.	☐	☐
W każdym rozpadzie alfa następuje zmniejszenie się ładunku jądra.	☐	☐
Szybkość rozpadu promieniotwórczego to inaczej aktywność próbki.	☐	☐
W wyniku rozpadu beta minus następuje zmniejszenie się liczby protonów w jądrze.	☐	☐

Źródło: ZPE, licencja: CC BY 3.0.

Ćwiczenie 8



Jądro powstałe w wyniku rozpadu może być dalej niestabilne i ulegać dalszym rozpadom. Jądro atomu uranu $^{238}_{92}\text{U}$ rozpada się tak, że powstaje jądro innego izotopu uranu $^{234}_{92}\text{U}$. Jakie cząstki zostały wypromieniowane w tych rozpadach i ile ich było? Zaznacz poprawną odpowiedź.

☐ 2 rozpady β^+ oraz 1 rozpad α

☐ 1 rozpad β^+ oraz 2 rozpady α

☐ 2 rozpady β^- oraz 1 rozpad α

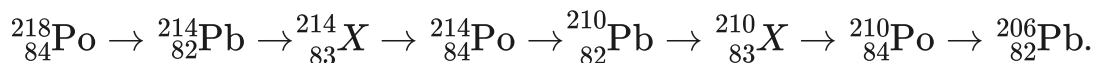
☐ 1 rozpad β^- oraz 2 rozpady α

Źródło: ZPE, licencja: CC BY 3.0.

Ćwiczenie 9



W przyrodzie istnieją tzw. szeregi promieniotwórcze. Dzieje się tak dlatego, że nowo powstałe jądro jest niestabilne i ulega kolejnym rozpadom tak aż do momentu powstania stabilnego jądra. Fragment jednego z szeregów może być zapisany w następujący sposób:



Skorzystaj z układu okresowego i rozszyfruj pierwiastek X.

Uzupełnij lukę w odpowiedzi, wpisując odpowiedni symbol pierwiastka.

Odpowiedź: Pierwiastek X to o symbolu .

Źródło: ZPE, licencja: CC BY 3.0.

Ćwiczenie 10



W czasie równym okresowi połowicznego zaniku połowa jąder ulega rozpadowi. A co stanie się w czasie połowy okresu połowicznego zaniku? W odpowiedzi wykorzystaj wykres zależności liczby jąder od czasu dla pierwiastków radioaktywnych.

Słownik

aktywność pierwiastka

szybkość rozpadów promieniotwórczych izotopu obliczana jako iloraz liczby jąder ΔN , które uległy rozpadowi, i czasu Δt , w którym ten rozpad nastąpił.

czas połowicznego rozpadu

patrz: [okres połowicznego rozpadu](#).

izotopy

odmiany atomów tego samego pierwiastka różniące się od siebie liczbą neutronów.

izotopy stabilne

nieradioaktywne izotopy, czyli takie, które nie ulegają spontanicznym przemianom promieniotwórczym.

neutrino

cząstka niezwykle trudna do wykrycia, słabo oddziałująca z materią, obojętna elektrycznie, mająca masę spoczynkową bliską zeru; w 1930 r. istnienie neutrina przewidział Wolfgang Pauli; doświadczalne potwierdzenie istnienia tej cząstki nastąpiło dopiero w 1956 r.

okres połowicznego rozpadu (okres połowicznego zaniku)

czas, po upływie którego w próbce pozostaje połowa początkowej liczby jąder.

reguła przesunięć

reguła pozwalająca określić, w jaki sposób ulega zmianie liczba masowa A i liczba atomowa Z jądra izotopu promieniotwórczego w czasie rozpadów alfa i beta.

układ okresowy

tabela będąca zestawieniem wszystkich znanych pierwiastków chemicznych, uporządkowanych zgodnie z rosnącą wartością ich liczby atomowej.

zasada zachowania ładunku

zasada, która wyraża doświadczalnie obserwowany fakt, że sumaryczny ładunek elektryczny układu (elektrycznie izolowanego) nie zmienia się pomimo przemian, którym ten układ ulega.

zasada zachowania liczby nukleonów

zasada mówiąca o tym, że podczas przemiany jądrowej liczba nukleonów nie ulega zmianie.

Biogram



Wolfgang Pauli

Źródło: Nobel foundation, dostępny w internecie: <http://commons.wikimedia.org>, domena publiczna.

Wolfgang Pauli

1900.04.25 Wiedeń – 1958.12.15 Zurych

Wolfgang Pauli był austriackim fizykiem i noblistą. Jego prace przyczyniły się do rozwoju mechaniki kwantowej, teorii cząstek elementarnych i kwantowej teorii pola. W 1930 r. zapostulował istnienie neutrina. Sformułował także regułę zwaną zakazem Pauliego, która opisuje sposób obsadzania stanów kwantowych w układach fermionów (w tym elektronów).