

Promieniotwórczość naturalna

Ryszard WOJTKIEWICZ

Wprowadzenie

Otoczający nas świat składa się z atomów, których właściwości chemiczne i fizyczne zależą od składu centralnej części atomu, zwanej jądrem atomowym. O przynależności atomu do określonego pierwiastka decyduje liczba protonów w jądrze – Z , zwana liczbą atomową. Łączna liczba protonów – Z i neutronów – N określa masę jądra i nazywa się liczbą masową – A . Zatem $A = Z + N$. Rodzaj atomów o zadanych liczbach Z i N nazywa się nuklidem. Zwykle nuklid oznacza się za pomocą symbolu chemicznego pierwiastka (co jest jednoznaczne z określeniem jego liczby atomowej) oraz liczby masowej. Na przykład, U-238 oznacza uran, $Z = 92$, $A = 238$ i $N = A - Z = 146$. Nuklidy należące do tego samego pierwiastka, lecz różniące się liczbą neutronów nazywa się izotopami tego samego pierwiastka. Na przykład, U-238 i U-235.

Do podstawowych własności fizycznych nuklidu zalicza się jego trwałość. Trwałość izotopów danego pierwiastka zależy od stosunku liczb N do Z . Izotopy nietrwałe podlegają samorzutnym przemianom, które nazywa się rozpadami promieniotwórczymi. Znane są trzy podstawowe rodzaje rozpadów promieniotwórczych klasyfikowane według rodzaju cząstek wysyłanych z jądra podczas jego rozpadu; są to rozpady α , β i γ . W przypadku pierwszych dwu rozpadów z jądra są emitowane cząstki elektrycznie naładowane, co powoduje, że liczba atomowa zmienia się o 2 (rozpad α) lub o 1 (rozpad β), w trzecim zaś rodzaju rozpadu z jądra wysyłany jest jeden lub kilka fotonów (kwantów) promieniowania elektromagnetycznego.

Według ogólnie przyjętego poglądu jądra atomowe zostały utworzone z „pyłu kosmicznego” protonów w wyniku złożonego procesu wywołanego przez oddziaływania grawitacyjne i przemiany jądrowe. Ocenia się, że miało to miejsce przed około 15 miliardami lat. Powstały wtedy nuklidy trwałe i promieniotwórcze. Te ostatnie uległy rozpadowi promieniotwórczym przekształcając się w nuklidy trwałe. Rozpady nuklidów promieniotwórczych zachodzą z różną szybkością.

Każdy z nuklidów charakteryzuje się określonym dla niego okresem połowicznego zaniku, który jest równy odstępowi czasu potrzebnemu na to, by połowa jąder atomowych z dużego ich zbioru uległa rozpadowi. Dlatego do dnia dzisiejszego na Ziemi przetrwały w dostrzegalnych ilościach tylko te nuklidy promieniotwórcze, których okresy połowicznego zaniku są tego samego rzędu lub dłuższe niż wiek Wszechświata. Takie nuklidy są przedstawione w tabeli.

Nuklidy o względnie długich okresach życia

Nuklid	Czas połowicznego zaniku w latach
K-40	$1,2 \times 10^9$
V-50	$4,0 \times 10^{14}$
Rb-87	$6,2 \times 10^{10}$
In-115	$6,0 \times 10^{14}$
La-138	$1,0 \times 10^{11}$
Ce-142	$5,0 \times 10^{15}$
Nb-144	$3,0 \times 10^{15}$
Sm-147	$1,2 \times 10^{11}$
Lu-176	$5,0 \times 10^{10}$
Re-187	$4,0 \times 10^{12}$
Pt-192	$1,0 \times 10^{15}$
Th-232	$1,4 \times 10^{10}$
U-235	$7,1 \times 10^8$
U-238	$4,5 \times 10^9$

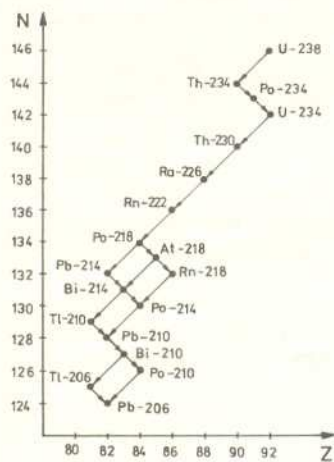
Uczniwi użytkownicy też nie są całkowicie bezpieczni. Pojawienie się wirusa nie tylko wywołuje stresy u ofiar, ale wymusza podejmowanie czasochłonnych, a czasem i kosztownych środków zaradczych.

Praktyka pokazuje, że nie ma wirusów nieszkodliwych. Nawet te, w których kodzie nie ma procedur destrukcyjnych, okazują się złośliwe. Najczęściej wynika to z błędów programistycznych lub skutków ubocznych. Potwierdza się teza, że autorzy wirusów nie są wcale żadnymi geniuszami, a wręcz przeciwnie. Kody wirusów najeżone są błędami. W wielu widać naiwność autorów, którzy nie umieli przewidzieć, że ich programy będą uruchamiane na innym sprzęcie i będą musiały współpracować z innymi programami. Efekty są nieprzewidywalne i wcześniej czy później prowadzą do strat na poszczególnych komputerach.

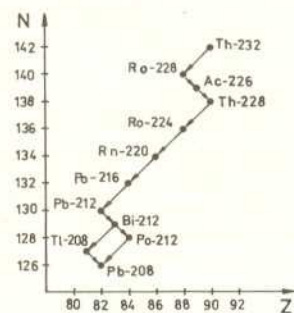
Nie ma potwierdzonych danych świadczących o stratach materialnych spowodowanych przez wirusy. W świecie coraz bardziej zależnym od poprawnej pracy komputerów łatwo można sobie je wyobrazić. Znane są dwa przypadki wtargnięcia wirusów do komputerów szpitalnych. Jeden z tych przypadków miał miejsce w Warszawie i dotyczył komputerów obsługujących aparaturę oddziału intensywnej terapii. Tym razem nie było tragicznych następstw, ale co będzie następnym razem?

Straty powodowane przez wirusy są bardzo trudne do oszacowania. Zależą one w dużej mierze od podejścia samych użytkowników. Odpowiednia profilaktyka i stosowanie programów antywirusowych zmniejszają ryzyko, ale pochłaniają czas i środki, które można by z pożytkiem wykorzystać na inne cele. Bagatelizowanie zjawiska wcześniej czy później doprowadzi do utraty danych, blokady całych systemów i wszystkich wynikających stąd konsekwencji.

W niektórych krajach problem wirusów doczekał się już kwalifikacji prawnych. Ich pisanie, a zwłaszcza świadome rozpowszechnianie jest ścigane przez prawo. Poszkodowani są traktowani jako ofiary przestępstwa i policja prowadzi odpowiednie statystyki oraz poszukuje sprawców. W Polsce jesteśmy w przededniu nowelizacji prawa karnego, które ma również uwzględniać wandalizm komputerowy. Owe przeszło 1300 wirusów w środowisku MS DOS nie zniknie jednak wraz z wprowadzeniem przepisów. Michał Anioł zyskał sobie niezасłużoną sławę. Nie jest on ani najbardziej wyrafinowanym, ani najgroźniejszym wirusem komputerowym. Posłużył jako pretekst do przypomnienia opinii publicznej, że wirusy istnieją, stale powstają nowe i że trzeba nauczyć się z nimi żyć.



Rys. 1. Szereg uranowy.



Rys. 2. Szereg torowy.



Rozwiązanie zadania F 346.
 Niech R i ω oznaczają promień i prędkość kątową Ziemi, m zaś masę przemieszczającego się powietrza. Z zasady zachowania momentu pędu mamy

$$m\omega R^2 \cos^2 \alpha_1 = m\omega R \cos \alpha_2 + m\omega R^2 \cos^2 \alpha_2,$$

gdzie α_1, α_2 oznaczają szerokości geograficzne ($\alpha_1 = 52^\circ, \alpha_2 = 53^\circ$). Stąd największa wartość składowej zachodniej prędkości wiatru może wynosić

$$v = \frac{\omega R (\cos^2 \alpha_1 - \cos^2 \alpha_2)}{\cos \alpha_2} \approx 13 \text{ m/s}.$$

Należy dodać, że spotykamy w przyrodzie także nuklidy o znacznie krótszym okresie połowicznego zaniku, jak np. izotop węgla C-14 (okres połowicznego zaniku równy 5730 lat). Jego pochodzenie jest jednak inne od opisanego. Tworzony jest on ciągle z zawartego w otoczeniu azotu w wyniku reakcji jądrowych wywoływanych przez promieniowanie kosmiczne.

Szeregi promieniotwórcze

Wśród wchodzących w skład Ziemi pierwiastków promieniotwórczych o długim okresie połowicznego zaniku występują w znacznych ilościach takie nuklidy, jak: izotop uranu U-238 i izotop toru Th-232.

Produkty ich rozpadu nie są trwałe, lecz tworzą cały ciąg nuklidów powstających w wyniku kolejnych przemian α i β , kończący się odpowiednimi trwałymi nuklidami ołowiu Pb-206 i Pb-208. Te łańcuchy kolejnych przemian promieniotwórczych tworzą tzw. szeregi promieniotwórcze nuklidów: szereg uranowy – zapoczątkowany przez U-238 i szereg torowy – zapoczątkowany przez Th-232. Schematy rozpadów tworzących te szeregi przedstawione są na rysunkach 1 i 2.

Pierwiastki promieniotwórcze tych szeregów można wykryć w glebie, ścianach budynków, powietrzu (gazowy radon), roślinach i produktach spożywczych, a także w organizmach żywych, a więc i w ciele ludzkim. Wysyłane przez nie promieniowanie α, β i γ stanowi naturalne promieniowanie, w którym żyjemy, lecz nie odczuwamy go za pomocą zmysłów.

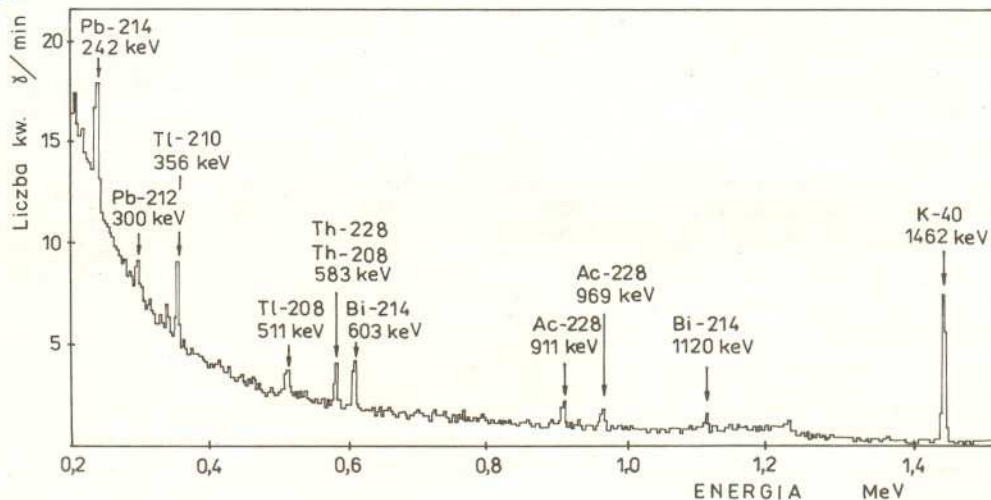
Promieniowanie γ jąder

Występowanie promieniowania γ jest najczęściej następstwem rozpadu α lub β . Dzieje się tak wtedy, gdy przemiany te prowadzą nie do stanu podstawowego jądra (o najniższej możliwej energii), lecz do stanu wzbudzonego, czyli stanu o energii wyższej niż najmniejsza możliwa energia dla jąder danego nuklidu.

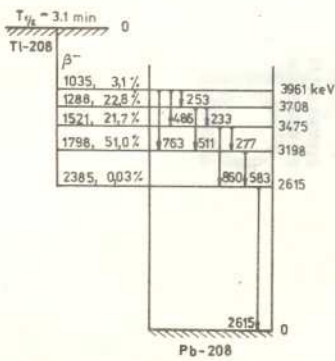
Na rysunku 3 pokazany jest schemat ostatniej przemiany promieniotwórczej w szeregu torowym – jądra izotopu talu Tl-208 w stabilne jądro izotopu ołowiu Pb-208. Jądra Tl-208 emitują cząstki β o różnych energiach przechodząc do różnych stanów wzbudzonych jąder Pb-208. Przejście jądra Pb-208 z tych stanów wzbudzonych do stanów o niższych energiach prowadzi do emisji kwantów γ .

Energia emitowanego kwantu γ jest równa (w dobrym przybliżeniu) różnicy skwantowanych energii poziomów w jądrze, między którymi zachodzi przejście. Energie kwantów γ emitowanych przez jądra danego nuklidu są więc ściśle określone i charakterystyczne dla danego nuklidu.

Jeśli więc potrafimy zmierzyć energie oraz intensywność promieniowania γ emitowanego przez badaną próbkę, możemy zidentyfikować pierwiastki



Rys. 4. Widmo promieniowania γ pochodzącego od ścian budynku.



Rys. 3. Schemat przemiany jądra Tl-208 w jądro Pb-208. Jądra Tl-208 ulegają rozpadowi β^- prowadząc do różnych stanów wzbudzonych jądra Pb-208, które przechodzą do stanu podstawowego emitując kwanty γ o różnych energiach. Pionowe odcinki ze strzałkami obrazują różne możliwości przejść γ . Wszystkie wartości energii podane są w keV.



Rozwiązanie zadania F 345.

Przy założeniu małej prędkości v_0 nurtu i małej szerokości kanału rozkład prędkości wody w zależności od odległości r od środka kanału jest taki sam jak w przepływie laminarnym

$$v = v_0 \left(1 - \frac{r^2}{R^2}\right)$$

Odległość, na którą zostanie zniesiony pajak, wynosi

$$l = \int v dt = \int_{-R}^R \frac{v}{u} dr,$$

gdzie

$$u = \frac{dr}{dt}.$$

Ostatecznie

$$l = \frac{2 v_0 R}{3 u}.$$

promieniotwórcze wchodzące w jej skład. Do tego celu służy zestaw aparatury elektronicznej zwany spektrometrem promieniowania γ . Posługując się nim można zarejestrować widmo promieniowania γ , czyli zależność natężenia promieniowania od jego energii. Przykłady takich widm omówione są niżej.

Naturalna promieniotwórczość γ

Na rysunku 4 przedstawione jest widmo promieniowania γ pochodzącego od ścian pomieszczenia laboratoryjnego; podobnie wygląda widmo zarejestrowane w pomieszczeniach mieszkalnych współczesnego budownictwa.

Współrzędne energetyczne widocznych na wykresie maksimów odpowiadają energiom kwantów γ , natomiast pola powierzchni pod krzywymi – w kształcie ostrych pików (zwanymi dalej liniami) – wyznaczającymi te maksima świadczą o natężeniu promieniowania γ o danej energii.

Na rysunku 4 na szczególną uwagę zasługuje linia o energii 1461 keV pochodząca z rozpadu izotopu potasu K-40, ze względu na to, iż jest ona dogodnym punktem odniesienia dla innych linii w różnych widmach promieniowania γ . Jak łatwo zauważyć, odpowiada ona promieniowaniu o największym natężeniu, co oznacza, że w naturalnym środowisku największą dawkę promieniowania (nie uwzględniając promieniowania kosmicznego) otrzymujemy właśnie od promieniowania γ potasu K-40, którego w naturalnym składzie izotopowym jest 0,012%. Dzieje się tak dlatego, iż występowanie potasu w naszym otoczeniu jest dość powszechne, występuje on przecież również w organizmach żywych, a więc i w ludzkim ciele.

Ten fakt sprawia, że nawet po wyeliminowaniu (np. z pomieszczenia) pierwiastków naturalnie promieniotwórczych i tak pozostanie główny z emiterów promieniowania γ w naszym ciele. Jednakże widmo zarejestrowane w oddaleniu od ścian budynków, chociaż wygląda tak samo od strony jakościowej, wykazuje znaczne zmniejszenie się wszystkich linii widocznych w widmie z rysunku 4, co oznacza, że główna część dosięgającego nas promieniowania pochodzi od ścian budynków.

W omawianym widmie widać też linie od grupy nuklidów z szeregu uranowego: Bi-214 (bismut), Pb-214, Tl-210 oraz linie pochodzące od grupy nuklidów z szeregu torowego: Th-228, Ac-228 (aktyn), Pb-212, Tl-208.

Opisane widmo pokazuje skład naturalnego promieniowania γ , które oddziałuje na nasz organizm stale. Zdarza się jednak, że oprócz naturalnego promieniowania występuje w naszym środowisku inne – pochodzące od skażenia promieniotwórczego spowodowanego działalnością ludzką. Z taką sytuacją mieliśmy do czynienia sześć lat temu podczas awarii elektrowni jądrowej w Czernobylu i mamy nadal, o czym będzie mowa w następnym artykule.

