

Trwałość izotopów

Mały rozpad dla atomu, wielkie znaczenie dla człowieka

Anita Pomian-Hojny

Chemik, korepetytorka, doktorantka Szkoły Doktorskiej Nauk Ścisłych I Przyrodniczych UJ

Streszczenie

Niektóre z naturalnie występujących izotopów są nietrwałe i ulegają rozpadom promieniotwórczym. Źródłem izotopów promieniotwórczych są m.in. wybuchy supernowych lub przemiany zachodzące w wyniku działania promieniowania kosmicznego. Rozpad radionuklidu może zachodzić z różną szybkością, którą charakteryzuje czas połowicznego rozpadu $t_{1/2}$. Przemiany promieniotwórcze mogą być jednakże wykorzystane przez człowieka w różnych dziedzinach nauki, medycyny i techniki.

Słowa kluczowe: izotopy, rozpad promieniotwórczy, okres półtrwania, zastosowanie promieniotwórczych izotopów

CO BĘDZIESZ WIEDZIEĆ PO PRZECZYTANIU

- Dlaczego atom się rozpada?
- Skąd biorą się izotopy promieniotwórcze?
- Jak trwałe są radionuklidy?
- Czy nietrwałe izotopy są przydatne?

1. Wprowadzenie

Promieniotwórczość kojarzy się uczniom przede wszystkim z pierwiastkami, które ciężko odnaleźć w układzie okresowym. Mówiąc o izotopach promieniotwórczych, często przychodzi nam na myśl **ciężkie jądra atomowe**, czyli takie, które posiadają więcej niż 83 protony w jądrze atomowym ($Z > 83$, Z – liczba atomowa pierwiastka chemicznego). Jednakże nietrwałe izotopy występują również wśród lżejszych pierwiastków.

W przyrodzie występuje **naturalnie około stu izotopów promieniotwórczych**. Natomiast znanych jest o wiele więcej, ponieważ **ponad 3300!** Dużo izotopów zostało **wytworzonych przez człowieka** w wyniku sztucznych przemian promieniotwórczych, np. bombardowania neutronami atomów w reaktorach jądrowych czy rozszczepiania ciężkich jąder. W tym artykule przyjrzymy się bliżej naturalnym radionuklidom – omówimy, skąd się biorą, jak długo są w stanie przetrwać i czy mają jakieś zastosowanie.

WAŻNE POJĘCIE

Radionuklid to nietrwałe promieniotwórcze jądro atomowe (często nazywane **izotopem promieniotwórczym**).

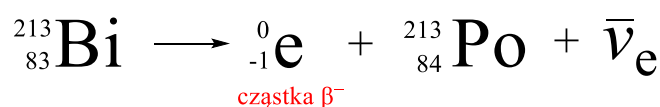
2. Okres półtrwania $t_{1/2}$

Na kursie w Lekcji 4 omawiamy dwa naturalne rozpad promieniotwórczy – **rozpad α** [czyt. alfa] oraz **rozpad β^-** [czyt. beta minus]. Polegają one odpowiednio na emisji **cząstki α** (czyli jądra ${}^4_2\text{He}$) oraz **cząstki β^-** (czyli elektronu ${}^0_{-1}\text{e}$). Na schemacie 1 przedstawiono schematy rozpadów α i β^- dla izotopu bizmutu-213.

A.



B.



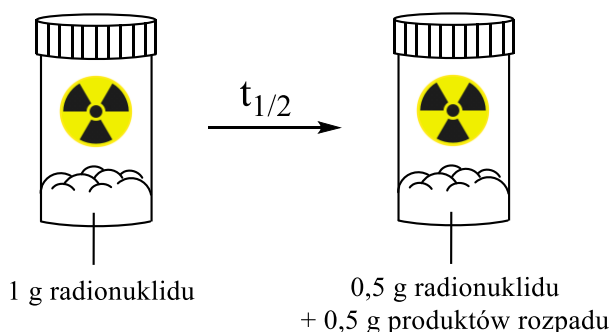
Schemat 1. Rozpady promieniotwórcze bizmutu-213: A – rozpad α , B – rozpad β^- .

W przypadku rozpadu beta minus pojawia się tutaj dodatkowy produkt rozpadu, który w liceum często nie jest uwzględniany na schematach. Jest to **antyneutrino elektronowe** $\bar{\nu}_e$ – cząstka o małej masie i zerowym ładunku, która słabo oddziałuje z materią. Jej powstanie gwarantuje, że podczas rozpadu zostaje zachowana m.in. **zasada zachowania energii**.

WAŻNE INFORMACJE

W każdej przemianie promieniotwórczej muszą zostać zachowane m.in. **zasady zachowania ładunku elektrycznego, liczby nukleonów oraz energii**. Zasady te mówią, że ładunek elektryczny, liczba nukleonów oraz energia **muszą być takie same** po lewej i prawej stronie równania przemiany promieniotwórczej, czyli dla substratów i produktów tej przemiany.

Zanim przejdziemy do omawiania, skąd biorą się izotopy promieniotwórcze i dlaczego ulegają rozpadowi, chciałabym tutaj uzupełnić Twoją wiedzę o przydatne pojęcie, jakim jest **okres półtrwania** $t_{1/2}$, zwany również **czasem połowicznego rozpadu**. Jest to **czas, po którym połowa próbki danego izotopu ulegnie rozpadowi**. Jeżeli zatem dysponujemy 1 g promieniotwórczego izotopu, to po upływie czasu $t_{1/2}$ zostanie go jedynie 0,5 g, ponieważ połowa uległa rozpadowi. Na schemacie 2 pokazano zawartość naczynia z radionuklidem po upływie czasu $t_{1/2}$.



Schemat 2. Zawartość naczynia z radionuklidem po upływie czasu $t_{1/2}$.

Jak zatem trwałe są naturalne radionuklidy? To zależy oczywiście od rozpatrywanego izotopu – okres półtrwania może wynosić zaledwie **ułamki milisekundy** (ok. 0,164 ms dla polonu-214), **kilka dni** (niecałe 4 dni dla radonu-222) lub **nawet kilka miliardów lat** (ok. 4,5 miliarda lat dla uranu-238).

WAŻNE POJĘCIE

Okres półtrwania (czas połowicznego rozpadu) jest to czas, po którym połowa próbki izotopu promieniotwórczego ulegnie rozpadowi.

3. Dlaczego niektóre izotopy się rozpadają?

Już wiemy, że niektóre z jąder atomowych ulegają rozpadowi. Czemu jednak tak się dzieje? W jądrze atomowym występują protony i neutrony – protony mają ładunek dodatni, zatem wzajemnie się odpychają. Natomiast oprócz sił odpychania pomiędzy protonami, w jądrze występuje jeszcze druga siła, która utrzymuje jądro atomowe w całości – jest to oddziaływanie zwane **resztkowym silnym oddziaływaniem jądrowym**. Dzięki niemu protony i neutrony są związane w jądrze atomowym. Działa ono jednak na niewielkie odległości w przeciwieństwie do sił odpychania protonów.

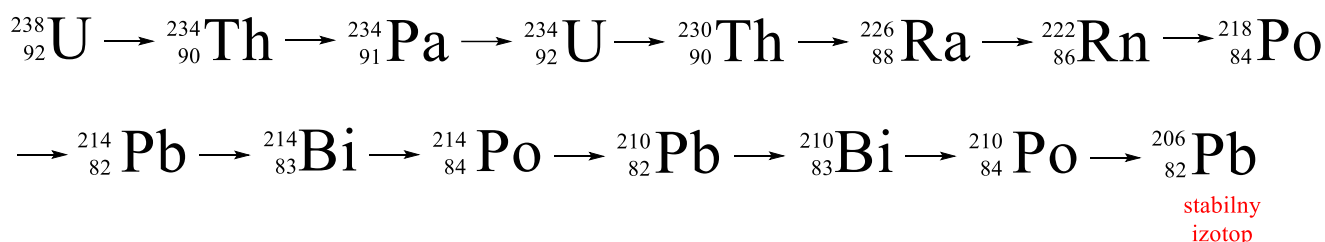
W przypadku **ciężkich jąder atomowych** ze względu na dużą liczbę protonów **siły odpychania wzrastają**, co może powodować niestabilność jądra. Co więcej, jeżeli liczba protonów względem neutronów jest niekorzystna, to jądro również może ulec rozpadowi.

4. Nietrwałe jądra atomowe

Skąd właściwie biorą się izotopy promieniotwórcze w przyrodzie? Odpowiedź brzmi: z kilku źródeł. Pierwszym takim źródłem są **gwałtowne zjawiska**, np. **wybuchy supernowych**. Izotopy takie jak uran-238, tor-232 lub potas-40 były obecne w materii, z której uformowała się Ziemia, zatem istnieją ok. 4,5 miliarda lat! Dzięki długim okresom półtrwania przetrwały do obecnych czasów m.in. w skorupie ziemskiej. Te radionuklidy nazywamy **pierwotnymi**.

Kolejnym źródłem są **przemiany promieniotwórcze** pierwotnych radionuklidów. W wyniku rozpadów naturalnych (przede wszystkim alfa i beta minus) z pierwotnych izotopów promieniotwórczych powstają kolejne jądra atomowe, które tworzą całe szeregi przemian i produktów rozpadów jądrowych. Na schemacie 3 pokazano szereg przemian promieniotwórczych, w wyniku których z pierwotnego radionuklidu uranu-238 powstaje stabilny izotop ołowiu-206.

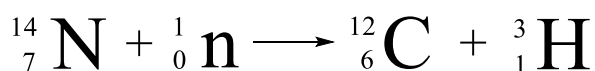
pierwotny
radionuklid



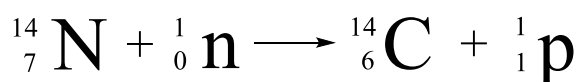
Schemat 3. Szereg rozpadów promieniotwórczych uranu-238.

Trzecią grupę stanowią izotopy promieniotwórcze, które powstają na skutek działania **promieniowania kosmicznego**. Są to tzw. **radionuklidy kosmogeniczne**. Promieniowanie kosmiczne oddziałuje z atmosferą ziemską, co prowadzi do powstania neutronów, które następnie mogą reagować np. z azotem i tlenem w powietrzu i tworzyć izotopy promieniotwórcze. Na schemacie 4 pokazano powstawanie trytu (wodoru-3) oraz węgla-14 w wyniku reakcji jąder azotu-14 z neutronami.

A.



B.



Schemat 4. Powstawanie izotopów promieniotwórczych w wyniku promieniowania kosmicznego: A – trytu, B – węgla-14.

W ramach podsumowania tej części artykułu przygotowałam układ okresowy, w którym kolorami zaznaczone są pierwiastki posiadające izotopy należące do poszczególnych grup, wyróżnionych ze względu na ich pochodzenie (rysunek 1).

1H wodór																		2He hel					
3Li lit	4Be beryl																	5B bor	6C węgiel	7N azot	8O tlen	9F fluor	10Ne neon
11Na sód	12Mg magnez																	13Al glin	14Si krzem	15P fosfor	16S siarka	17Cl chlor	18Ar argon
19K potas	20Ca wapń	21Sc skand	22Ti tytan	23V wanad	24Cr chrom	25Mn mangan	26Fe żelazo	27Co kobalt	28Ni nikiel	29Cu miedź	30Zn cynk	31Ga gal	32Ge german	33As arsen	34Se selen	35Br brom	36Kr krypton						
37Rb rubid	38Sr stront	39Y itr	40Zr cyrkon	41Nb niob	42Mo molibden	43Tc technet	44Ru ruten	45Rh rod	46Pd pallad	47Ag srebro	48Cd kadm	49In ind	50Sn cyna	51Sb antymon	52Te tellur	53I jod	54Xe ksenon						
55Cs cez	56Ba bar	57La[*] lantan	72Hf hafn	73Ta tantal	74W wolfram	75Re ren	76Os osm	77Ir iryd	78Pt platyna	79Au złoto	80Hg rtęć	81Tl tal	82Pb ołów	83Bi bismut	84Po polon	85At astat	86Rn radon						
87Fr frans	88Ra rad	89Ac^{**} aktyn	104Rf rutherford	105Db dubn	106Sg seaborg	107Bh bohr	108Hs has	109Mt meitner	110Ds darmsztadt	111Rg roentgen	112Cn kopernik	113Nh nihon	114Fl flerow	115Mc moskow	116Lv liwermor	117Ts tenes	118Og oganeson						
		58Ce cer	59Pr prazeodym	60Nd neodym	61Pm promet	62Sm samar	63Eu europ	64Gd gadolin	65Tb terb	66Dy dysproz	67Ho holm	68Er erb	69Tm tul	70Yb iterb	71Lu lutet								
		90Th tor	91Pa proaktyn	92U uran	93Np neptun	94Pu pluton	95Am ameryk	96Cm kiur	97Bk berkel	98Cf kaliforn	99Es einstein	100Fm ferm	101Md mendelew	102No nobel	103Lr lorens								

pierwotne izotopy promieniotwórcze
 produkty naturalnych rozpadów promieniotwórczych
 kosmogeniczne izotopy promieniotwórcze

Rysunek 1. Pierwiastki posiadające naturalne radionuklidy, z podziałem ze względu na pochodzenie.

5. Zastosowania nietrwałych izotopów

Jednym ze znaczących zastosowań naturalnych promieniotwórczych izotopów jest **datowanie próbek**, czyli określanie ich wieku. W tym celu można wykorzystać izotopy węgla-14 (określanie wieku materii organicznej), potasu-40 (datowanie skał wulkanicznych) lub uranu-238 (określanie wieku najstarszych skał i minerałów).

W przypadku materii organicznej po śmierci organizmu ustaje pobieranie przez niego węgla-14 ze środowiska. Rozpad promieniotwórczy tego izotopu zachodzi jednak ciągle ($t_{1/2} = 5730$ lat), w wyniku czego jest możliwe przybliżone obliczenie momentu jego śmierci. Wiek próbek podaje się zwykle jako przedział wraz z określonym prawdopodobieństwem, ponieważ na przestrzeni lat ilość ^{14}C w atmosferze ulegała zmianom, a wynik pomiaru zależy m.in. od jakości materiału pobranego do badań.

Naturalne radioizotopy można wykorzystać również do śledzenia erozji gleby (beryl-7) lub dopływu wód podziemnych (radon-222).

Wiele promieniotwórczych izotopów stosowanych w różnych dziedzinach życia to jednak izotopy wytworzone przez człowieka. Wykorzystuje się je np. do kontroli spawów i elementów konstrukcyjnych (iryd-192), pomiaru grubości materiału (krypton-85) czy diagnostyki (tomografia PET: fluor-18).

6. Podsumowanie

Izotopy promieniotwórcze to nietrwałe izotopy, które mogą występować naturalnie lub powstawać w wyniku działalności człowieka. Występujące na Ziemi radionuklidy mogą pochodzić z okresu jej formowania lub tworzyć się w wyniku naturalnych przemian promieniotwórczych radionuklidów pierwotnych lub wskutek oddziaływania promieniowania kosmicznego z jądrami atomowymi obecnymi w środowisku.

Nietrwałe jądra atomowe ulegają naturalnym rozpadom ze względu na energetycznie niekorzystną konfigurację jądra, wynikającą m.in. ze stosunku liczby protonów do liczby neutronów. W takim przypadku w zależności od izotopu zachodzi szybki lub wolny rozpad promieniotwórczy, którego szybkość jest określana poprzez wartość czasu połowicznego rozpadu $t_{1/2}$.

Promieniotwórcze izotopy można wykorzystać w określaniu wieku materii organicznej lub skał, śledzeniu erozji gleby lub dopływu wód podziemnych, a także w przemyśle, technice czy diagnostyce.

7. Literatura

- [1] National Nuclear Data Center, *Nuclear Wallet Cards*, Brookhaven National Laboratory, 2024.
- [2] National Nuclear Data Center, *NuDat 3.0 – Nuclear Structure and Decay Data*, Brookhaven National Laboratory.
- [3] International Atomic Energy Agency, *The Environmental Behaviour of Radium: Revised Edition*, Technical Reports Series No. 476, IAEA, Vienna, 2014.
- [4] Zintegrowana Platforma Edukacyjna, *Opisujemy przemianę beta⁻*, materiał dla liceum ogólnokształcącego i technikum.
- [5] International Atomic Energy Agency, *Guidelines for Using Fallout Radionuclides to Assess Erosion and Effectiveness of Soil Conservation Strategies*, IAEA-TECDOC-1741
- [6] International Atomic Energy Agency, *Nuclear and Isotopic Techniques for the Characterization of Submarine Groundwater Discharge in Coastal Zones*, IAEA-TECDOC-1595, Vienna, 2008
- [7] International Atomic Energy Agency, *AMS Applications – Radiocarbon Dating*