

# Próby z bronią jądrową w atmosferze – historia oraz ich skutki

Data wpłynięcia do Redakcji: 04/2024  
Data akceptacji przez Redakcję do publikacji: 05/2024

2024, volume 13, issue 2, pp. 164-173

**Romuald Awsiuk**

Emerytowany pracownik Politechniki Śląskiej,  
Poland



**Streszczenie:** W artykule przedstawiono znaczenie testów broni jądrowej zwracając szczególną uwagę na wybuchy w atmosferze. By dobrze rozpatrzeć ten temat w pierwszej części przedstawiono reakcje wyzwajające energie wiązania uwalnianą w wybuchach jądrowych. Następnie przedstawiono budowę i zasadę działania różnych typów bomb jądrowych. W dalszej części przytoczono pełną historię atmosferycznych próbnych wybuchów zwracając przy tym uwagę na rodzaj bomby i siłę wybuchu. Omówiono też rodzaje skażenia jakie powodują różne typy broni jądrowej jak również skutki zaburzenia stanu atmosfery spowodowane tymi testami. W końcu pokazano w jaki sposób wykorzystać fakt skażenia środowiska i zaburzenia stanu atmosfery w badaniach naturalnego środowiska.

**Słowa kluczowe:** broń jądrowa, bomba atomowa, bomba termojądrowa, tryt radiowęgiel.

## WSTĘP

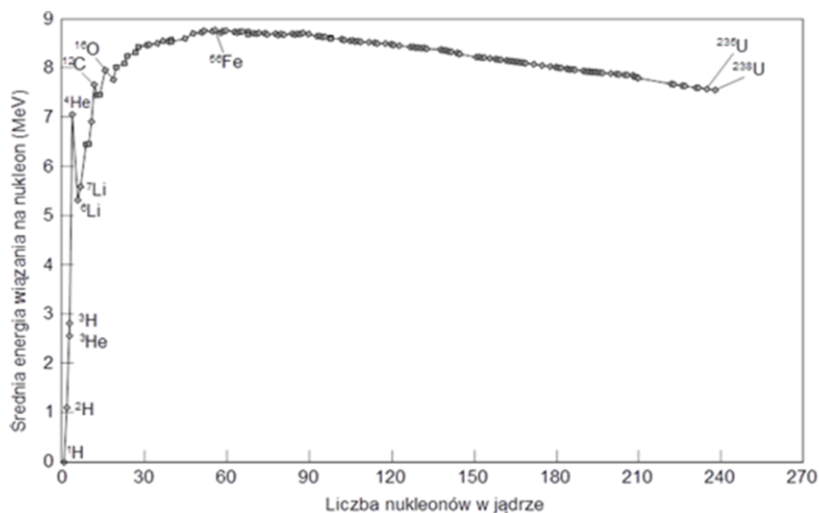
Energia jądrowa [1,2] a właściwie energia wiązania wynika z faktu, iż masa jądra każdego pierwiastka jest mniejsza od masy jego składników. Tak więc przy syntezie jądra atomowego z nukleonów mamy do czynienia z defektem masy:

$$\Delta m = Z \cdot m_p + (A-Z) \cdot m_n - M_j(A,Z) \quad (1)$$

W związku z czym wydzielili się energia zgodnie z regułą Einstein:

$$B = \Delta m \cdot c^2 \quad (2)$$

Wielkość B zwana jest energią wiązania. Z charakteru oddziaływania nukleon-nukleon energia wiązania przypadająca na jeden nukleon powinna być stała dla wszystkich jąder. Jednak ze względu na to, że nukleony na powierzchni jądra są słabiej związane niż te leżące w środku, energia wiązania przypadająca na jeden nukleon w jądrach pierwiastków lekkich jest mniejsza, gdyż większość nukleonów znajduje się na powierzchni. W przypadku jąder cięższych pierwiastków z końca tablicy Mendelejewa musimy uwzględnić oddziaływanie elektrostatyczne pomiędzy dodatnio naładowanymi protonami, które zmniejsza energię wiązania, więc są one również słabiej związane. Pełną zależność pomiędzy energią wiązania przypadającą na jeden nukleon a liczbą masową pierwiastka przedstawia wykres na rys. 1.



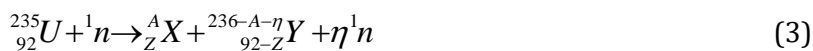
Rys. 1 Zależność energii wiązania przypadająca na jeden nukleon od liczby nukleonów w jądrze

Źródło: [2]

Jądra o liczbie masowej od 50 do 150 są silniej związane od jąder o liczbie masowej przekraczającej 200 o około 1MeV na każdy nukleon.

W wyzwoleniu energii wiązania mamy do czynienia z dwoma rodzajami reakcji jądrowych. Pierwszy z nich to reakcje syntezy. W tym przypadku w kanale wejściowym reakcji liczba nukleonów związanych w jądrach jest mniejsza od liczby nukleonów związanych w jądrach w kanale wyjściowym. Reakcje syntezy zachodzą we wszystkich gwiazdach. Energia wiązania wytwarzana przez reakcje syntezy na Słońcu umożliwia życie na Ziemi.

Drugim rodzajem reakcji odkryta 1938r. przez O. Hahna i F. Strassmana [3] a opisana w 1939r. przez L. Meitner i O.R. Frischa [4] reakcja rozszczepienia jąder. Schemat takiej reakcji przedstawia reakcja 3. Jądro  $^{235}\text{U}$  pochłania neutron i powstaje niestabilne jądro  $^{239}\text{U}$ , które dzieli się na dwa niesymetryczne jeden o liczbie masowej około 90 a drugi o liczbie masowej około 14,0 przy czym emitowane są dwa lub trzy neutrony, w nielicznych przypadkach może ich być o jeden więcej lub mniej.

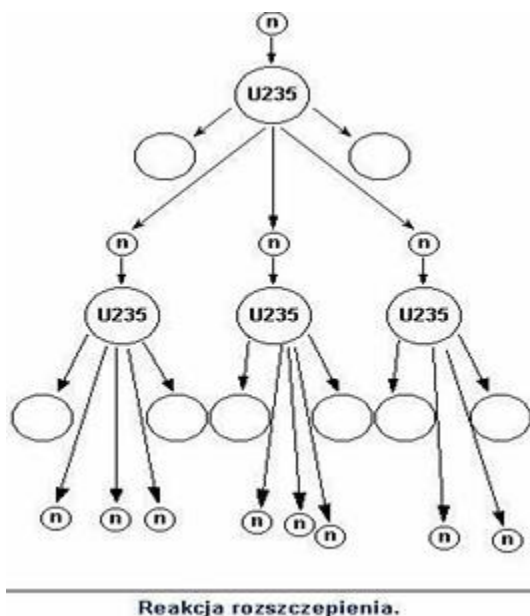


W wyniku takich reakcji z powodu, iż jądra fragmentów rozszczepienia obejmują zakres liczb masowych od 90 do 140 i są silniej związane o około 1 MeV na nukleon niż jądro  $^{235}\text{U}$ , wyzwoli się około 200 MeV energii na jedno rozszczepienie.

## BRONŃ JĄDROWA

W konstrukcji bomb jądrowych wykorzystuje się oba rodzaje reakcji zarówno rozszczepienia jak i syntezy. Budowę broni jądrowej zapoczątkował 1942r. Program Manhatan, który w 1945r. doprowadził do skonstruowania bomby opartej o reakcję 3 rozszczepienia  $^{235}\text{U}$  i  $^{239}\text{Pu}$  nazwano ją bombą atomową.

Zasada działania tej bomby polega na reakcji łańcuchowej, której schemat ilustruje rysunek 2.



Rys. 2 Schemat reakcji łańcuchowej

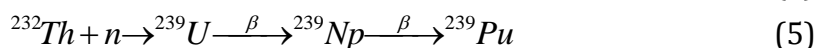
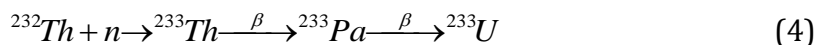
Źródło: [1]

W wyniku rozszczepienia  $^{235}\text{U}$  lub  $^{239}\text{Pu}$  emitowane są dwa lub trzy neutrony, które o ile nie opuszczą materiału rozszczepialnego powodują kolejne rozszczepienia. Jeżeli będzie spełniony warunek, odpowiedniej ilości materiału rozszczepialnego i nie ulegnie on rozproszeniu zanim większość jąder ulegnie rozszczepieniu, nastąpi wyzwolenie potężnej ilości energii czyli wybuch. Warunek ten charakteryzuje dla poszczególnych materiałów masa krytyczna, której wartości przedstawia tabela 1.

Tabela 1 Zestawienie mas krytycznych dla poszczególnych materiałów rozszczepialnych

Izotop	Masa krytyczna w geometrii kulistej [kg]
$^{235}\text{U}$	16
$^{233}\text{U}$	52
$^{239}\text{Pu}$	11

Przy budowie bomby atomowej należało rozwiązać dwa problemy. Po pierwsze uzyskać materiał rozszczepialny. Naturalny uran zawiera zaledwie 0,7 % izotopu 235, konieczne było opracowanie metody wzbogacania do wartości ponad 95 % zawartości izotopu  $^{235}\text{U}$ . Natomiast aby uzyskać [2] izotopy  $^{233}\text{U}$  i  $^{239}\text{Pu}$  konieczna była konstrukcja reaktorów jądrowych, gdyż nie występują one w przyrodzie, a wytwarzane są w następujących reakcjach z neutronami:



Drugim problemem jaki należało rozwiązać to umieszczenie klasycznych ładunków wybuchowych, aby przez odpowiednio długi czas materiał rozszczepialny nie uległ rozproszeniu. Bomby atomowe mają jednak ograniczoną siłę do kilkudziesięciu kTNT.

Następny typ to bomba wodorowa, albo inaczej termojądrowa. Ten rodzaj stanowi [5] bomba dwufazowa, pomysł na jej skonstruowanie pochodzi od S. Ulama i E. Tellera. Energia uwalniana podczas wybuchu w przeważającej części pochodzi z następujących reakcji syntezy:



Budowa takiej jest warstwowa w centrum umieszczony jest materiał rozszczepialny  ${}^{235}\text{U}$  lub  ${}^{239}\text{Pu}$ , drugą warstwą jest materiał używany do syntezy w postaci deuterku litu i trytu, Ostatnią warstwą jest system implozyjny. Pierwszą fazę stanowi normalna bomba atomowa. Energia uwolniona w tej fazie podgrzewa materiał przeznaczony do syntezy, a promieniowanie X dodatkowo zwiększa jego ciśnienie i następuje fuzja zgodnie z reakcjami 7-12 uwalniając znaczną energię.

Istnieje koncepcja bomby trójfazowej przez dodanie trzeciej warstw w postaci  ${}^{238}\text{U}$ , który ulega rozszczepieniu pochłaniając neutrony prędkie uwolnione w reakcjach syntezy. Trzecia faza ma za zadanie nie tylko zwiększenie energii wybuchu, ale również podniesienie stopnia skażenia promieniotwórczego przez produkty rozszczepienia. Siła wybuchu tych bomb wynosi od kilkunastu do ponad 50 MTNT.

## PRÓBY Z BRONIĄ JĄDROWĄ

O ile skażenie promieniotwórcze środowiska, spowodowane awariami reaktorów jądrowych odbija się szerokim echem zarówno w masmediach jak i w literaturze fachowej, o tyle największe skażenie spowodowane próbnymi wybuchami jądrowymi, szczególnie w atmosferze, nie zostało odpowiednio nagłośnione. Historia prób z bronią jądrową rozpoczyna się 16 lipca 1945 od pierwszej eksplozji na pustyni w stanie Nowy Meksyk. Zaraz potem USA użyły najpierw 6 sierpnia 1945r. w Hiroszynie a potem 9 sierpnia 1945r w Nagasaki bomb atomowych. W tabeli 2 zestawiono ilości próbnych wybuchów jądrowych w atmosferze dokonanych w latach 1945-1963 przez USA, ZSRR i Wielką Brytanią. Należy zauważyć, iż w latach 1961-1962 i w pierwszej połowie stycznia 1963r. USA i ZSRR przeprowadziły 179 testów o łącznej sile wybuchów około 300 MTNT.

**Tabela 2 Ilość prób z bronią jądrową przeprowadzonych w atmosferze przez USA, ZSRR i Wielką Brytanię w latach 1945-1963**

Rok	USA	ZSRR	Wielka Brytania	Suma
1945	1	0	0	1
1946	2	0	0	2
1947	0	0	0	0
1948	3	0	9	3
1949	0	1	0	1
1950	0	0	0	0
1951	15	2	0	18
1951	15	2	0	18
1952	10	0	1	11
1953	11	5	2	18
1954	6	10	0	16
1955	17	6	0	23
1956	18	9	6	33
1957	27	16	7	50
1958	62	34	5	101
1959	0	0	0	0
1960	0	0	0	0
1961	0	58	0	58
1962	39	78	0	117
1963	4	0	0	4

Źródło: [6]

Wybór okresu jest nieprzypadkowy, gdyż od 10 października 1963 zaczął obowiązywać układ o częściowym zakazie prób z bronią jądrową w atmosferze pod wodą i w przestrzeni kosmicznej. Układu tego nie ratyfikowały Francja i Chiny i dalej przeprowadzały próby w atmosferze. Zestawienie ilości tych prób w poszczególnych latach przedstawia tabela 3. Ostatecznie ostatnia próba przeprowadzona w atmosferze przez Chiny odbyła się 16 października 1980r.

**Tabela 3 Ilość prób z bronią jądrową przeprowadzonych w atmosferze przez Francję i Chiny w latach 1964-1980**

Rok	Francja	Chiny	Suma
Do 1964 roku	3	0	3
1964	0	1	1
1964	0	1	1
1966	5	3	8
1967	3	2	5
1968	5	1	6
1969	0	1	1
1970	8	1	9
1971	5	1	6
1972	3	2	5
1973	5	1	6
1974	7	1	8
1975	0	0	0
1976	0	3	3
1977	0	1	1
1978	0	2	2
1979	0	1	1
1980	0	1	1

Źródło: [6]

Z punktu widzenia skażenia środowiska bardzo istotnym jest, czy próba była z bombą atomową, czy z bombą wodorową, dlatego w tabeli 4 zestawiono daty pierwszych prób z bronią atomową i termojądrową dokonanych przez poszczególne mocarstwa jądrowe.

**Tabela 4 Daty pierwszych prób bomb atomowych i wodorowych wykonanych przez poszczególne mocarstwa**

Państwo	Pierwsza eksplozja atomowa	Pierwsza eksplozja termojądrowa	Odstęp czasu [lat]
USA	16 lipiec 1945	1 listopad 1952	7
ZSRR	23 wrzesień 1949	21 sierpień 1953	4
Wielka Brytania	16 lipiec 1945	15 maja 1957	12
Francja	13 październik 1960	34 wrzesień 1968	8
Chiny	16 październik 1964	17 czerwiec 1967	3

Źródło: [7]

W podsumowaniu w tabeli 5 zestawiono ilość próbnych wybuchów jądrowych oraz ich moc dokonanych przez poszczególne państwa moc w atmosferze i pod ziemią. W atmosferze wszystkie mocarstwa przeprowadziły łącznie 528 testów o sile 428 MTNT pod ziemią zaś 1515 o sile 82.5 MTNT.

**Tabela 5 Łączna ilość prób atmosferycznych i podziemnych oraz ich siła wykonanych przez poszczególne mocarstwa**

Państwo	Próby atmosferyczne		Próby podziemne	
	Ilość prób	Siła [MTNT]	Ilość prób	Siła [MTNT]
USA	215	141	815	38
ZSRR	219	247	496	38
Wielka Brytania	21	8	24	1
Francja	50	10	159	4
Chiny	23	22	20	1,5
Razem	528	428	1515	82,5

Źródło: [6]

Oprócz ilości istotne jest miejsce przeprowadzenia testów i tak:

1. USA przeprowadzały próby na atolu Bikini i Eniwetok, wyspach Johstona i Bożego Narodzenia, na Alasce oraz na pustyniach Newada i w Nowym Meksyku.
2. ZSRR miało poligony na Nowej Ziemi i w Semipałatyńsku w Kazachstanie.
3. Wielka Brytania przeprowadzała testy na pustyni w Australii i wyspie Bożego Narodzenia.
4. Poligony francuskie miały miejsce w Algierii, na Sacharze oraz Nowej Kaledonii.
5. Chiny przeprowadziły testy na pustyni Lop Nor

Za wyjątkiem prób francuskich pozostałe miały miejsce na półkuli północnej.

## SKAŻENIE PROMIENIOTWÓRCZE W WYNIKU PRZEPROWADZENIA PRÓB Z BRONIĄ JĄDROWĄ

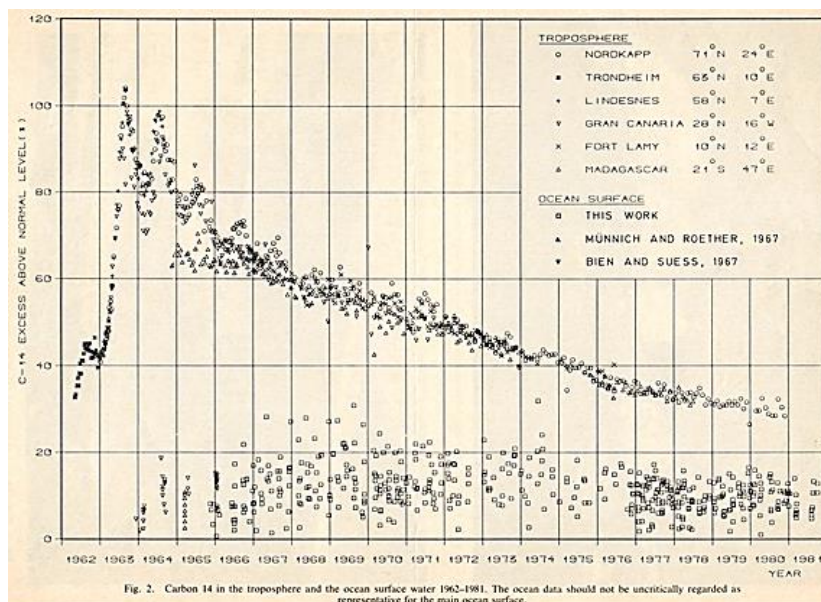
Z uwagi na to, iż energia wybuchu wyzwala jest w dwóch rodzajach reakcji a mianowicie rozszczepienia i syntezy, skażenia środowiska są odmienne. W wyniku reakcji 3 rozszczepienia powstają dwa ciężkie fragmenty oraz dwa lub trzy neutrony. Jądra fragmentów rozszczepienia posiadają nadmiar neutronów, gdyż jądra uranu i plutonu posiadają znaczny nadmiar neutronów nad protonami. W końcowym rezultacie tworzą dłuższe lub krótsze łańcuchy rozpadów  $\beta$  i  $\gamma$ . Większość tych rozpadów charakteryzuje się krótkim czasem połowicznego zaniku, tylko kilka z nich ma czas połowicznego zaniku rzędu kilku lub więcej lat, powodują trwałe skażenie. Do izotopów powstałych w wyniku rozszczepienia o długim czasie połowicznego zaniku należą  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  i  $^{134}\text{Cs}$ . Powstałe w wyniku przeprowadzonych prób izotopy promieniotwórcze cezu i strontu z czasem osiadły na powierzchni Ziemi,

W reakcjach syntezy nie powstają izotopy promieniotwórcze a obecne jest silne promieniowanie neutronowe. Można oszacować, iż w przypadku bomby atomowej powstanie  $3 \cdot 10^{26}$  n/MTNT, natomiast w przypadku bomby wodorowej  $1,6 \cdot 10^{27}$  n/MTNT. Bomba wodorowa nosi nazwę czystej, gdyż w stosunku do siły wybuchu produkuje mało izotopów promieniotwórczych. Natomiast bomba trójfazowa, gdzie zewnętrzną warstwę stanowił  $^{238}\text{U}$ , jest bombą brudną. Na szczęście nie przeprowadzono w atmosferze prób z bombą trójfazową. Jednak powstałe w wyniku reakcji rozszczepienia i syntezy neutrony w mogą wchodzić w reakcje z jądrami innych pierwiastków tworząc izotopy promieniotwórcze.



W. F. Libby [8] 1946r. wstępowanie w przyrodzie izotopów promieniotwórczych węgla  $^{14}\text{C}$  i trytu. Produkowane są one w reakcjach 13 i 14 przez neutrony wytworzone przez promieniowanie kosmiczne z jądrami azotu. Neutrony powstałe podczas wybuchów jądrowych wyprodukowały w reakcjach 13 i 14 bardzo duże ilości węgla  $^{14}\text{C}$  i trytu. Dowodem jak duże są zaburzenia koncentracji w przyrodzie, pokazują badania koncentracji  $^{14}\text{C}$  w atmosferycznym  $\text{CO}_2$  przeprowadzone przez R Nydala i K Lovsetha [9] oraz badania koncentracji trytu w opadach i wodach Dunaju przeprowadzone przez D Ranka [10]. Na rys 3 przedstawiono wyniki pomiarów koncentracji  $^{14}\text{C}$  w atmosferycznym  $\text{CO}_2$ . Kwadracikami zaznaczono wyniki pomiarów w próbkach pobranych na przylądku Nordcapp  $71^\circ\text{N}$   $24^\circ\text{E}$ , zaś trójkącikami w próbkach pobranych na Madagaskarze. Należy zauważyć, iż maksimum koncentracji  $^{14}\text{C}$  w atmosferycznym  $\text{CO}_2$  w troposferze wystąpiło na jesień 1964r, podczas gdy próby rozpoczęto od stycznia 1961r. Widoczna jest też różnica między poziomem koncentracji  $^{14}\text{C}$  w atmosferycznym  $\text{CO}_2$  w próbkach pobranych na półkuli północnej Nordcapp i południowej Madagaskar. Różnice te wynikają z faktu, iż wszystkie poligony, na których wykonywano testy leżą na półkuli północnej. Dopiero około 1969r. wyrównał się poziom koncentracji  $^{14}\text{C}$  atmosferycznym  $\text{CO}_2$

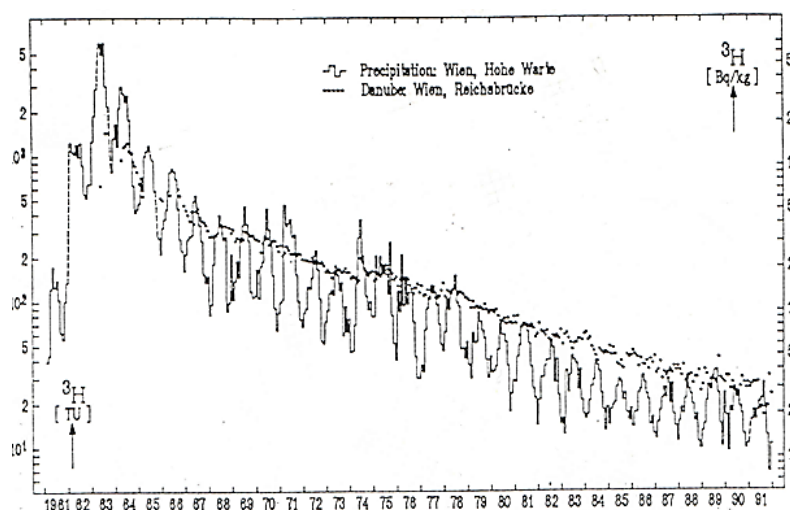
dla półkuli północnej i południowej. Dalsze badania koncentracji  $^{14}\text{C}$  w atmosferycznym  $\text{CO}_2$  świadczą, że obecnie poziom koncentracji  $^{14}\text{C}$  atmosferycznym  $\text{CO}_2$  powrócił do stanu przed próbami jądrowymi. W dolnej części pokazano wyniki pomiarów koncentracji  $^{14}\text{C}$  w  $\text{CO}_2$  rozpuszczonym w wodzie oceanicznej.



Rys. 3 Pomiarów koncentracji  $^{14}\text{C}$  w atmosferycznym  $\text{CO}_2$  dla próbek pobranych na różnych szerokościach geograficznych w latach 1962-1981

Źródło: [9]

Podobne zmiany zaobserwowano w pomiarach koncentracji trytu [10] w opadach oraz w wodach Dunaju, które przedstawione one na rys. 4. Jednostką koncentracji trytu w opadach jest TU, czyli 1 atom trytu na  $10^{18}$  atomów wodoru. W stanie równowagi koncentracja w opadach w zależności od szerokości geograficznej wynosi od 10 do 20 TU. Analizując te dane przedstawione na rys 4.



Rys. 4 Zmienność w pomiarach koncentracji trytu w opadach oraz w wodach Dunaju, w latach 1961-1991

Źródło: [10]



Widzimy, że w 1963r. koncentracja trytu w opadach wzrosła do wartości  $5 \cdot 10^3$  czyli kilkaset razy a w rzece do 1000 TU. W przypadku trytu stan równowagi został osiągnięty w znacznie krótszym czasie.

Powodem tego jest czas połowicznego zaniku, który wynosi 12,3 lat w porównaniu do wartości czasu połowicznego zaniku 5730 lat dla węgla  $^{14}\text{C}$  oraz faktu, iż tryt odprowadzony rzekami do mórz nie wchodzi w obieg wody w przyrodzie.

## PODSUMOWANIE

Pomimo przeprowadzenia 528 wybuchów jądrowych o sile 428 MTNT z czego w 1961 i 1962 było ich 197 o sile 300 MTNT w atmosferze. Przyroda powróciła do stanu z przed wykonywaniem prób. Poziom koncentracji  $^{14}\text{C}$  w atmosferycznym  $\text{CO}_2$  i trytu osiągnęła wartości z okresu przed eksperymentami z bronią jądrową. Trzeba wziąć po uwagę, iż w obniżeniu koncentracji  $^{14}\text{C}$  miał efekt Sussa. Emisja nieaktywnego  $\text{CO}_2$  pochodzącego ze spalania paliw kopalnych nie tylko obniżyła poziom koncentracji  $^{14}\text{C}$  w atmosferycznym  $\text{CO}_2$  ale spowodowała wzrost zawartości  $\text{CO}_2$  w powietrzu do wartości ponad 400 ppm. Badania nad zmiennością koncentracji  $^{14}\text{C}$  w atmosferycznym  $\text{CO}_2$  pozwoliły na opracowanie modeli obiegu węgla w przyrodzie. Modele te pozwalają lepiej zrozumieć zachodzące zmiany klimatyczne na Ziemi.

## LITERATURA

- [1] Strzałkowski A. Wstęp do fizyki jądra atomowego. PWN, 1979.
- [2] Szczeniowski S. Fizyka doświadczalna t. IV PWN, 1974.
- [3] Hahn, O., Strassmann, F. Über den Nachweis und das Verhalten der bei der Bestrahlung des Urans mittels Neutronen entstehenden Erdalkalimetalle. Naturwissenschaften, 27 (1), (1939), pp. 11-15.
- [4] Meitner L., Frish O.F. Disintegration of Uranium by Neutrons: a New Type Nucler Reaction. Nature 143, (1939), pp. 239-240.
- [5] [www.nuke.edu](http://www.nuke.edu)
- [6] Known nuclear tests worldwide, 1945-1995 NRDC Nuclear notebook Maj/Czerwiec 1996.
- [7] Ferm R.: Nuclear explosions 1946-1996, SIPRI, Yearbook, 1997.
- [8] Libby F.: Atmospheric helium three and radiocarbon from cosmic radiation Phys. Rev. 69, (1946), pp. 671-672.
- [9] Nydal R., Lovseth K.: Tracing Bomb  $^{14}\text{C}$  in the Atmosphere 1962-1980, Journal Geoph.Res. 88 nr C6, (1983), pp. 3621-3642.
- [10] Rank D.: Environmental tritium in hydrology present state, 1992.

## **Atmospheric Nuclear Weapons Testing – History and Implications**

**Abstract:** The article presents the significance of nuclear weapons testing, with particular reference to atmospheric explosions. In order to provide a good overview of the subject, the first part presents the reactions that trigger the binding energies released in nuclear explosions. This is followed by a presentation of the construction and operating principles of the various types of nuclear bomb. In a following section, the complete history of atmospheric test explosions is given, with emphasis on the type of bomb and the power of the explosion. The types of contamination caused by different types of nuclear weapons are also discussed, as well as the effects of atmospheric disturbance caused by these tests. Finally, it is shown how the fact of environmental contamination and atmospheric disturbance can be used in studies of the natural environment.

**Keywords:** nuclear weapons, fission bomb, thermonuclear bomb, radiocarbon, tritium

### **Romuald Awwsiuk**

Emerytowany pracownik Instytutu Fizyki  
Politechnika Śląska, Polska  
tel. + 48 605 591 525  
e-mail romuald.awwsiuk@polsl.pl