

Skazenia promieniotwórcze środowiska

Ryszard WOJTKIEWICZ

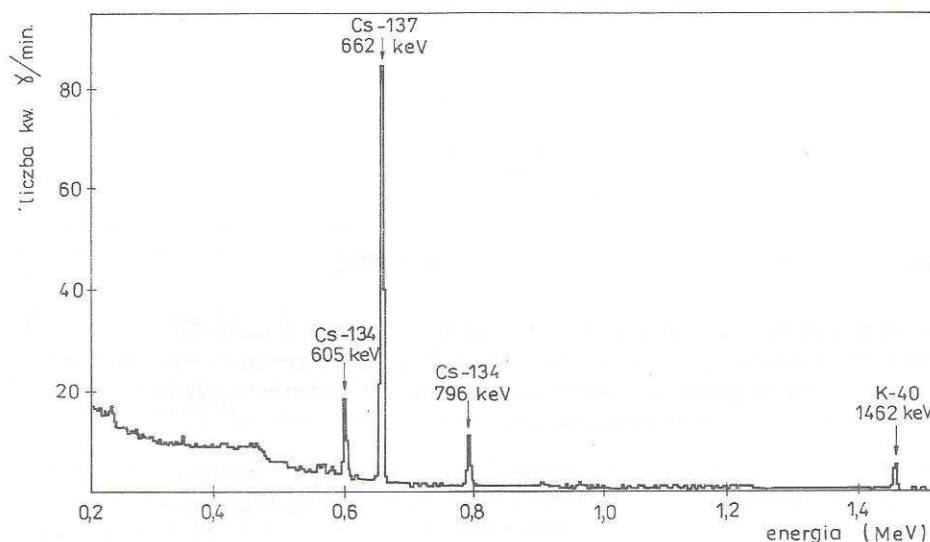
W artykule *Promieniotwórczość naturalna (Delta 11/1992)* przedstawione było widmo promieniowania naturalnego γ pochodzącego od ścian budynków. Na ogół tak samo od strony jakościowej wygląda widmo zarejestrowane w innych miejscach naszego środowiska. Takie widmo promieniowania otoczenia, w którym dokonywany jest pomiar, w dalszej części będzie nazywane widmem tła lub po prostu tłem.

Jednakże niekiedy mamy do czynienia ze skażeniem promieniotwórczym mogącym wystąpić np. podczas awarii elektrowni jądrowej. Wówczas niektóre miejsca naszego środowiska wykazują promieniotwórczość inną od opisanej, zarówno pod względem jakościowym, jak i ilościowym. Niektóre tego przykłady przedstawione są poniżej.

Radioaktywne grzyby

Widmo promieniowania γ próbki 250 g suszonych grzybów zebranych latem 1988 roku w województwie olsztyńskim odbiega od widma promieniowania tła. Rysunek 1 przedstawia je wraz z tłem.

Dominuje tu nie tak, jak poprzednio, linia pochodząca od izotopu potasu K-40, lecz grupa linii odpowiadających promieniowaniu γ , którego emitarami są izotopy cezu: Cs-137 i Cs-134. Najintensywniejsza linia o energii 662 keV odpowiada rozpadowi jąder Cs-137, natomiast pozostałe odpowiadają rozpadowi jąder Cs-134. Jak widać, wysokość linii o energii 662 keV jest około dwudziestokrotnie większa od wysokości linii o energii 1461 keV (K-40).



Rys. 1. Widmo promieniowania γ grzybów zebranych latem 1988 r. w województwie olsztyńskim. Podobnie wygląda widmo pochodzące od grzybów zebranych w innych rejonach Polski.

Uważa się, że skażenie promieniotwórcze grzybów jest skutkiem opadów chmury radioaktywnej związanej z awarią elektrowni w Czernobylu w dniu 26 IV 1986 r. Dwa izotopy cezu: Cs-137 i Cs-134, których okresy połowicznego zaniku wynoszą odpowiednio 30,2 lat i 2,1 lat, z łatwością przetrwały w odpowiedniej ilości do dnia dzisiejszego. Opady promieniotwórcze cezu z 1986 r. prawdopodobnie znajdowały się w gruncie, na którym wyrosły grzyby w roku 1988. Pomiaru dokonano 12 IV 1990 r.

przemysłało jak należy, to okazywało się, że jego słowa albo postępowanie absolutnie logicznie wynikały z tego, co je poprzedzało. Oto jeden z przykładów. Swego czasu do Cambridge przyjechał pewien historyk nauki i zapragnął poznać Diraca. Przywieziono go do college'u. Dirac jadł obiad, powstało milczenie, które należało jakoś rozładować. Historyk rozpoczął rozmowę o pogodzie, zauważając, że na dworze jest dość wietrznie. Dirac nic nie odpowiedział, po chwili wstał, podszedł do drzwi, otworzył je i zaczął nashuchiwać. Dopiero przekonawszy się, że rozmówca mówi prawdę, potwierdził opinię krótkim „tak”.

Kończąc swoje wystąpienie pragnę zwrócić uwagę, że mówiłem nie jako historyk nauki, dokładnie ważący słowa i prawidłowo rozkładający akcenty. Były to wrażenia świadka słynnego okresu tworzenia jednej z największych teorii fizycznych – mechaniki kwantowej i wspomnienia o jej twórcach, z którymi miałem szczęście spotkać się i pracować.

przetłumaczył i opracował
Waldemar PUSZKARZ



Rozwiązanie zadania F 349.

Niech R oznacza promień igły, l zaś jej długość. Dodatkowe ciśnienie, jakie wywiera zakrzywiona powierzchnia wody na igłę, zgodnie z prawem Laplace'a, wynosi $p = \frac{\sigma}{R}$. W przypadku ekstremalnym igła będzie zanurzona do połowy. Robiąc bilans siły ciężkości, siły wyporu oraz siły związanej z napięciem powierzchniowym otrzymujemy

$$\rho \pi R^2 l g = \rho_w \cdot \frac{1}{2} \pi R^2 l g + \frac{\sigma}{R} \cdot 2R \cdot l.$$

Stąd

$$R = \sqrt{\frac{2\sigma}{\pi g(\rho - 0,5\rho_w)}}$$

i ostatecznie $d = 2R = 1,6 \text{ mm}$.

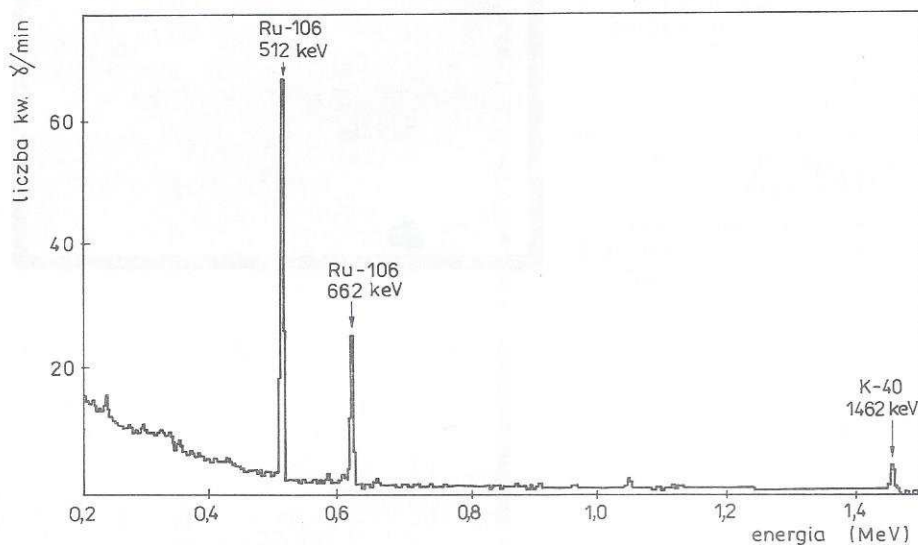
Dokonano także pomiarów z próbkami grzybów zebranych w tym samym czasie w pięciu różnych rejonach Polski oraz z jedną próbką grzybów zebranych rok wcześniej. Wszystkie one wykazywały taką samą promieniotwórczość γ pod względem jakościowym i niewiele różniły się pod względem ilościowym od opisanej poprzednio.

Gorące cząstki

Innym przykładem skażenia promieniotwórczego środowiska, którego rodowód jest ten sam, są tzw. gorące cząstki (z angielskiego hot spots). Nazwano tak miejsca o wysokiej aktywności promieniotwórczej; wykryto takie np. w Mikołajkach we wrześniu 1986 r.

Po kilkugodzinnym poszukiwaniu radiometrem przesuwającym na wysokości kilku centymetrów nad ziemią znajdowano od kilku do kilkunastu sztuk grudek ziemi szczególnie aktywnych promieniotwórczo. Kolejne dzielenie wyizolowanej promieniotwórczej grudki ziemi pod kontrolą radiometru wykazało, że cała promieniotwórczość skupiona jest w znikomo małym okruchu, mniejszym od ziarenka maku. Tak wydzielone okruchy to właśnie „gorące cząstki”.

Widmo promieniowania γ emitowanego przez jedną ze znalezionych w dniu 5 IX 1986 r. „gorących cząstek” (łącznie z tłem), pokazane jest na rysunku 2. Pomiaru dokonano 11 IV 1990 r.



Rys.2. Widmo promieniowania γ jednej z „gorących cząstek” znalezionej we wrześniu 1986 r. w Mikołajkach.



Rozwiązanie zadania M 655.

Przypuśćmy przeciwnie, że dla pewnego $x \in \mathbb{N}$ zachodzi $x^2 = n^2 + d$ i niech $k \cdot d = 2n^2$. Wtedy

$$\frac{x^2}{n^2} = \frac{2n^2 + 2d}{2n^2} = \frac{k+2}{k}.$$

Jeśli sprowadzimy do postaci nieskracalnej ułamek po prawej stronie, to różnica między jego licznikiem i mianownikiem może się co najwyżej zmniejszyć i będzie nie większa niż 2. Sprowadźmy do postaci nieskracalnej ułamek po lewej stronie.

Z zasadniczego twierdzenia arytmetyki wynika, że otrzymamy ułamek postaci p^2/q^2 dla pewnych $p, q \in \mathbb{N}$ ($p > q$). Ponieważ różnica między licznikiem i mianownikiem jest nie większa niż 2, więc

$$2 \geq p^2 - q^2 = (p-q) \cdot (p+q) \geq 1 \cdot 3 = 3.$$

Otrzymana sprzeczność kończy dowód.

Dominują tu dwie linie o energiach 512 keV i 622 keV, co na podstawie ich względnych natężeń pozwala sądzić, że pochodzą one z rozpadu izotopu rutenu Ru-106 o okresie połowicznego zaniku 372 dni. Najintensywniejsza linia jest około osiemnastokrotnie wyższa od linii o energii 1461 keV (K-40).

Wcześniejsze pomiary pozwoliły stwierdzić, że początkowo promieniotwórczość „gorących cząstek” składała się również z innego – krócej żyjącego (okres połowicznego zaniku 39 dni) – izotopu rutenu Ru-103. Oszacowana aktywność omawianych źródeł promieniowania γ w chwili znalezienia była równa setkom Bq (1 Bq odpowiada rozpadowi jednego jądra w czasie jednej sekundy), czyli podobna do tej, jakie mają niektóre źródła używane w pracach laboratoryjnych.

Gęstość występowania „gorących cząstek” we wrześniu 1986 r., oszacowana na podstawie próby statystycznej w liczbie dwudziestu kilku sztuk, jest równa jednej „gorącej cząstce” przypadającej na 56 m^2 powierzchni ziemi.

Podobne źródła promieniowania γ znajdowano też w Lublinie. Wydaje się więc mało prawdopodobne, aby wszystkie inne obszary Polski były pod tym względem uprzywilejowane.

Spśród emiterów promieniowania γ , które pojawiły się w naszym środowisku po awarii elektrowni w Czernobylu, obecnie można zaobserwować jedynie izotopy



Rozwiązanie zadania F 350.

Rzut momentu pędu układu Ziemia - Księżyc w układzie środka Ziemi jest sumą rzutu orbitalnego momentu pędu Księżyca i własnego obrotowego momentu pędu Ziemi na płaszczyznę ekliptyki

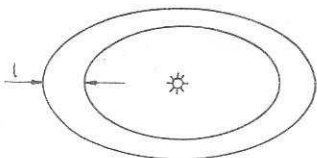
$$L = \frac{2}{5}MR^2\omega \cos \phi_Z + mvr \cos \phi_K,$$

gdzie $\omega = \frac{2\pi}{T}$, $T = 24 \text{ h}$, $v = \sqrt{\frac{GM}{r}}$,

a $\frac{2}{5}MR^2$ jest momentem bezwładności Ziemi. Stąd otrzymujemy

$$L = 3,52 \cdot 10^{34} \text{ kg} \cdot \text{m}^2/\text{s}.$$

Rozważmy dysk pramaterii o szerokości l wirujący wokół Słońca.



Dla uproszczenia rachunków możemy go „zwinąć” do odcinka o długości l .



Ta operacja, schematycznie obrazująca skupianie się pramaterii, posłuży nam do obliczenia własnego momentu pędu odcinka, który będziemy utożsamiać z wcześniej obliczoną wartością L .

Załóżmy dalej, że tak powstały odcinek ma stałą gęstość liniową $\rho = (M + m)/L$. Niech x oznacza odległość od środka odcinka do danego punktu, r_s zaś odległość Ziemi od Słońca. Prędkość, z jaką poruszają się poszczególne partie materii, zależy od x :

$$v(x) = \sqrt{\frac{GM_s}{r_s + x}} \approx \sqrt{\frac{GM_s}{r_s}} \left(1 - \frac{x}{2r_s}\right),$$

gdzie M_s oznacza masę Słońca. W stosunku do środka ciężkości odcinka będziemy mieli

$$u(x) = v_0 \frac{x}{2r_s},$$

gdzie v_0 jest prędkością Ziemi w ruchu wokół Słońca. Własny moment pędu układu wynosi więc

$$L = \int_{-l/2}^{l/2} \rho u(x) x dx = \frac{(M + m)l^2 v_0}{24r_s}.$$

Podstawiając $v_0 = \frac{2\pi r_s}{t}$, gdzie $t = 1 \text{ rok}$, otrzymujemy

$$L = \frac{\pi}{12} \frac{(M + m)l^2}{t},$$

skąd

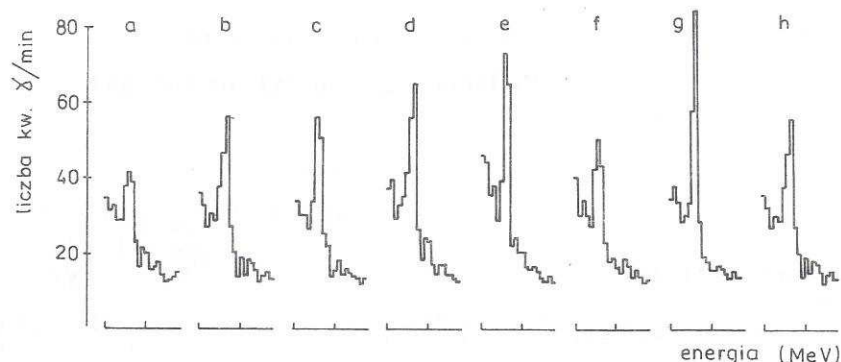
$$l = \sqrt{\frac{12Lt}{\pi(M + m)}} = 837 \text{ 000 km}.$$

cezu i rutenu, które ze względu na stosunkowo długi czas życia przetrwały do dnia dzisiejszego.

Promieniowanie tarczycy

Sytuacja była jednak inna w maju 1986 r., kiedy to można było doszukać się w widmach wielu krócej żyjących emiterów promieniowania γ , wśród których dominującą rolę odgrywał izotop jodu J-131 o okresie połowicznego zaniku 8,04 dni. Skażenie nim nastąpiło w wielu miejscach naszego środowiska, lecz najciekawsze wydaje się przedstawienie rezultatów pomiarów dotyczących występowania radioaktywnego jodu w tarczycy ludzkiej, gdyż, jak wiadomo, jod jest wybiórczo wchłaniany przez ten gruczoł.

Przebadano kilkanaście osób w różnym wieku. Fragmenty widm promieniowania γ tarczycy pięciu osób przedstawia rysunek 3.



Rys. 3. Fragmenty widm promieniowania γ tarczycy ludzkiej. Przypadki a,b,c,d odpowiadają osobom w różnym wieku - od najstarszej do najmłodszej: Przypadek e odpowiada osobie, która w dniu 30 IV 1986 r. zażyła plyn Lugola. Przypadki f,g,h przedstawiają fragmenty widm promieniowania γ tarczycy tej samej osoby w sześciodniowych odstępach (14, 20 i 26 maja 1986 r.).

Rejestracji widm dokonano w dniu 26 V 1986 r. Na wszystkich z nich widoczna jest główna (najintensywniejsza) linia pochodząca z rozpadu J-131, o energii 364 keV. Pierwsze cztery (rys. 3a,b,c,d) zostały uszeregowane według wieku badanych osób, w ten sposób, że przypadek pierwszy odpowiada najstarszej. Fragment widma na rysunku 3e odpowiada osobie, która w cztery dni po awarii (30 kwietnia) zażyła plyn Lugola. Chociaż zabieg ten powinien znacznie ograniczyć wchłanianie promieniotwórczego izotopu jodu, to, jak widać, nie spełnił on swojej roli. Ostatnie trzy przypadki (rys. 3f,g,h) dotyczą jednej osoby i zarejestrowane zostały w sześciodniowych odstępach czasu (14, 20 i 26 maja). Łatwo zauważyć, że nie wskazują one na zmniejszenie się ilości promieniotwórczego jodu z szybkością uwarunkowaną okresem połowicznego zaniku równym około 8 dni. I nic dziwnego, bo przecież poza rozpadem promieniotwórczym wchodzi tu w grę jeszcze dwa procesy: wydalanie wchłoniętej przez tarczycę porcji jodu i wchłanianie nowych porcji.

W tym artykule zostały przedstawione tylko wybrane przykłady emiterów promieniowania γ , stanowiących skażenie promieniotwórcze środowiska spowodowane awarią elektrowni jądrowej. Mimo że minęło siedem lat od tej dramatycznej katastrofy, wciąż jeszcze obserwujemy jej konsekwencje. Ocena skutków wynikających z tego skażenia środowiska nie jest prosta. Należy jednak zauważyć, że ludzkość od niepamiętnych czasów żyje i rozwija się w środowisku słabo promieniotwórczym, co prawdopodobnie nie pozostało bez wpływu zarówno na jej rozwój, jak i rozwój innych form biologicznych na Ziemi. Dwudziesty wiek wraz z rozwojem technik jądrowych wniósł pewne zakłócenie do istniejącego stanu naturalnego, co może w jakimś stopniu wpłynąć także na sferę biologiczną.

Istotne jest, że uświadamiamy to sobie i dysponujemy niezwykle czułą aparaturą, która pozwala na wykrywanie i identyfikację nawet bardzo niewielkich skażeń promieniotwórczych, porównywalnych z naturalną zawartością promieniotwórczych nuklidów w naszym otoczeniu.