



## Naturalne szeregi promieniotwórcze

- [Wprowadzenie](#)
- [Przeczytaj](#)
- [Symulacja interaktywna](#)
- [Sprawdź się](#)
- [Dla nauczyciela](#)



Wyobraź sobie, że jedziesz w upalny dzień autobusem wypełnionym po brzegi ludźmi. Jak się wtedy czujesz? Niekomfortowo, nieprzyjemnie, chcesz jak najszybciej dojechać do celu i wysiąść. Porównując jądro atomu do autobusu, a ludzi do protonów i neutronów skupionych w jądrze atomowym, zastanów się, co się dzieje z izotopami atomów, w których zawarta jest duża liczba protonów i neutronów? Czy też będą chciały opuścić przestrzeń jądra? Czy cząstki alfa odłączają się od atomu pierwiastka z taką samą częstotliwością? Co się stanie z atomem pierwiastka po stracie składników jądra – czy ten proces trwa do atomu?

### Twoje cele

- Przedstawisz, jakim rozkładom promieniotwórczym ulegają nuklidy należące do naturalnych szeregów promieniotwórczych.
- Przeanalizujesz szereg promieniotwórczy pierwiastków.
- Zaproponujesz szereg przemian promieniotwórczych, w wyniku których powstanie atom danego pierwiastka.

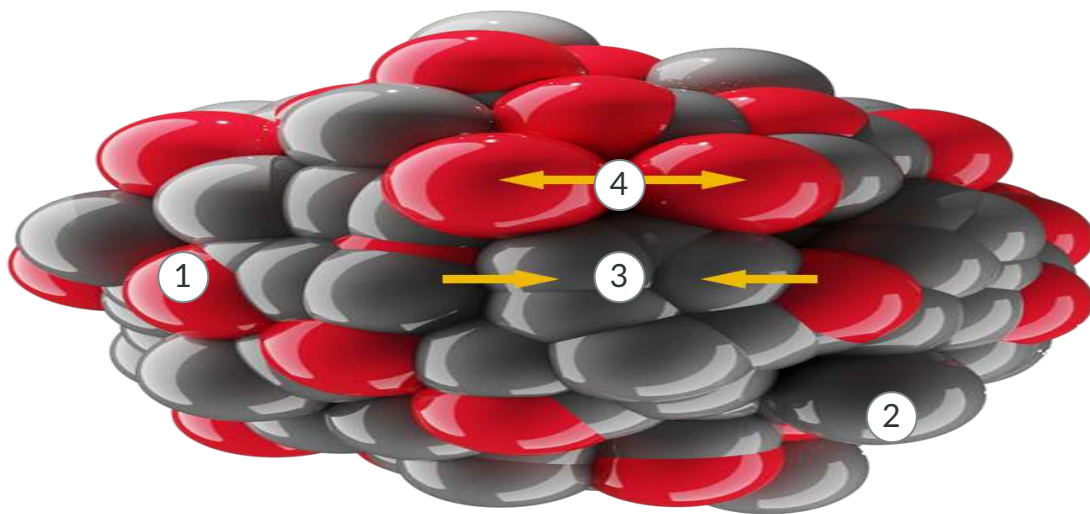
# Przeczytaj

---

## Jądro atomowe

Jądro atomowe zbudowane jest z dodatnio naładowanych protonów i obojętnych neutronów. Razem te **subatomowe cząsteczki** nazywane są nukleonami.

**Protony** elektrycznie się odpychają, ponieważ posiadają ten sam ładunek, jednak silne oddziaływania między wszystkimi cząstkami utrzymują jądro w całości. W wyniku nagromadzenia się znacznej ilości protonów i neutronów w „stosunkowo małej” objętości jądra, staje się ono niestabilne. **Im stosunek liczby protonów do liczby neutronów jest bliższy jedności, tym jądro jest stabilniejsze.** Wraz ze wzrostem liczby protonów w jądrze o ładunku dodatnim, musi wzrosnąć liczba neutronów, żeby „wyrównać” siłę odpychania elektrostatycznego protonów. Spójrz na poniższy model jądra atomu.



---

1

proton

---

2

# neutron

3

## przyciąganie

4

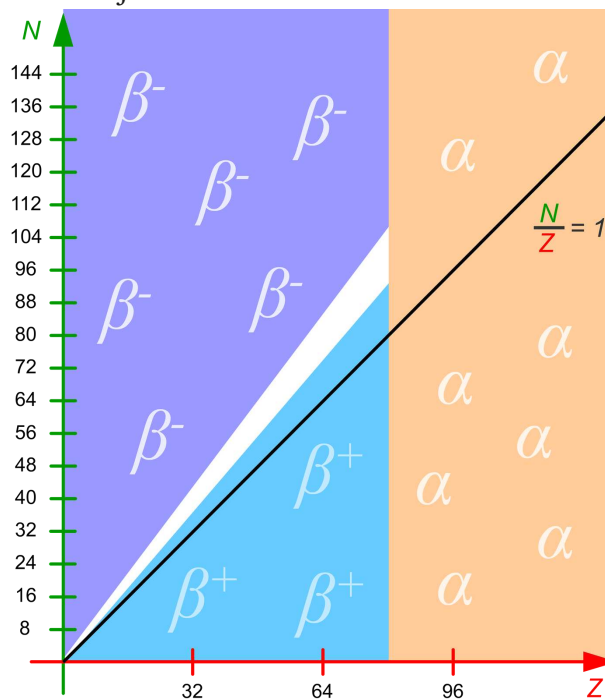
## odpychanie

Jądro atomowe. Neutrony to cząstki, które nie mają ładunku elektrycznego, zaś protony mają ładunek dodatni. Podobnie jak w magnesach, ładunki tego samego znaku odpychają się, a ładunki o różnych znakach przyciągają. Zastanów się, dlaczego jądro atomowe, złożone w większości z protonów, nie rozpadnie się?

Źródło: GroMar Sp. z o.o., licencja: CC BY-SA 3.0.

## Trwałość jąder atomowych

Poniższy wykres przedstawia trwałość jąder atomowych w odniesieniu do stosunku liczby neutronów  $N$  do liczby atomowej  $Z$ .



Wykres przedstawiający trwałość jąder atomowych w zależności od stosunku liczby neutronów  $N$  do liczby atomowej  $Z$ . Kolorem białym zaznaczone są jądra trwałe, z kolei blok fioletowy oznacza jądra, które ulegają

rozpadowi  $\beta^-$ , blok niebieski – dotyczy rozpadu  $\beta^+$ , a blok pomarańczowy – rozpadu  $\alpha$ . Czarna linia oznacza stosunek liczby neutronów  $N$  do liczby atomowej  $Z$  równy 1.

Źródło: GroMar Sp. z o. o. na podstawie [www.pl.wikipedia.org](http://www.pl.wikipedia.org), domena publiczna.

**Nuklidy**, dla których liczba atomowa  $Z$  jest większa od 83, są nietrwałe i promieniotwórcze. By osiągnąć większą trwałość, tracą one protony i neutrony, zmniejszając swoją liczbę atomową. **Nukleony** są emitowane przez jądra w postaci **promieniowania**  $\alpha$ , a elektrony w postaci **promieni**  $\beta^-$ .

Pierwiastki i izotopy, utworzone ponad 4,5 miliarda lat temu, nazywane są pierwotnymi, co oznacza, że zostały wygenerowane przez procesy gwiazdne wszechświata. Wszystkie izotopy, których okres połowicznego rozpadu jest krótszy od 100 milionów lat, występują teraz w ilościach śladowych lub całkowicie zniknęły.

Promieniotwórcze nuklidy przekształcają się w inne nuklidy pod wpływem rozpadów promieniotwórczych (alfa i beta), a kończą się na uzyskaniu trwałego izotopu. Tworzą wówczas tzw. **szereg promieniotwórczy**. W przyrodzie występują cztery szeregi promieniotwórcze. O przynależności atomu/izotopu pierwiastka do danego szeregu decyduje jego liczba masowa  $A$ . Znając liczbę masową atomu lub izotopu pierwiastka, po odjęciu od niej liczby  $m$ , musi nam wyjść liczba podzielna przez 4. Na tej właśnie podstawie można przewidzieć przynależność pierwiastka do danego szeregu. Podczas rozpadu promieniotwórczego jest emitowana **cząstka**  $\alpha$ , która zmniejsza masę atomową nuklidu o 4. Zależność tę można przedstawić wzorem:

$$A = 4n + m,$$

gdzie:

- $n$  – liczba całkowita;
- $m$  – przyjmuje wartości 0, 1, 2, 3.

## Rodzaje szeregów promieniotwórczych

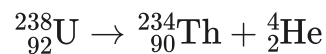
Pochodzenie	Nazwa	Wartość $m$
Naturalne	Uranowo-radowy	2
	Uranowo-aktynowy	3
	Torowy	0
Sztuczne	Neptunowy	1

Nazwy szeregów promieniotwórczych pochodzą od izotopu rozpoczynającego dany ciąg rozpadów. Różnica w nazwach dwóch szeregów uranowych wynika z faktu, że w szeregu uranowo-aktywnym pojawia się zarówno aktywny, jak i rad. Natomiast w szeregu uranowo-radowym nie pojawia się już aktywny.

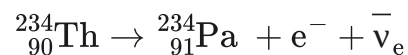
## Szereg uranowo-radowy

Rozpoczyna się od **uranu-238**, a kończy na **ołowiu-206**. Do tego szeregu należy 16 nuklidów, m.in.: astat, bizmut, polon, protaktyn, rad, radon, tal, tor.

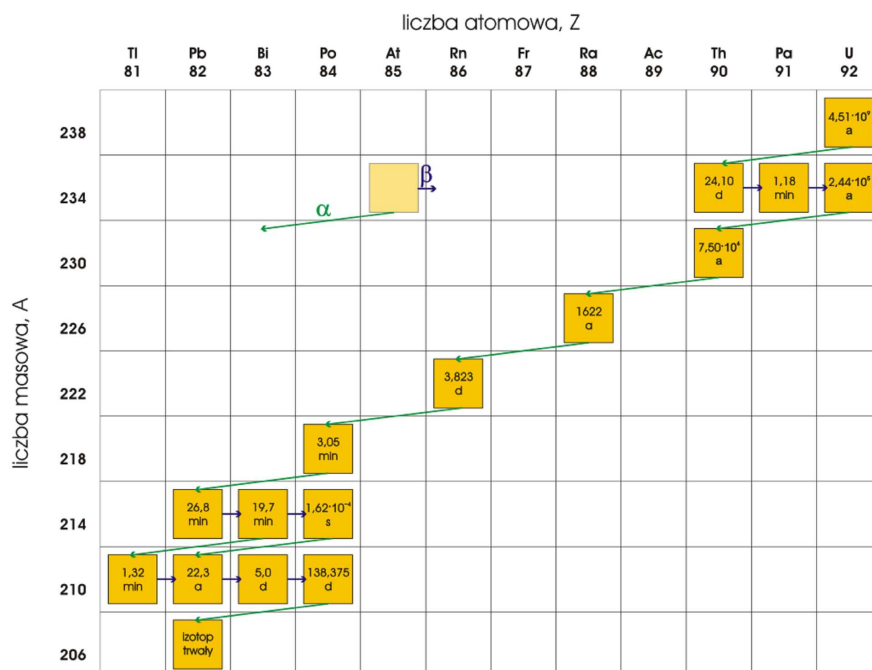
**Czas połowicznego rozpadu**  $^{238}\text{U}$  trwa 4,5 miliarda lat. Jest to czas, po którym rozpadowi ulegnie 50% atomów uranu-238. Uran, emitując cząstkę  $\alpha$ , przekształca się w izotop toru-234, zgodnie z równaniem:



Czas połowicznego rozpadu toru-234 wynosi 24 dni. Atomy toru-234 przekształcają się w kolejny izotop, emitując promieniowanie  $\beta^-$ , wg równania:



Cały szereg promieniotwórczy uranowo-radowy przedstawiony został na schemacie poniżej.

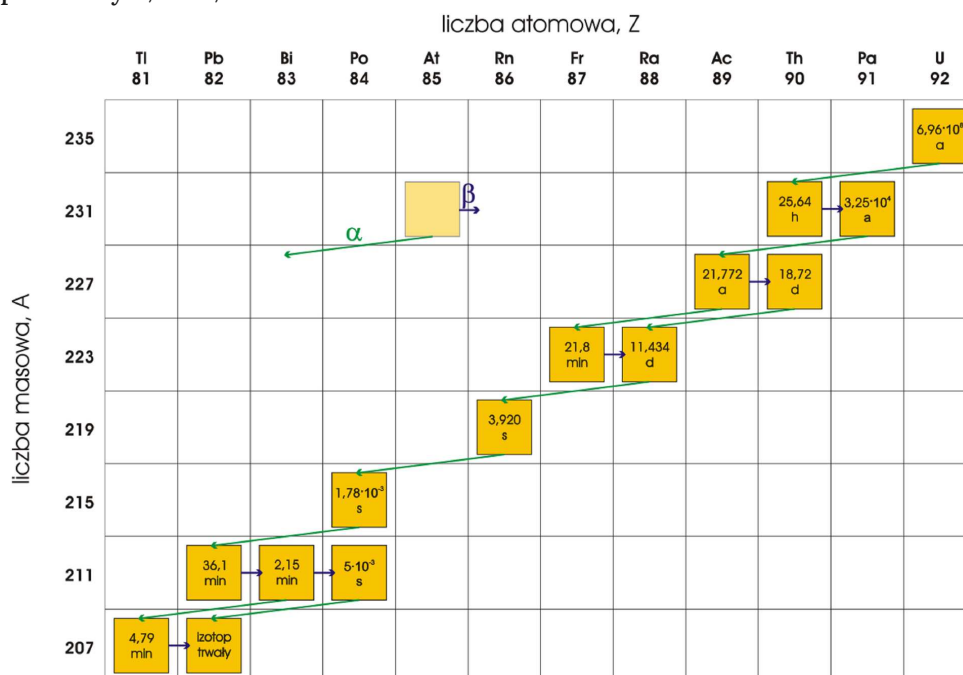


Szereg promieniotwórczy uranowo-radowy, gdzie a oznacza lata, d – dni, h – godziny, min – minuty, s – sekundy. Zauważ, że wśród nuklidów nie występuje aktywny.

Źródło: dostępny w internecie: [www.pl.wikipedia.org](http://www.pl.wikipedia.org), domena publiczna.

## Szereg uranowo-aktywny

Szereg uranowo-aktywny rozpoczyna się od naturalnie występującego **uranu-235**, a kończy na stabilnym **ołowiu-207**. Należy do niego 14 nuklidów, m.in.: aktyn, astat, bizmut, frans, polon, protaktyn, rad, radon tal i tor.



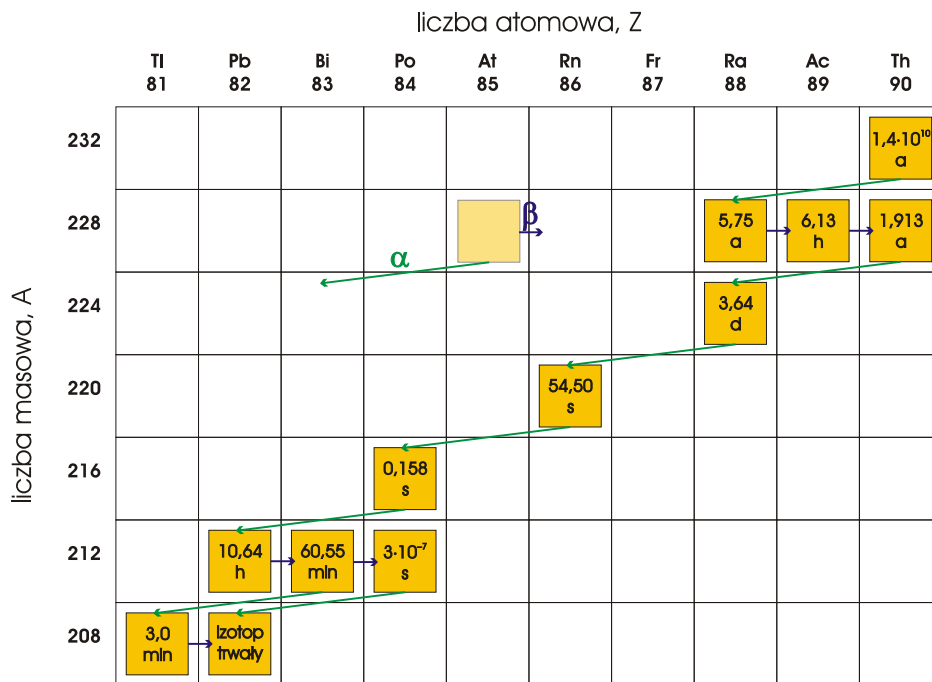
Szereg uranowo-aktywny, gdzie **a** oznacza lata, **d** – dni, **h** – godziny, **min** – minuty, **s** – sekundy.

W przeciwieństwie do szeregu uranowo-radowego, w szeregu uranowo-aktywnym jednym z nuklidów jest aktyn.

Źródło: dostępny w internecie: [www.pl.wikipedia.org](http://www.pl.wikipedia.org), domena publiczna.

## Szereg torowy

Szereg torowy rozpoczyna się od **toru-232**, a kończy na **ołowiu-208**. Należy do niego 12 nuklidów, m.in.: rad, aktyn, radon, polon, tal bizmut. Czas połowicznego rozpadu toru-232 wynosi 14 milionów lat.



Szereg torowy, gdzie a oznacza lata, d – dni, h – godziny, min – minuty, s – sekundy.

Źródło: dostępny w internecie: [www.pl.wikipedia.org](http://www.pl.wikipedia.org), domena publiczna.

### Ciekawostka

Zwróć uwagę, że w szeregu uranowo-aktynowym powstaje izotop toru-234, którego czas połowicznego rozpadu wynosi 24 dni, natomiast w przypadku szeregu torowego trwałość izotopu toru-232 wynosi aż 14 miliardów lat!

Tor-234 ulega rozpadowi  $\beta^-$ , w wyniku czego emitowany jest elektron, a liczba atomowa  $Z$  rośnie o 1. Z kolei tor-232 podczas **rozpadu** emituje cząstkę  $\alpha$ , zmniejszając swoją liczbę atomową o 2 i liczbę masową o 4. Wynika to z oddziaływań w jądrze atomowym – dodatnie protony odpychają się wzajemnie, natomiast w przypadku neutronów to odpychanie nie zachodzi. Uczestniczą one w **oddziaływaniach silnych** krótkiego zasięgu, które utrzymują jądro, nie zwiększając przy tym odpychania.

## Przewidywanie trwałości nuklidów

- Jądra zawierające parzystą liczbę protonów i parzystą liczbę neutronów są zazwyczaj trwalsze od nukleonów, mających nieparzystą liczbę neutronów i nieparzystą liczbę protonów.
- Nuklidy są na ogół trwalsze, gdy liczba tworzących je nukleonów jest jedną z liczb magicznych: 2, 8, 20, 50, 82 i 126. Ołów-208 jest podwójnie magicznym nuklidem, ponieważ zawiera 82 protony i 126 neutronów.

- Jądra bogate w neutrony mogą osiągnąć trwałość przez wyrzucenie cząsteczki  $\beta^-$ , a jądra bogate w protony mają tendencje do zmniejszania ilości protonów, a co za tym idzie – do zmniejszania jądra atomowego.
- Nuklidy są nietrwałe, jeśli ich stosunek liczby neutronów do liczby protonów jest za duży, bądź za mały. Dla trwałych atomów lekkich pierwiastków stosunek ten jest bliski 1. Natomiast atomy ciężkich pierwiastków potrzebują nadmiaru neutronów, aby utrzymać protony razem – są one stabilne, gdy stosunek jest bliski 1,5.

$$\frac{N}{Z} \cong 1 - \text{stabilny}$$

$$\frac{N}{Z} > 1 - \text{niestabilny}$$

$$\frac{N}{Z} > 1,3 - \text{promieniotwórczy}$$

## Słownik

**cząstka alfa, cząstka  $\alpha$**

jądro atomu helu o liczbie masowej  $A = 4$ , tj.  ${}^4_2\text{He}$ ; składa się z dwóch protonów i dwóch neutronów

**cząsteczka subatomowa**

cząstka mniejsza niż atom, np.: elektron, proton, neutron

**proton**

(gr. *protos* „pierwszy”) p; fiz. trwała cząstka zaliczana do grupy barionów, składnik jąder atomowych obdarzony ładunkiem dodatnim

**oddziaływania silne**

jedne z czterech podstawowych typów oddziaływań między cząstkami elementarnymi

**neutron**

elektrycznie obojętna cząstka z grupy barionów, składnik jąder atomowych

**szereg promieniotwórczy**

łańcuch powiązanych ze sobą rozpadów  $\alpha$  i  $\beta$  radioaktywnego nuklidu, w wyniku którego otrzymujemy inny radioaktywny nuklid; szereg promieniotwórczy kończy się otrzymaniem stabilnego nuklidu

## rozpad $\alpha$

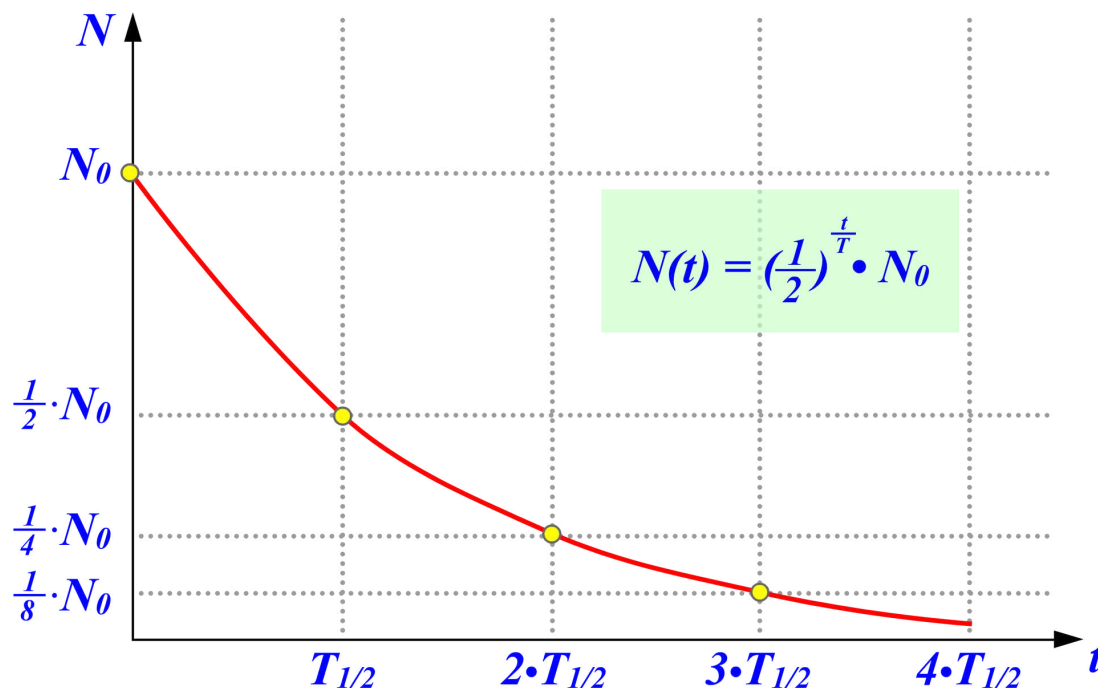
rozpad promieniotwórczy jądra atomowego połączony z emisją jądra helu (cząstki  $\alpha$ )

## rozpad $\beta^-$

rozpad promieniotwórczy jądra atomowego połączony z emisją elektronu

czas połowicznego rozpadu  $T_{\frac{1}{2}}$

czas ( $t$ ), w ciągu którego liczba nietrwających obiektów lub stanów zmniejsza się o połowę



Na początku jest  $N_0$  nuklidów (wartość początkowa), po czasie  $T_{\frac{1}{2}}$  zostaje połowa jąder początkowych, po kolejnym  $T_{\frac{1}{2}}$  zostaje  $\frac{1}{4}$  jąder początkowych itd.

Źródło: GroMar Sp. z o.o., na podstawie: [www.if.pw.edu.pl](http://www.if.pw.edu.pl), licencja: CC BY-SA 3.0.

## nuklid

atom, którego jądro ma określony stan fizyczny i określony skład, tj. określoną liczbę protonów i neutronów

## Bibliografia

Atkins P., Jones L., *Chemia ogólna. Cząstki, materia, reakcje*, Warszawa 2018.

Bank zadań CKE, Warszawa 2016.

Bielański A., *Podstawy chemii nieorganicznej*, Warszawa 2007.

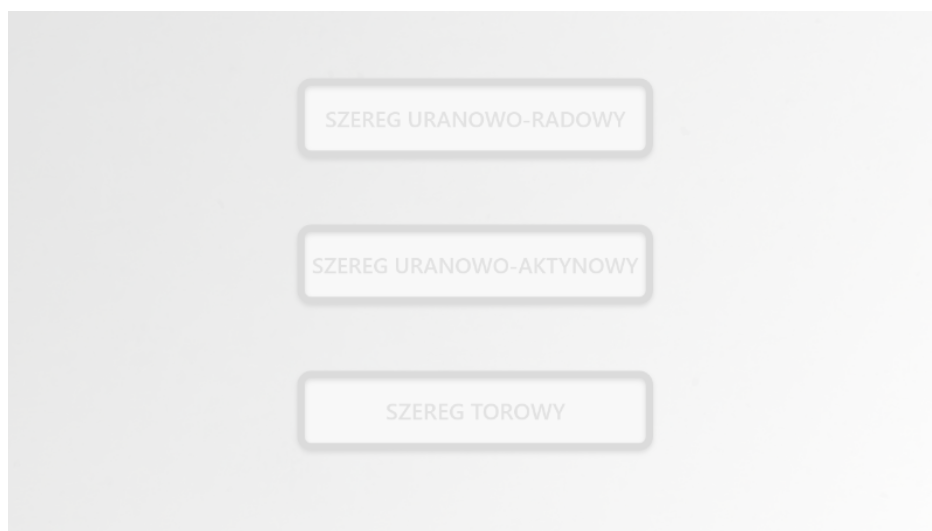
Encyklopedia PWN

# Symulacja interaktywna

---

## Symulacja 1

Poniższa symulacja interaktywna przedstawia przykładowe szeregi promieniotwórcze. Przeanalizuj przebieg każdego z nich, zwróć uwagę na izotopy biorące udział w tych przemianach oraz rodzaje przemian, jakim ulegają. W oparciu o symulację rozwiąż poniższe ćwiczenia.



Zasób interaktywny dostępny pod adresem <https://zpe.gov.pl/a/Dhe54I5iB>

Symulacja interaktywna pt. „Naturalne szeregi promieniotwórcze”

Źródło: GroMar Sp. z o.o., licencja: CC BY-SA 3.0.

## Ćwiczenie 1

wide

## Ćwiczenie 2

# Sprawdź się

Pokaż ćwiczenia:   

## Ćwiczenie 1



Przyporządkuj definicje do pojęć.

Rozpad  $\alpha$

to seria rozpadów promieniotwórczych, kończąca się nuklidem trwałym. W tym czasie są emitowane kolejno cząstki  $\alpha$  i  $\beta$ .

Rozpad  $\beta$

to elektrycznie obojętna cząstka subatomowa, znajdująca się w jądrze.

Neutron

to rozpad związany z emisją cząstki  $\beta$ .

Proton

to dodatnio naładowana cząstka subatomowa, znajdująca się w jądrze.

Szereg promieniotwórczy

to rozpad związany z emisją cząstki  $\alpha$ .

## Ćwiczenie 2



Na podstawie szeregu torowego oceń prawdziwość zdań podanych w poniższej tabeli.

	Prawda	Fałsz
Szereg torowy zaczyna się od nuklidu $^{231}\text{Th}$ .	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
W szeregu występuje 7 rozpadów $\beta$ .	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
$^{208}\text{Pb}$ kończy szereg torowy.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
$^{224}\text{Ra}$ ulega przemianie $\beta$ .	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

### Ćwiczenie 3



Uzupełnij poniższy tekst tak, aby powstały zdania prawdziwe.

Szereg torowy rozpoczyna się od , a kończy się na . Należy do niego  nuklidów. Czas połowicznego rozpadu toru- wynosi  miliardów lat.

Szereg uranowo-aktynowy rozpoczyna się od naturalnie występującego , a kończy na stabilnym . Należy do niego  nuklidów.

10

ołowiu-207

toru-232

235

12

14

5

16

232

14

uranie-235

ołowiu-208

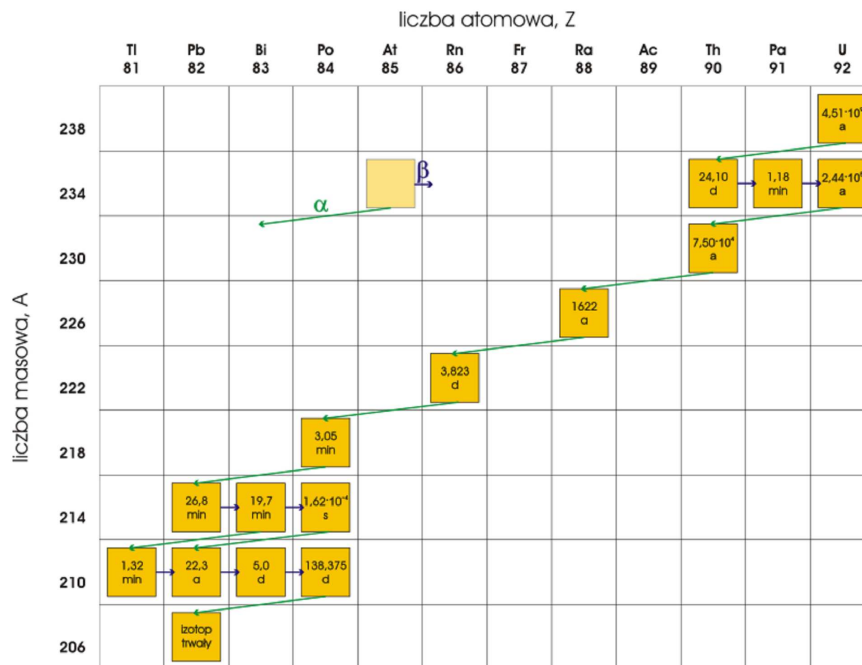
torze-232

uranu-235

## Ćwiczenie 4



Na podstawie wykresu przedstawiającego szereg uranowo-radowy, określ liczbę występujących rozpadów  $\alpha$  i  $\beta$ .



Szereg uranowo-radowy

Źródło: dostępny w internecie: [pl.wikipedia.org](http://pl.wikipedia.org), domena publiczna.

9  $\alpha$  oraz 8  $\beta$

7  $\alpha$  oraz 9  $\beta$

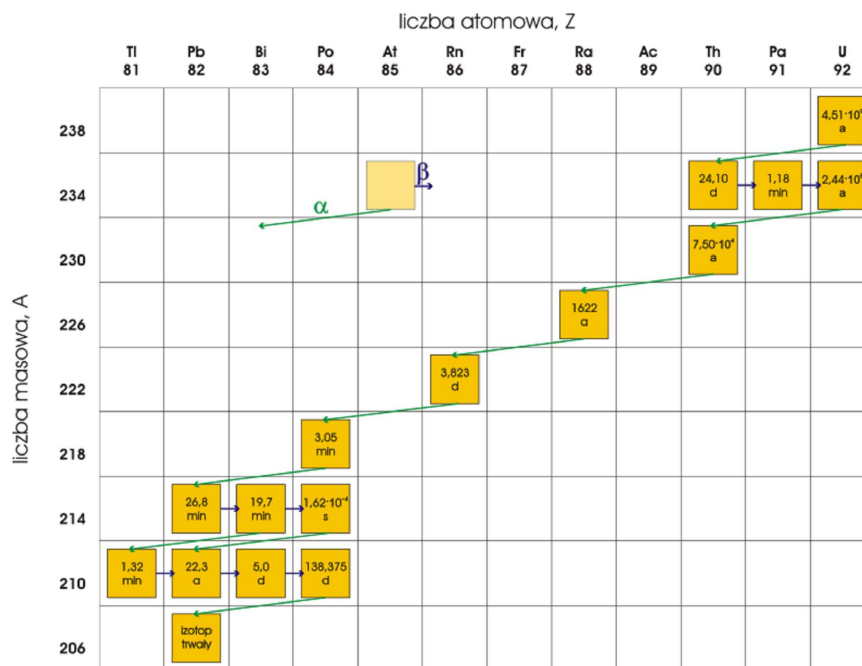
7  $\alpha$  oraz 8  $\beta$

9  $\alpha$  oraz 7  $\beta$

## Ćwiczenie 5



Pewien promieniotwórczy izotop pierwiastka  ${}^A_ZX$  uległ przemianom  $\beta^-$  trzykrotnie, w efekcie czego przekształcił się w izotop polonu o liczbie atomowej 84. Odczytaj z wykresu przedstawiającego szereg uranowo-radowy: symbol, liczbę masową oraz liczbę atomową izotopu, który uległ powyższym przemianom.



Szereg uranowo-radowy

Źródło: dostępny w internecie: [pl.wikipedia.org](http://pl.wikipedia.org), domena publiczna.

Symbol izotopu pierwiastka:

Liczba masowa:

Liczba atomowa:

## Ćwiczenie 6



Napisz równanie rozpadu  $\alpha$  izotopu polonu  ${}^{210}\text{Po}$ , odkrytego przez małżeństwo Curie.

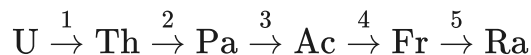
Odpowiedź zapisz w zeszycie do lekcji chemii, zrób zdjęcie, a następnie umieść je w wyznaczonym polu.

Zaloguj się, aby dodać ilustrację.

## Ćwiczenie 7



Przeprowadzono szereg przemian jądrowych promieniotwórczego izotopu uranu, podczas którego uran uległ przemianom wg poniższego schematu:



Dopasuj, jaki rodzaj promieniowania –  $\alpha$  czy  $\beta^-$  – miał miejsce podczas każdej ze zmian.

Przemiana	Typ rozpadu
1	<input type="text"/>
2	<input type="text"/>
3	<input type="text"/>
4	<input type="text"/>
5	<input type="text"/>

## Ćwiczenie 8



Neptun-237 ulega następującym kolejnym rozpadom promieniotwórczym:  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\alpha$ ,  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\alpha$ ,  $\alpha$ ,  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\alpha$ ,  $\beta$ . Określ nuklid pochodny po każdym rozpadzie i napisz zbilansowane równanie jądrowe każdego procesu.

Odpowiedź zapisz w zeszycie do lekcji chemii, zrób zdjęcie, a następnie umieść je w wyznaczonym polu.

Zaloguj się, aby dodać ilustrację.

# Dla nauczyciela

---

## Scenariusz zajęć

**Autor:** Robert Wróbel, Krzysztof Błaszczak

**Przedmiot:** chemia

**Temat:** Naturalne szeregi promieniotwórcze

**Grupa docelowa:** uczniowie III etapu edukacyjnego; liceum, technikum - kształcenie w zakresie rozszerzonym

## Podstawa programowa:

Zakres rozszerzony

I. Atomy, cząsteczki i stechiometria chemiczna. Uczeń:

4) oblicza zmianę masy promieniotwórczego nuklidu w określonym czasie, znając jego okres półtrwania; pisze równania naturalnych przemian promieniotwórczych ( $\alpha$ ,  $\beta^-$ ) oraz sztucznych reakcji jądrowych.

## Kształtowane kompetencje kluczowe:

- kompetencje w zakresie rozumienia i tworzenia informacji;
- kompetencje matematyczne oraz kompetencje w zakresie nauk przyrodniczych, technologii i inżynierii;
- kompetencje cyfrowe;
- kompetencje osobiste, społeczne i w zakresie umiejętności uczenia się.

## Cele operacyjne:

### Uczeń:

- przedstawia, jakim rozkładom promieniotwórczym podlega naturalny szereg promieniotwórczy;
- analizuje szereg promieniotwórczy pierwiastków;
- proponuje szereg przemian promieniotwórczych potrzebnych do uzyskania danego atomu.

## Strategie nauczania:

- asocjacyjna.

## **Metody i techniki nauczania:**

- metoda akwariów;
- burza mózgów;
- analiza tekstu źródłowego;
- ćwiczenia uczniowskie;
- technika zdań podsumowujących.

## **Formy pracy:**

- praca indywidualna;
- praca w grupach;
- praca zbiorowa.

## **Środki dydaktyczne:**

- komputery z głośnikami i dostępem do internetu;
- słuchawki;
- zasoby multimedialne zawarte w e-materiale;
- tablica interaktywna/tablica;
- pisak/kreda.

## **Przebieg zajęć**

### **Faza wstępna:**

1. Zaciekawienie i dyskusja. Nauczyciel wykorzystuje pytania zawarte we wprowadzeniu do e-materiału, np.: co się dzieje z izotopami atomów, w których zawarta jest duża liczba protonów i neutronów? Czy też będą chciały opuścić przestrzeń jądra? Czy cząstki alfa opuszczają atomy pierwiastka z taką samą częstotliwością? Co się stanie z atomem pierwiastka po stracie składników jądra – czy ten proces trwa do zniknięcia pierwiastka?
2. Ustalenie celów lekcji. Nauczyciel podaje temat zajęć i wspólnie z uczniami ustala cele.
3. Rozpoznawanie wiedzy wyjściowej uczniów. Burza mózgów wokół pojęcia szereg promieniotwórczy.

### **Faza realizacyjna:**

1. Nauczyciel odwołuje uczniów do analizy materiału w dostępnych źródłach oraz e-materiale. Uczniowie poprzez analizę tekstu przygotowują się do dyskusji, zapoznają się z treściami dotyczącymi jądra atomowego, trwałości jąder atomowych i szeregów promieniotwórczych.
2. Praca metodą akwariów. Prowadzący zajęcia dzieli uczniów na dwie grupy. Uczniowie siadają w dwóch kręgach – wewnętrznym (uczniowie biorący udział w dyskusji) i zewnętrznym (obserwatorzy). Uczniowie biorący udział w dyskusji będą rozmawiali na

temat przemian promieniotwórczych: na czym one polegają, co zmienia się w izotopach po rozpadzie, jakie promieniowanie jest emitowane, czy emitowane promieniowanie jest szkodliwe, jak można przewidzieć trwałość nuklidów, w jaki sposób jądra bogate w neutrony i protony osiągają trwałość.

3. Obserwatorzy, którzy siedzą w kręgu zewnętrznym, przysłuchują się wypowiedziom dyskutujących, oceniają ich skuteczność argumentacji, sposób udziału w dyskusji. Mogą też spisywać przedstawiane przez dyskutujących argumenty tworząc dokumentację lekcji.
4. Po zakończeniu dyskusji nauczyciel może prosić obserwatorów o to, aby wypowiedzieli się, które argumenty dyskutantów były najbardziej przekonujące.
5. Jeśli nauczyciel ma wypracowane narzędzie do oceny udziału w dyskusji, to obserwatorzy mogą obserwować poszczególnych dyskutantów i podjąć próbę ich oceny.
6. Uczniowie podchodzą do tablicy i ćwiczą umiejętności zapisu przemian wskazanych izotopów przez nauczyciela.
7. Uczniowie samodzielnie sprawdzają swoją wiedzę wykonują ćwiczenia z zakładki „Sprawdź się” w e-materiale.

#### **Faza podsumowująca:**

1. Nauczyciel sprawdza wiedzę uczniów, wykorzystując pytania z e-materiału, np. polecenia do multimediu. Pyta:
  - Ile wynosi liczba atomowa  $Z$  dla nuklidów nietrwałych i promieniotwórczych?
  - Które z promieniowań jest najbardziej niebezpieczne i dlaczego?
  - Dokończ stwierdzenie „Im stosunek liczby protonów do liczby neutronów jest bliski jedności, to...”
2. Jako podsumowanie lekcji nauczyciel może wykorzystać zdania do uzupełnienia, które uczniowie również zamieszczają w swoim portfolio:
  - Przypomniałem sobie, że...
  - Co było dla mnie łatwe...
  - Czego się nauczyłam/łem...
  - Co sprawiało mi trudność...

**Praca domowa:** Uczniowie dokończają ćwiczenia w zakładce „Sprawdź się”.

#### **Wskazówki metodyczne opisujące różne zastosowania multimediu:**

Symulacja interaktywna może być wykorzystana przez uczniów podczas przygotowywania się do zajęć i/lub podczas podsumowania materiału.

#### **Materiały pomocnicze:**

Polecenia podsumowujące (nauczyciel przed lekcją zapisuje je na niewielkich kartkach):

- Ile wynosi liczba atomowa  $Z$  dla nuklidów nietrwałych i promieniotwórczych?
- Które z promieniowań jest najbardziej niebezpieczne i dlaczego?
- Dokończ stwierdzenie „Im stosunek liczby protonów do liczby neutronów jest bliski jedności, to...”.