

Reakcje jądrowe

Elementy zasobu:

1. Starter: ogólny wstęp do tematu, fotografię sztabki złota, odwołanie do wcześniejszej wiedzy ucznia oraz cele lekcji sformułowane w języku ucznia.
2. Zawartość tekstowa: rys historyczny dotyczący pierwszej reakcji jądrowej przeprowadzonej przez Rutherforda w 1919 r.; schematy reakcji jądrowej (wzór) wraz z wyjaśnieniem; zapis reakcji jądrowej Rutherforda; film animowany przedstawiający reakcję jądrową Rutherforda (czas: 0:29 s); omówienie zasady zachowania ładunku elektrycznego i zasady zachowania liczby nukleonów w reakcjach jądrowych; omówienie (wraz zapisem wzorów) reakcji jądrowych, w wyniku których powstają sztuczne izotopy promieniotwórcze; informacja historyczna związana z odkryciem reakcji powstawania sztucznego izotopu fosforu przez Fryderyka i Irenę Joliot-Curie w 1934 r.; ciekawostka związana z odkryciem neutronu; ciekawostka dotycząca transmutacji rtęci w złoto; diagram kołowy przedstawiający skład izotopowy rtęci występującej w przyrodzie; omówienie miejsca ciężkich jąder w tablicy Mendelejewa.
3. Zadanie polegające na zapisaniu równania reakcji jądrowej.
4. Podsumowanie: siedem sformułowań podsumowujących dotyczących reakcji jądrowych.
5. Zadanie podsumowujące modu: ćwiczenie interaktywne typu prawda/fałsz zawierające cztery sformułowania.
6. Praca domowa: zestaw trzech poleceń polegających na zapisaniu równania reakcji jądrowej.
7. Słowniczek: antycząstka, kopernik, pozyton, sztuczny pierwiastek promieniotwórczy, tablica Mendelejewa, transuranowce
8. Biogramy: Fryderyk Joliot-Curie, Irena Joliot-Curie

Reakcje jądrowe

Samorzutne przemiany jądrowe to cecha niektórych jąder atomowych. Czy człowiek może sam wywołać takie przemiany? Czy można zamienić rtęć w złoto? Jeśli chcesz wiedzieć więcej, czytaj dalej.



Transmutacja metali w złoto, marzenie alchemików od setek lat, stała się faktem dzięki fizyce nuklearnej drugiej połowy XX wieku. Pierwsze udane próby w tym zakresie wywołały nawet pewną panikę na rynkach cennych kruszców, ale na szczęście dla inwestorów i ekonomii okazało się, że produkowanie złota w akceleratorach cząstek i reaktorach nuklearnych jest zbyt kosztowne.

Źródło: Bullion Vault, dostępny w internecie: <https://www.flickr.com/> [dostęp 25.05.2022], licencja: CC BY-ND 2.0.

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

- rodzaje promieniowania jądrowego i ich właściwości;
- aktywność źródła promieniowania;
- jednostka aktywności;
- prawo rozpadu promieniotwórczego;
- czas połowicznego rozpadu pierwiastków.

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

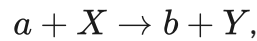
Nauczysz się

- opisywać reakcje jądrowe jako efekt bombardowania jąder atomów poruszającymi się cząstkami.

Pierwszą reakcję jądrową przeprowadził **Ernest Rutherford** [ernest radefed] w 1919 r. – bombardował gazy cząsteczkami alfa, których źródłem był izotop polonu $^{214}_{84}\text{Po}$. Podczas

eksperymentu z azotem zaobserwował, że na skutek takich zderzeń pojawiają się protony i śladowe ilości tlenu. Rutherford zinterpretował wyniki swoich pomiarów następująco: kiedy cząstka alfa uderza w jądro atomu azotu, bierze udział w reakcji jądrowej, dzięki której zamienia się ono w tlen, czemu towarzyszy emisja protonu.

Reakcję jądrową najczęściej przedstawiamy schematycznie:



gdzie:

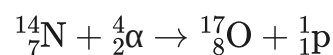
X – jądro bombardowanego pierwiastka, tzw. tarcza;

a – cząstka bombardująca;

Y – jądro powstałe w czasie reakcji;

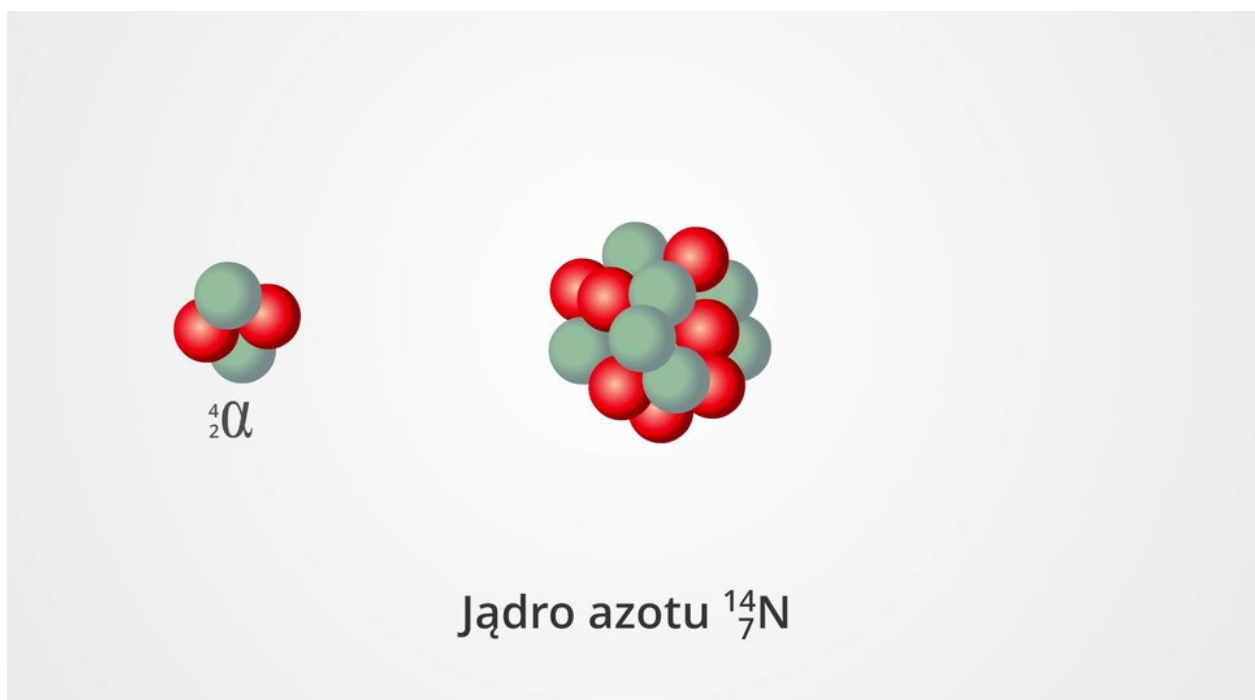
b – cząstka powstała w czasie reakcji.

Reakcję zaobserwowaną przez Rutherforda możemy zapisać następująco:



Jak widać, liczby A i Z są takie same po obu stronach reakcji.

Precyzyjne badania nad omawianą reakcją jądrową wykazały, że nie zachodzi ona jednoetapowo, tzn. reakcja ma swoją fazę pośrednią, którą najczęściej pomija się w formalnym zapisie. Zanim utworzy się stabilne jądro izotopu tlenu ${}^{17}\text{O}$, powstaje niestabilne jądro fluoru ${}^{18}\text{F}$, które się rozpada i wyrzuca proton, jak na poniższej animacji.



Film dostępny pod adresem </preview/resource/RoaEOOccownp2>

Film dotyczący reakcji jądrowych.

Należy pamiętać, że w reakcjach jądrowych (podobnie jak w zjawiskach rozpadu promieniotwórczego) obowiązują zasady zachowania ładunku elektrycznego i liczby nukleonów. Na przykładzie powyższej reakcji:

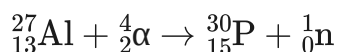
1. Przed zderzeniem

- liczba nukleonów wynosiła 18 (14 od jądra azotu i 4 od cząstki alfa),
- liczba protonów wynosiła 9 (7 w jądrze azotu i 2 w cząsteczce alfa),
- ładunek wynosił $9e$.

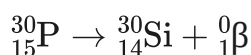
2. Po zderzeniu

- liczba nukleonów wynosiła 18 (17 od jądra tlenu i 1 proton swobodny),
- liczba protonów wynosiła 9 (8 w jądrze azotu i 1 proton swobodny),
- ładunek wynosił $9e$.

Podobnym reakcjom jądrowym ulegają także inne pierwiastki, które bombardowane są lekkimi cząstkami, takimi jak proton czy neutron. W wyniku takich reakcji mogą powstać sztuczne izotopy promieniotwórcze, niewystępujące w przyrodzie. Sztuczne pierwiastki promieniotwórcze podlegają takim samym prawom jak naturalne; jedyna różnica polega na tym, że jądro takiego pierwiastka zostało sztucznie pobudzone do emisji promieniowania. Przykładowo: jesteśmy w stanie wytworzyć radioaktywny izotop fosforu, jeśli atomy glinu zbombardujemy cząsteczkami α . Reakcję tę można zapisać następująco:



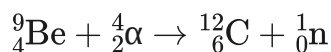
Izotop fosforu ${}^{30}\text{P}$ jest nietrwały i zachodzi w nim rozpad β , jednak cząstka, która jest emitowana, to nie elektron, ponieważ ma ona ładunek dodatni. Mówimy wówczas, że zaszedł rozpad β^+ , a cząstkę tę nazywamy **pozytonem**, który jest **antycząstką** elektronu. Czas połowicznego rozpadu niestabilnego izotopu ${}^{30}\text{P}$ wynosi ok. 150 sekund. Izotop ten rozpada się na stabilne jądro krzemu i wspomniany już pozyton:



Reakcja powstawania sztucznego izotopu fosforu odkryta została w 1934 r. przez **Fryderyka i Irenę Joliot-Curie** – córkę **Marii Skłodowskiej-Curie**. Małżeństwo badało także inne reakcje, podczas których cząstkami alfa bombardowano atomy boru i magnezu, na skutek czego otrzymano niestabilne promieniotwórcze izotopy azotu i krzemu. Oba te izotopy podlegają następnie rozpadowi β^+ .

Ciekawostka

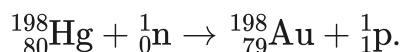
W jednej z reakcji jądrowych odkryto **neutron**. Chadwick [czadłyk] w 1932 r. bombardował jądra berylu cząstkami α i jako produkt tej reakcji zidentyfikował cząstkę, która nie zawierała ładunku. Tą cząstką był neutron. Reakcję tę można zapisać następująco:



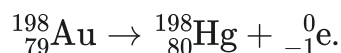
Ciekawostka

Odwiecznym marzeniem alchemików była przemiana (transmutacja) jednych substancji w inne, zwłaszcza rtęci w złoto. Czy jest to możliwe z punktu widzenia dzisiejszej nauki?

Obecnie możemy uzyskać złoto przez bombardowanie izotopu rtęci ${}^{198}_{80}\text{Hg}$ neutronami:

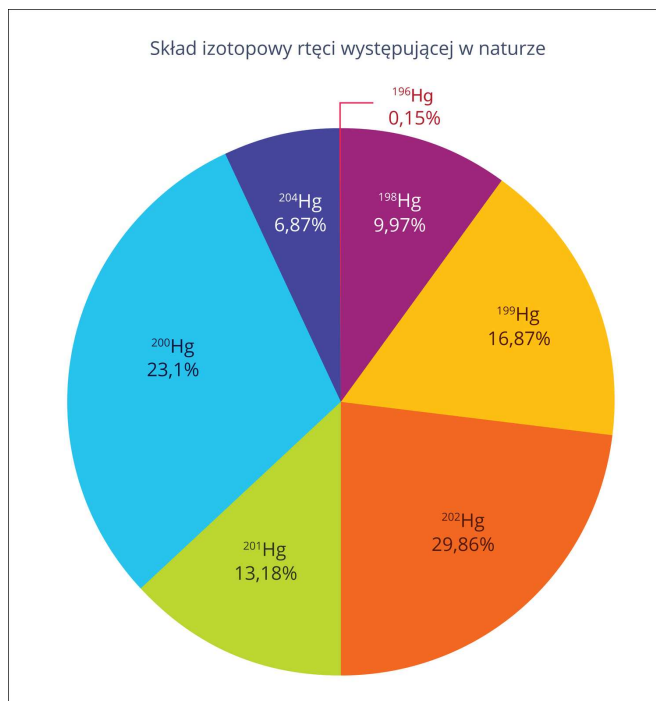


Jednak tak powstałe złoto jest nietrwałe (promieniotwórcze) i szybko ulega rozpadowi:



Jedynym niepromieniotwórczym izotopem złota, który występuje w przyrodzie, jest ${}^{197}\text{Au}$. Czy ten izotop można otrzymać sztucznie?

Otrzymamy go, kiedy zbombardujemy izotop ${}^{197}\text{Hg}$ neutronami. Ale i tu pojawia się problem: izotop ${}^{197}\text{Hg}$ musielibyśmy wytworzyć w reaktorze, a do tego celu niezbędny jest izotop ${}^{196}\text{Hg}$, którego w przyrodzie jest bardzo mało.



Izotop rtęci Hg-196 to tylko 0,15% ilości wagowej rtęci występującej w naturze

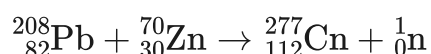
Źródło: Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, licencja: CC BY 3.0.

A co z izotopem ^{199}Hg ? Po pochłonięciu neutronu przekształcił się on w rtęć ^{200}Hg , a nie w oczekiwaną „złototwórczą” rtęć ^{197}Hg .

Jak widać, marzenia alchemików spełniły się tylko częściowo. Moglibyśmy jeszcze spróbować otrzymać trwałe złoto z platyny, ale czy okazałoby się to opłacalne?

Koszty uzyskania złota z innych pierwiastków w stosunku do jego ceny rynkowej są w przybliżeniu 5000 razy wyższe!

Tablica Mendelejewa początkowo zawierała pierwiastki do liczby porządkowej 92 ($_{92}\text{U}$). Badanie reakcji jądrowych doprowadziło jednak do wniosku, że istnieją jeszcze cięższe jądra. Nazywamy je **transuranowcami**. Pierwszym pierwiastkiem otrzymanym po uranie był neptun (jego nazwa pochodzi od planety Układu Słonecznego – kolejnej po Uranie). W sumie odkryto 22 izotopy neptunu; wszystkie one są promieniotwórcze. Najtrwalszy izotop neptunu to $^{237}_{93}\text{Np}$, którego okres połowicznego zaniku wynosi ok. $2,2 \cdot 10^6$ lat. Izotop ten powstaje w wyniku bombardowania jąder uranu $^{238}_{92}\text{U}$ neutronami. Następny pierwiastek, pluton, uzyskano w wyniku bombardowania jąder uranu jądrami deuteru ^2_1H . Pluton – podobnie jak neptun – nie zawiera trwałych izotopów. Okres połowicznego zaniku najtrwalszego z nich wynosi ok. 80 mln lat. Łatwo się domyślić, że dalsze pierwiastki uzyskiwano w podobny sposób: ciężkie jądra bombardowano jądrami coraz to cięższych pierwiastków. Jednym z transuranowców jest **kopernik** $^{277}_{112}\text{Cn}$. Powstał on w przebiegu następującej reakcji:



Jego najstabilniejszym znanym izotopem jest obecnie ^{285}Cn . Okresy połowicznego zaniku wszystkich izotopów kopernika są krótsze niż 9 minut.

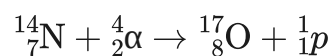
Zadanie

Polecenie 1

Atomy azotu $^{14}_7\text{N}$ bombardowane deuterem ^2_1H tworzą węgiel $^{12}_6\text{C}$. Zapisz równanie tej reakcji jądrowej. Jakie cząstki są emitowane podczas tej reakcji?

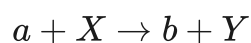
Podsumowanie

- Sformułowanie „sztuczny pierwiastek promieniotwórczy” odnosi się do izotopów promieniotwórczych powstałych w reakcjach wywołanych przez człowieka (sztucznie).
- Pierwsza reakcja jądrowa została przeprowadzona przez Ernesta Rutherforda w wyniku bombardowania atomów azotu cząstkami alfa.
- Eksperyment Rutherforda przebiegał według poniższego schematu:



Jądro atomu azotu na skutek przemiany jądrowej przekształciło się w izotop tlenu, czemu towarzyszyła emisja protonu.

- Sztuczne izotopy promieniotwórcze były przedmiotem badań Fryderyka i Ireny Joliot-Curie.
- Reakcje jądrowe można przedstawić według następującego schematu:



gdzie:

X – jądro bombardowanego pierwiastka, tzw. tarcza;

a – cząstka bombardująca;

Y – jądro powstałe w czasie reakcji;

b – cząstka powstała w czasie reakcji.

- Okazało się, że jeśli bombardujemy jądra atomów pierwiastków cząsteczkami lekkimi (protony, neutrony), możemy doprowadzić do rozpadu tych jąder na inne lżejsze jądra, czemu zwykle towarzyszy emisja promieniowania jonizującego.
- W 1935 r. Fryderyk i Irena Joliot-Curie zostali uhonorowani Nagrodą Nobla w dziedzinie chemii. Nagrodę otrzymali za badania nad sztucznymi pierwiastkami i za odkrycie powstawania par elektron-pozyton.

Zadania podsumowujące moduł

Ćwiczenie 1



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

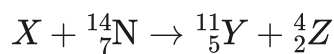
Zdanie	Prawda	Fałsz
W reakcjach jądrowych obowiązuje zasada zachowania masy.	☐	☐
W reakcjach jądrowych obowiązuje zasada zachowania ładunku elektrycznego.	☐	☐
W reakcjach jądrowych obowiązuje zasada zachowania masy – energii.	☐	☐
W reakcjach jądrowych obowiązuje zasada zachowania liczby nukleonów.	☐	☐

Polecenie 2

Atomy siarki $^{32}_{16}\text{S}$, bombardowane neutronami, przekształcają się w atomy fosforu $^{32}_{15}\text{P}$. Zapisz równanie tej reakcji.

Polecenie 3

Zidentyfikuj cząstki lub pierwiastki X , Y i Z w poniższym zapisie reakcji jądrowej:



Polecenie 4

W wyniku zderzenia dwóch jąder deuteru możemy otrzymać albo izotop helu ${}^3_2\text{He}$, albo izotop wodoru ${}^3_1\text{H}$ (tryt). Zapisz równania obu reakcji.

Słownik

antycząstka

cząstka, która w stosunku do danej cząstki różni się jedną cechą, np. znakiem ładunku (elektron β^- i pozyton β^+).

kopernik

sztucznie wytworzony pierwiastek należący do grupy transuranowców; jego najstabilniejszy izotop to ${}^{285}\text{Cn}$.

pozyton

antycząstka [elektronu](#); ma taką samą masę co elektron i taką samą wartość ładunku o przeciwnym znaku.

sztuczny pierwiastek promieniotwórczy

pierwiastek będący wynikiem reakcji jądrowych wywołanych sztucznie przez bombardowanie jąder pierwiastków cząstkami alfa, beta, neutronami itd.

tablica Mendelejewa

patrz: [układ okresowy pierwiastków](#).

transuranowce

pierwiastki promieniotwórcze, których liczba atomowa $Z > 92$, a więc w układzie okresowym zajmujące miejsca za uranem ($Z = 92$). Zazwyczaj są uzyskiwane sztucznie w wyniku reakcji jądrowych (wyjątek stanowią neptun i pluton – ich śladowe ilości znaleziono w rudach uranowych).

elektron

trwała cząstka elementarna o ujemnym ładunku elektrycznym wynoszącym $1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$.

układ okresowy

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



Frédéric Joliot-Curie

Źródło: Harcourt, dostępny w internecie: <https://commons.wikimedia.org>, licencja: CC BY 4.0.

Fryderyk Joliot-Curie

1900.09.19 Paryż – 1958.08.14 Paryż

[żolju-kiuri] Francuski fizyk, laureat Nagrody Nobla w dziedzinie chemii. Nagrodę otrzymał za odkrycie powstawania par elektron – pozyton i za badania nad sztuczną promieniotwórczością.



Irena Joliot-Curie

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

Irena Joliot-Curie

1897.09.12 Paryż – 1956.03.17 Paryż

[żolju-kiuri] Córka [Marii Skłodowskiej-Curie](#). Wraz z mężem [Fryderykiem](#) otrzymała Nagrodę Nobla w dziedzinie chemii (za odkrycie powstawania par elektron – pozyton oraz za badania nad sztuczną promieniotwórczością).