ARTYKUŁY

CZWARTA GENERACJA BRONI JĄDROWEJ*

1. WSTĘP

Raport pt. „Czwarta generacja broni jądrowej", którego siódme wydanie ukazało się we wrześniu 2000 roku został napisany przez dwóch naukowców szwajcarskich i zawiera ocenę perspektyw rozwoju nowej, czwartej generacji broni jądrowej w kontekście Traktatu o Powszechnym Zakazie Prób z Bronią Jądrową (PZPBJ) przyjętego przez Zgromadzenie Ogólne ONZ dnia 10 września 1996 r. Ta nowa generacja broni jądrowej oparta na reakcji rozszczepienia jąder ciężkich lub syntezy jąder lekkich charakteryzuje się mocą wybuchu w zakresie od 1 do 100 ton równoważnika trotylowego (TNT). Zakres ten dziś odgranicza broń konwencjonalną od broni jądrowej, która przy tej mocy nie byłaby zakwalifikowana jako broń masowego rażenia.

W raporcie opisano dokładnie siedem fizycznych procesów i materiałów, które mogłyby być zastosowane do skonstruowania takiej mało wydajnej broni, a mianowicie: wyzwalanie energii z reakcji rozszczepienia w stanach podkrytycznych, kompresja magnetyczna, pierwiastki transuranowe, antymateria, izomeria jądrowa, wodór metaliczny i ultra wydajne lasery (tzn. superlasery). We wszystkich pięciu państwach atomowych (a także w kilku innych krajach uprzemysłowionych, takich jak Niemcy i Japonia) prowadzone są szerokie badania nad inercyjnym utrzymywaniem fuzji jądrowej i innymi procesami fizycznymi w celu stworzenia podstaw rozwoju czwartej generacji broni jądrowej. We wszystkich tych badaniach dokonano w ciągu ostatnich kilku lat znacznego postępu. Rozwój konstrukcji urządzeń do badań mikrowybuchów z wykorzystaniem fuzji, zarówno w państwach atomowych jak i nieatomowych, nadaje wyścigowi zbrojeń nowego bodźca. Świat stanął w obliczu ryzyka, iż niektóre kraje zaopatrzą się w broń jądrową czwartej generacji, omijając etap uzbrajania się w broń jądrową starszej generacji. Jest zatem wiele powodów do przygotowania niezależnej ekspertyzy naukowej o broni jądrowej. Główny powód jest prosty: fizyczne podstawy budowy tej broni nie stanowią już tajemnicy. Państwa lub organizacje chcące ją budować, mogą z łatwością znaleźć potrzebną do tego celu podstawową informację w rozpowszechnionej literaturze. Dostępność zaś komputerów, nawet o średniej wydajności, stanowi dostateczne narzędzie umożliwiające jej skonstruowanie. Podobne informacje i możliwości obliczeń są także dostępne przeciwnikom broni jądrowej, dążącym do zwiększenia siły swych argumentów. Zatem nie ma powodów, dla których posiadanie wiedzy powinno być przywilejem ekspertów rządowych, pracujących za żelazną kurtyną tajemnicy.

2. GENERACJE BRONI ATOMOWYCH

W rozwoju broni atomowej można wyróżnić cztery generacje (etapy rozwoju).

Pierwsza generacja to bomby uranowe lub plutonowe. Ich technologia jest szeroko znana, a prostota konstrukcji sprawia, iż nie wymagają doświadczeń. Dzisiaj, z punku widzenia rozpowszechniania, broń ta stanowi największe zagrożenie.

Do drugiej generacji należą urządzenia wybuchowe z busterem termojądrowym i dwustopniowe bomby-H. W tych ostatnich, bomba atomowa z inicjatorem

*) Skrót raportu pt. "Fourth Generation Nuclear Weapons" dokonany przez Jerzego Kubowskiego.
Autorzy: André Gsponer i Jean-Pierre Hurni (Independent Scientific Research Institute, Switzerland) wydawca: International Network of Engineers and Scientists Against Proliferation; wyd. siódme, wrzesień 2000 r., Darmstadt University of Technology, Germany; str. 183, rys. 25, tabl. 4, poz. bibl. 590; cena 20 USD.

zawierającym tryt, implodując zapala drugi człon, w którym reakcja syntezy wyzwala największą część mocy. Rozwój tej broni wymagał intensywnych doświadczeń, co doprowadziło do powstania bomb o wielkiej mocy (100 - 500 tys. ton TNT), w których stosunek mocy do ciężaru jest ok. dwudziestokrotnie większy niż w bombie pierwszej generacji. Chociaż do dziś nie wszystkie naukowe aspekty są jasne, to jednak po pięćdziesięciu latach badań i prawie dwóch tysiącach wybuchów doświadczalnych – nie ma nadziei na dalszy znaczny postęp. Stało się to zapewne głównym powodem, dla którego testy z tą bronią można było objąć Traktatem PZPBJ.

Trzecia generacja, to przede wszystkim broń taktyczna o zwiększonej skuteczności, m.in. bomby neutronowe, tzw. „czyste" (Enhanced Radiation Warheads).[1] Jednakże ich przydatność, jako broni przeciwczołgowej, nie została udowodniona. Żadna broń tej generacji nie posiada bezwzględnych korzyści, wynikających ze znacznego zmniejszenia zniszczeń pobocznych, braku resztkowej promieniotwórczości itd. Jej rozwój będzie wymagać licznych doświadczalnych wybuchów. Z tego powodu, badania nad nią objęte zostały przez Traktat PZPBJ.

Czwarta generacja wykorzystuje atomowe lub jądrowe procesy nie objęte przez Traktat PZPBJ. W przeciwieństwie do broni drugiej generacji, jej rozwój będzie oparty na ostatnich, fundamentalnych osiągnięciach nauki, a także na wyrafinowanych komputerowych technikach symulacyjnych, które umożliwią jej wdrożenie po niewielkiej liczbie doświadczeń. Oczywiście, przewidywane do zastosowania materiały wybuchowe będzie trudniej wyprodukować, niż pluton lub wzbogacony uran. Broń ta z militarnego punktu widzenia będzie posiadać zalety w zastosowaniu taktycznym ze względu na pozostawiane znikome skażenie promieniotwórcze. Korzyści będą także polityczne, ponieważ jej rozwój będzie ograniczony do krajów o wysokiej technologii.

3. FIZYCZNE PODSTAWY TERMOJĄDROWYCH MATERIAŁÓW I URZĄDZEŃ WYBUCHOWYCH

Do podstawowych paliw termojądrowych należą: deuter (D), tryt (T) i hel-3 (^{3}He). Zachodzą w nich odpowiednie reakcje syntezy. W wyniku powstaje energia, dodatkowe paliwo termojądrowe (T, ^{3}He), neutrony i produkty obojętne (^{4}He, protony), które nie biorą więcej udziału w reakcjach. Wiadomo, że reakcje te wymagają ogromnej temperatury ok. 10^7 stopni Kelvina (co odpowiada ok. 1 keV) i jednocześnie ciśnień rzędu wielkości 100 TPa, czyli 10^9 atm. Natomiast reakcje z udziałem neutronów przebiegają przy normalnej temperaturze i ciśnieniu. W reakcji neutronu z litem powstaje tryt i jest to podstawowa reakcja umożliwiająca, w wysoko wydajnej bombie wodorowej, produkcję trytu *in situ* i wykorzystywanie w ten sposób powstającego deuteru (D) i litu (Li). W broni tego rodzaju, paliwo termojądrowe początkowo zawiera zestalony lit z domieszką deuteru (LiD) w normalnej temperaturze i ciśnieniu. W warunkach dostatecznej temperatury i ciśnienia, reakcje trytu z deuterem i litu z neutronem tworzą układ sprzężony, zwany cyklem Jettera. W związku z emisją neutronów będących produktem reakcji cykl ten narasta wykładniczo, jednakże dla skompensowania strat neutronów i podtrzymywania cyklu na wysokim poziomie wydajności, potrzebny jest powielacz neutronów (np. w postaci otaczającego plazmę płaszcza uranowego), który dzięki reakcjom (*n,2n*) pozwala otrzymywać dodatkowe neutrony.

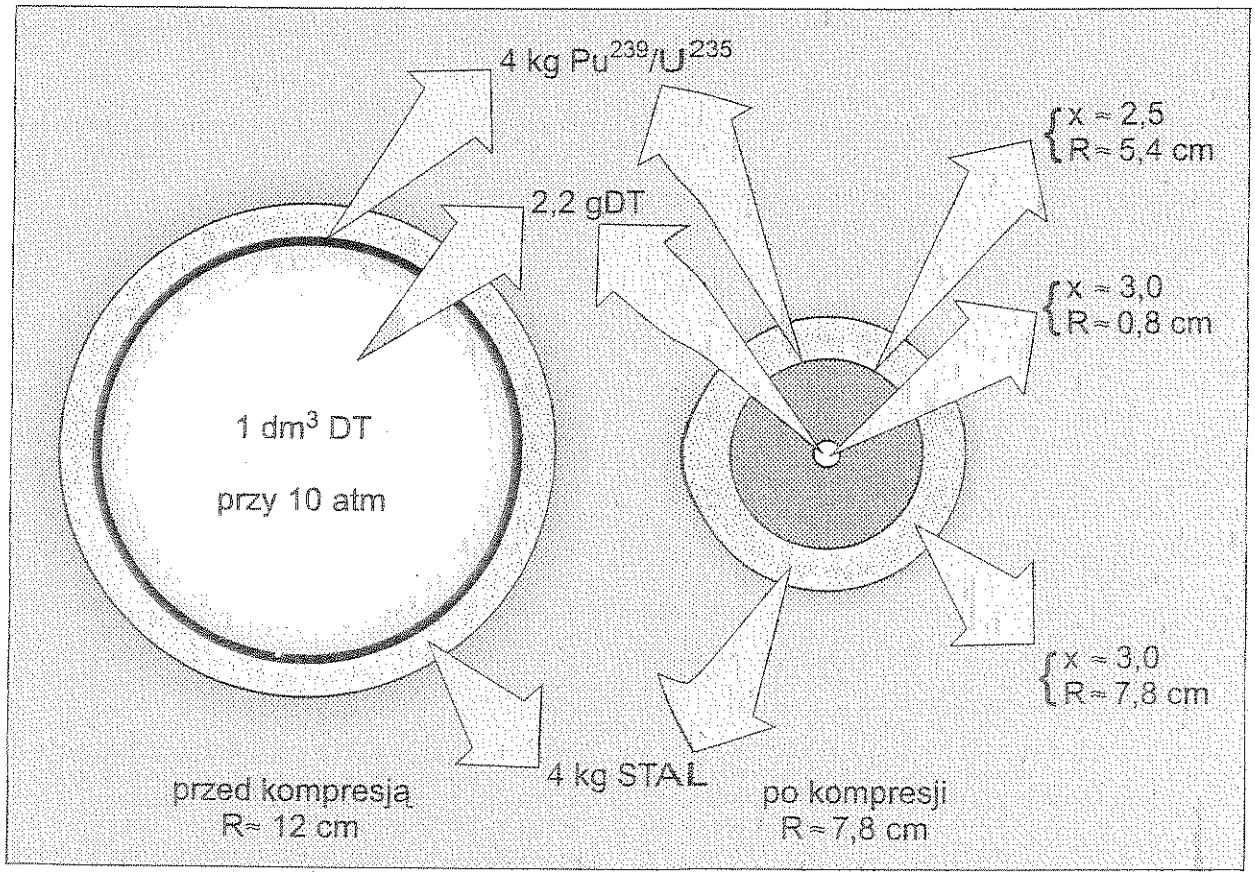
4. WYBUCHOWE URZĄDZENIA ROZSZCZEPIENIOWE I ZASADA DZIAŁANIA BUSTERA

Bomba rozszczepieniowa z „busterem" jest urządzeniem, w którym niewielka ilość paliwa termojądrowego ulegając zapłonowi pod wpływem reakcji rozszczepienia, generuje neutrony przyczyniające się następnie do zwielokrotnienia reakcji rozszczepienia. Koncepcję bustera (wzmacniacza, detonatora) opracowano na początku lat 50-tych. Korzyści z jego wdrożenia okazały się tak znaczne, iż we wszystkich nowoczesnych bombach rozszczepieniowych stosuje się buster. Wynika to z tego, że warunki zapłonu paliwa termojądrowego mogą być osiągnięte znacznie wcześniej przed momentem zakończenia reakcji łańcuchowej. Stąd moc wybuchu jest określona przede wszystkim liczbą neutronów z reakcji syntezy, a nie z reakcji łańcuchowej. Sytuacja taka pozwala uniknąć stosowania grubego reflektora neutronów i masywnego popychacza oraz budować rozszczepieniowe urządzenie wybuchowe o małej masie i znacznych wydajnościach. Ponadto, ze względu na niektóre cechy fizyczne plazmy, warunki inicjowania reakcji syntezy są raczej nieczułe na zmianę takich krytycznych parametrów, jak: współczynnik kompresji, ilość trytu, tło neutronowe. W rezultacie bomby z rozszczepieniowym busterem są bardziej niezawodne, mocniej-

[1] Są przeznaczone do zabijania załóg pojazdów opancerzonych, odpornych na towarzyszące wybuchowi jądrowemu promieniowanie cieplne i fale uderzeniowe. Ponieważ stalowy pancerz zmniejsza promieniowanie neutronowe tylko w nieznacznym stopniu, więc taktyczna broń neutronowa zwiększa zasięg skutków letalnych. Neutrony, odziaływując na stal pancerza, wzbudzają w nim promieniowanie-X, na które narażona zostaje załoga. Bomby tego rodzaju unieszkodliwiają załogę w ciągu kilku minut, a jej śmierć następuje po kilku dniach. USA wstrzymały produkcję tych bomb w 1978 r., a w 1981r. podjęły na nowo. (J.K.)

sze i bezpieczniejsze niż bomby nieposiadające takiego urządzenia. Te ostatnie, najprawdopodobniej używane są przez nowe, nieprzestrzegające zakazu o nieproliferacji kraje, pozbawione bazy technologicznej potrzebnej do budowy broni jądrowej z busterem.

Gdy materiałem rozszczepialnym jest pluton, wymagane jest stosowanie techniki implozji, a zalecane – w przypadku chęci wykorzystywania uranu w sposób ekonomiczny. Szczegółowe obliczenia dynamiki uranowego urządzenia implozyjnego wykazały, że reakcja deuter-tryt (*DT*) jest jedyną, która nadaje się do zastosowania w busterze. Dlatego też tryt jest bezwzględnie koniecznym składnikiem nowoczesnych urządzeń wybuchowych, opartych na reakcji rozszczepienia. Na rys.1 pokazano uproszczony schemat takiego bustera. Rdzeń, w postaci skorupy z plutonu i/lub wzbogaconego uranu, jest otoczony stalowym płaszczem (i w miarę możliwości – berylowym reflektorem) oraz „soczewkami" skupiającymi energię wybuchu materiału chemicznego. Odpowiada to współczesnej koncepcji budowy hermetycznego zasobnika, zawierającego materiał rozszczepialny i wysoko wybuchowy materiał chemiczny. Na krótko przed detonacją, do zasobnika wprowadza się gazową mieszaninę *DT* (lub tylko tryt) o ciśnieniu kilkudziesięciu atmosfer przechowywaną w oddzielnym pojemniku. To zapewnia, że buster – w przypadku awaryjnego wybuchu materiału chemicznego – nie zostanie uruchomiony. Typowe dane dla takiej bomby to: płaszcz stalowy o wadze 4 kg, rdzeń z materiału rozszczepialnego – 4 kg i ilość *DT* równa 2,2 g. Dla wywołania implozji takiego urządzenia potrzeba ok. 10 kg chemicznego materiału wybuchowego. W czasie detonacji uranowy rdzeń i płaszcz implodują w tym samym momencie, co gaz *DT*. W celu otrzymania wielkich mocy wybuchu, potrzebne jest powielanie neutronów w materiale rozszczepialnym. Wymaga to doprowadzenia masy plutonu do stanu znacznie nadkrytycznego, tzn. do o wiele większej kompresji niż jest potrzebna do osiągnięcia jedynie stanu krytycznego. Sytuacja taka implikuje konieczność stosowania zaawansowanej techniki implozji, a zarazem zapewnia, że urządzenie będzie się znajdowało w stanie nadkrytycznym w ciągu dostatecznie długiego czasu przed eksplozją. Skonstruowanie urządzenia z busterem nie jest zadaniem prostym, szczególnie jeśli moc ma przekraczać kilka kiloton. Podstawowa trudność polega na tym, że wewnątrz wnęki z *DT*, trzeba umieścić zewnętrzne źródło neutronów, niezbędne do zainicjowania reakcji łańcuchowej. Ponadto, ponieważ *DT* i pluton nie osiągają

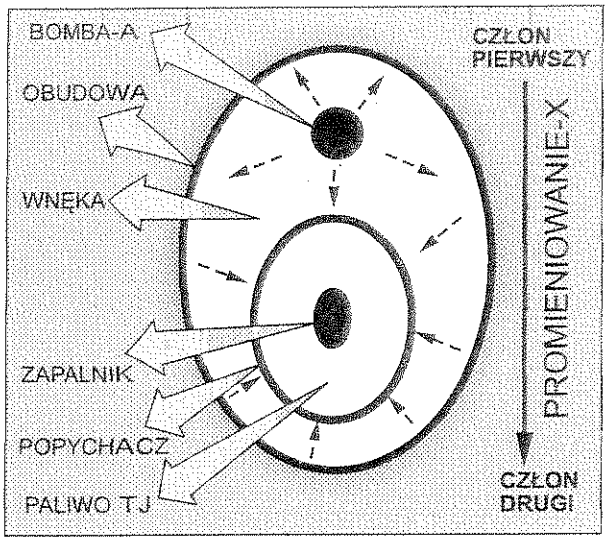


Rys. 1. Schemat bustera: rdzeń zawierający 2,2 g paliwa DT, przed i po kompresji wywołanej wybuchem ok. 10 kg materiału chemicznego

maksymalnej kompresji w tej samej chwili, przeto czas impulsu neutronów z owego źródła musi być precyzyjnie dobrany. Buster może być także zastosowany do produkcji skutecznej i niezawodnej broni rozszczepieniowej, w której zamiast jądrowo czystego plutonu użyto plutonu reaktorowego.[2] Preferencja dla plutonu czystego jest sprawą wygody (upraszcza konstrukcję, gdyż pluton reaktorowy, w celu odprowadzania ciepła z rozpadu Pu-240, może wymagać chłodzenia) i przeznaczenia głowic: magazynowanie lub trzymanie w pogotowiu przez względnie długi czas, przed oddaniem do przerobu. Oprócz tego, niezależnie od rodzaju użytego materiału rozszczepialnego, skonstruowanie bomby z busterem może być łatwiejsze niż prymitywnych bomb atomowych, zrzuconych na Hiroszimę i Nagasaki. Najważniejszym problemem jest posiadanie kilku gramów trytu. Sądzi się, iż dwa spośród pięciu urządzeń wybuchowych, wypróbowanych przez Indie w maju 1998 r. nie zawierały czystego plutonu.

5. ZASADA DZIAŁANIA BOMBY WODOROWEJ

Jednym z głównych motywów zbudowania bomby wodorowej (bomby-H) było to, iż w odróżnieniu od materiałów rozszczepialnych, rzadko występujących i drogich, taniego deuteru jest w przyrodzie pod dostatkiem.[3] Dzisiaj, na podstawie opublikowanych w 1996 r. prac przez uczestniczących w budowie bomby-H specjalistów z laboratorium „Arzamas-16"[4], wiadomo, że zarówno amerykańskie, jak i rosyjskie programy zostały zapoczątkowane studiami nad możliwością nagrzewu deuteru za pomocą fal udarowych, powstałych wskutek wybuchu bomby-A. Pierwsza koncepcja bomby-H, zwana „Super", zaproponowana przez Edwarda Tellera ok. 1942 r. polegała na nagrzewaniu deuteru zawartego w cylindrze z jednego jego końca. W owym czasie sądzono, iż reakcja termojądrowa rozprzestrzeni się samoczynnie wzdłuż cylindra osiągając drugi jego koniec. Jednakże na podstawie prac teoretycznych, w 1950 r. w USA nabrano przekonania (a także w ZSRR w 1954 r.), że zapłon i propagacja detonacji w cylindrze z ciekłym deuterem będą trudne, jeśli w ogóle możliwe. Zaczęto więc poszukiwać innych rozwiązań. Pojawiły się pomysły oparte na koncepcji bustera, którą już w tym czasie pomyślnie sprawdzono. Podstawowym warunkiem zapłonu i inercyjnie utrzymywanej reakcji syntezy jest wytworzenie plazmy o dostatecznie wysokiej kompresji. Po wielu nieudanych próbach skonstruowania bomby-H, Teller i Ulam w 1951 r. odkryli metodę otrzymywania wysokich kompresji.[5] Metoda Tellera – Ulama jest następująca (rys.2): bombę rozszczepieniową (bombę-A) i napełniony paliwem termojądrowym kontener (człon drugi) umieszcza się we wspólnej obudowie. Kontener i płaszcz (zwany popychaczem), członu drugiego wykonuje się z ciężkiego materiału, nieprzepuszczającego promieni-X, a pozostałą przestrzeń wnęki, wewnątrz obudowy, wypełnia się materiałem o małej gęstości[6], celem stworzenia warunków dla przenikania promieni-X. Duża część tego



Rys. 2. Schemat działania bomby TJ wg zasady Tellera-Ulama-Sacharowa-Zeldowicza: wybuch bomby-A w członie pierwszym wywołuje kompresję i zapłon paliwa TJ w członie drugim (Wg dokumentu Departamentu Energetyki USA, odtajnionego 01.06.1994 r.)

[2] Np. zmagazynowany w USA tzw. pluton czysty, zawiera 94% Pu-239 i ok. 6% Pu-240; pluton reaktorowy, wydobyty z wypalonego paliwa reaktorowego, zawiera ok. 60 % - 65% Pu-239, resztę (w przeważającej mierze) stanowi Pu-240. Okresy półrozpadów Pu-239 i Pu-240 wynoszą odpowiednio: $2{,}41 \cdot 10^4$ i $6{,}54 \cdot 10^3$ lat. (J.K.)

[3] Zawartość deuteru w wodorze naturalnym wynosi 0,015%; wydziela się go m.in. metodą elektrolizy lub destylacji.(J.K.)

[4] Główny rosyjski ośrodek badań nad bronią jądrową założony w 1946 r.

[5] W grudniu 1950 r. Stanisław Ulam zaproponował nową konstrukcję bomby-A, opartą na wykorzystaniu impulsu energii mechanicznej od zwykłej bomby rozszczepienowej, w celu doprowadzenia do wysokiej kompresji – drugiego zestawu z materiałem rozszczepialnym. Powstało pojęcie dwustopniowego urządzenia rozszczepialnego. Na początku 1951 r. Ulam zasugerował Tellerowi użycie tej koncepcji do wytworzenia kompresji i zapłonu w urządzeniu termojądrowym. Teller natomiast, zamiast impulsu mechanicznego, wysunął myśl zastosowania implozji na drodze wykorzystania energii radiacji. W ZSRR prace nad metodą implozji radiacyjnej rozpoczęto w styczniu 1954 r. i w ciągu kilku tygodni została ona opracowana przez: J. B. Zeldowicza i A. D. Sacharowa. (J. K.)

[6] W przypadku bomb lotniczych może to być uretan w formie utwardzonej pianki, a w pociskach artyleryjskich-twardy metal o małej gęstości, np. beryl.

promieniowania, powstałego wskutek reakcji rozszczepienia w członie pierwszym, przenika do wnęki, gdzie jego widmo szybko osiąga stan równowagi w ciele czarnym, i pod wpływem zakumulowanej energii przemienia materiał w plazmę. Nagrzewanie radiacyjne wytwarza w plazmie równomierny rozkład temperatury i ciśnienia, co dowodzi, iż promieniowanie oddziaływuje na człon drugi jednakowo ze wszystkich stron. Plazma reemituje długofalowe promieniowanie-X, które pochłaniane jest w płaszczu i popychaczu. Płaszcz rozgrzewa się do tego stopnia, iż w warstwie powierzchniowej następuje odparowanie i odrzucenie materiału do wnęki, a powstałe w niej ciśnienie wtłacza popychacz do wewnątrz; skutkiem implozji, paliwo termojądrowe zostaje doprowadzone do bardzo wysokiej gęstości.[7] W centralnej części członu drugiego znajduje się zapalnik. Składa się z materiału rozszczepialnego w stanie podkrytycznym, który w tym samym czasie co urządzenie wtórne ulega kompresji. Wskutek, spowodowanej wybuchem członu pierwszego, intensywnej emisji neutronów w zapalniku – po wystąpieniu w nim stanu krytycznego – natychmiast zaczyna się rozwijać reakcja łańcuchowa; a w celu niedopuszczenia do jej przedwczesnego wygaśnięcia – zapalnik jest wspomagany busterem z niewielką ilością *DT*. Eksplozja zapalnika następuje dokładnie w momencie, gdy – dzięki implozji – paliwo termojądrowe osiąga maksymalną gęstość. W ten sposób zapalnik – pod wpływem promieniowania – staje się znacznym źródłem energii, zapewniającym zapłon w najgorszej nawet sytuacji. W następstwie wynalezienia przez Tellera zapalnika, wkrótce po odkryciu wspólnie z Ulamem sposobu otrzymywania bardzo wysokich kompresji, cały schemat działania bomby-H przyjęto z wielką nadzieją.

6. ROZWÓJ BRONI JĄDROWEJ W ŚWIETLE TRAKTATU PZPBJ

Zatwierdzony przez ONZ Traktat o Powszechnym Zakazie Prób z Bronią Jądrową (PZPBJ) przyczynił się do zakończenia próbnych wybuchów. Aczkolwiek ze względu na to, że Traktat nie zakazuje doświadczeń laboratoryjnych, broń jądrowa nadal będzie rozwijana za pomocą licznych, udoskonalonych w ciągu ostatnich czterdziestu lat technik symulacyjnych, które w obecnej dobie mogą z powodzeniem zastąpić doświadczenia na poligonach. Mają one wielką przewagę nad tradycyjnymi metodami, ponieważ pozwalają analizować wiele zachodzących w broni jądrowej procesów, których rozumienie jest nadal niedostateczne. W istocie, brak doświadczalnych wybuchów, w połączeniu z ogromnymi możliwościami laboratoriów, stwarzają sposobność do wyprodukowania nowej broni jądrowej.

Istnieją dwie klasy eksperymentów jądrowych, dozwolonych przez Traktat PZPBJ: doświadczenia podkrytyczne i jądrowe mikrowybuchy. Podczas negocjacji w sprawie Traktatu, pięć państw atomowych spotykało się kilkakrotnie potajemnie, dwustronnie lub wielostronnie, aby sprecyzować sens używanych w nim terminów. W szczególności, wymieniały między sobą informacje o tym, co Traktatem miałoby być dozwolone lub zakazane oraz wyjaśniały znaczenie zwrotu „Działalność nie zakazana traktatem." Wprawdzie dokładna jego wykładnia jest tajna, to jednak wiadomo, że ważną kwestię stanowiło pojęcie tzw. „prób hydronuklearnych"[8], tzn. doświadczeń z bronią jądrową (lub z wysoko wybuchowym stymulatorem broni wodorowej), ograniczonych do procesów powielania neutronów w stanach podkrytycznych lub nieznacznie nadkrytycznych. Aby Traktat mógł być przyjęty przez większość państw ONZ, państwa atomowe uzgodniły zakaz prób hydronuklearnych, w których materiały rozszczepialne osiągają stany krytyczne. Innymi słowy, każda próba jądrowa, w której materiał rozszczepialny pozostaje w stanie podkrytycznym – jest przez Traktat dozwolona.[9] W szczególności, stan taki pozwala na przeprowadzanie badań właściwości materiału rozszczepialnego przy dowolnym ciśnieniu i gęstości, pod warunkiem, iż użyte próbki materiału nigdy nie osiągną stanu krytycznego.

Legalność mikrowybuchów, czyli detonacja milimetrowej wielkości elementów z materiału rozszczepialnego i/lub termojądrowego[10], jest oczywiście głównie wybiegiem zastosowanym zarówno w Traktacie o Nierozpowszechnianiu Broni Jądrowej (TNBJ), jak i w Traktacie PZPBJ. Jednakże pomimo tego, podczas negocjacji w sprawie tego ostatniego Traktatu, przedsięwzięto ograniczone jedynie wysiłki (za wyjątkiem Indii) by objąć nim

[7] Pierwsza, jawna publikacja na temat tego rodzaju eksperymentu ukazała się w 1976 r.

[8] Termin ang.: „hydronuclear tests". Termin hydronuklearny - odnosi się do systemu, w którym strumień masy opisują równania hydrodynamiki, podobnie jak w przypadku kompresji materiałów rozszczepialnych stosowanych w urządzeniach wysokowybuchowych z wykorzystaniem reakcji łańcuchowej. W doświadczeniach hydrodynamicznych materiał stały pod wpływem fali udarowej (np. z wybuchu chemicznego) zachowuje się jak ciecz. Jeśli przy tym bierze w nim udział materiał rozszczepialny to nazywa się go - doświadczeniem hydronuklearnym. (J.K.)

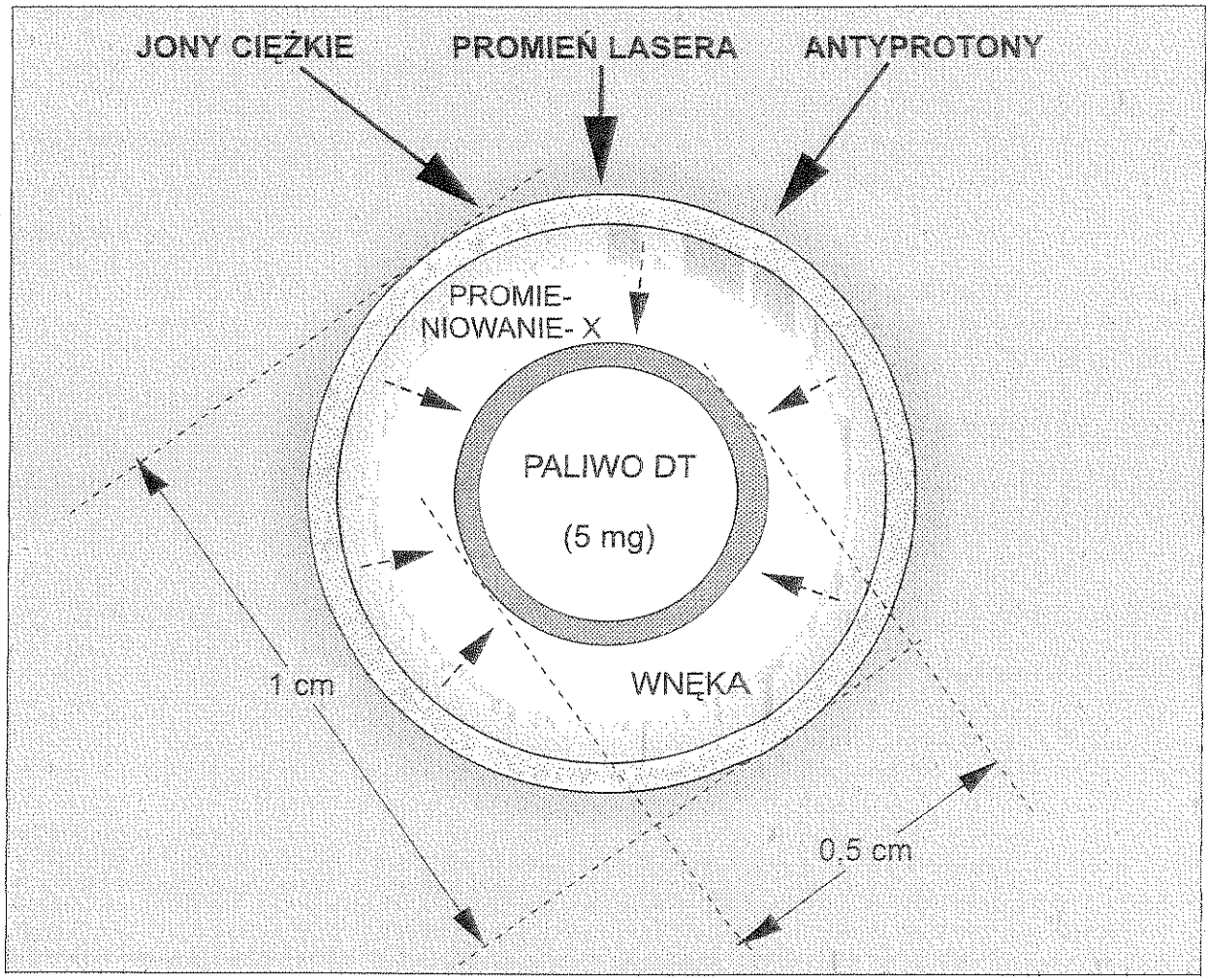
[9] Wyszło to na jaw dopiero wiosną 1997 r., kiedy Stany Zjednoczone oświadczyły o zamiarach przeprowadzenia serii doświadczeń z wysokowybuchowym stymulatorem zawierającym pluton. Należy podkreślić, iż wyniki z eksperymetów podkrytycznych mogą być także otrzymane za pomocą techniki laserowej.

[10] Moc mikrowybuchów waha się w przedziale od 0,1 do 10 t TNT.

metodę inercyjnego utrzymywania fuzji (IUF) i różnego rodzaju mikrowybuchy. Powodem, dla którego tak się stało, była niechęć państw atomowych do zaakceptowania ograniczeń w tej dziedzinie badań oraz wola większości państw ONZ wprowadzenia w Traktacie przede wszystkim zakazu stosowania broni masowego rażenia. Brak w Traktacie wzmianki o jądrowych mikrowybuchach nie jest jedynym zagadnieniem w nim pominiętym. Np. w żadnym traktacie o kontroli uzbrojenia nie ma wzmianki wprost o syntezie termojądrowej. Oba Traktaty, TNBJ i PZPBJ, nie przewidują ograniczeń w badaniach i rozwoju metod inercyjnego utrzymywania fuzji. Fakt, że w tych międzynarodowych traktatach wzięto pod uwagę w zasadzie procesy standardowe (rozwoju broni jądrowej), bez ograniczenia rozwijania bardziej wyrafinowanych technik o potencjalnych możliwościach ich militarnego zastosowania, stanowi poważny powód do troski.

7. URZĄDZENIA DO INERCYJNEGO UTRZYMYWANIA FUZJI

Dzisiaj urządzenia do inercyjnego utrzymywania fuzji (Inertial Confinement Fusion) określane skrótem IUF należą do najważniejszych urządzeń badawczych w nowoczesnym laboratorium[11], używanym przez konstruktorów broni jądrowej. Umożliwiają one, w warunkach laboratoryjnych, dokonywanie symulacji wybuchów termojądrowych o mocy kilku kilogramów TNT. Z militarnego punktu widzenia urządzenie to otwiera perspektywy szybkiego rozwoju całkowicie nowych rodzajów broni jądrowej. Wynika to z faktu, że możliwości transportu konwencjonalnych wysoko wybuchowych ładunków jądrowych, są ograniczone. Np. pocisk rakietowy „Tomahawk" przenosi głowicę o wadze 120 kg, a typowa duża bomba lotnicza waży od 500 do 2000 kg. Ponieważ element paliwowy w urządzeniu IUF waży zaledwie



Rys. 3. Uproszczony schemat urządzenia IUF. (Wg dokumentu Departamentu Energetyki USA, odtajnionego 01.06.1994 r.)

[11] Zawarta w nim masa paliwa (deuteru i trytu) wskutek wytworzonego ciśnienia, sięgającego 10^{17} Pa, ulega kompresji doprowadzając materiał w ciągu nanosekund do gęstości od 1000 do 10000 razy większej od normalnej. Pod koniec tego okresu, szybkość implozji przekracza $3 \cdot 10^5$ m/s. Przy maksymalnej kompresji (znajdującego się w postaci zimnej plazmy) paliwa, energia fali uderzeniowej staje się dostateczna do wytworzenia w środku paliwa temperatury, przy której następuje reakcja syntezy. (J.K.)

ułamek grama, przeto materiały wybuchowe wykorzystujące tę metodę mogą zrewolucjonizować działania wojenne[12]. Wyposażone w precyzyjne mechanizmy naprowadzające, małe i lekkie głowice, skonstruowane na tej podstawie, byłyby zdolne do zniszczenia właściwie wszystkich celów i uczynienia, że istniejące typy broni jądrowej stałyby się bezużyteczne. Główna trudność polega dzisiaj na zastąpieniu laserów lub akceleratorów cząstek (używanych do wytworzenia w paliwie *DT* wysokiej kompresji i temperatury) przez urządzenia dostatecznie zminiaturyzowane. Na rys.3 pokazano uproszczony schemat udoskonalonego urządzenia inercyjnego utrzymania fuzji. Typowe urządzenia tego rodzaju (używane do symulacji wielkich ładunków wybuchowych), znajdujące się obecnie w stadium konstrukcji, będą zawierały od 1 μg do 1 mg *DT*. Inna koncepcja, tzw. działania pośredniego, odnosi się do sytuacji, w której energia pierwotna (źródła ciężkich jonów, antyprotony i lasery) nie jest przekazywana bezpośrednio do zewnętrznej warstwy paliwa (targetu), lecz w fazie początkowej ulega zamianie na promieniowanie-X.

Dzięki urządzeniu IUF możliwe będzie badanie fizyki wybuchu termojądrowego, w warunkach odpowiadających sytuacji w pełnej skali. Inaczej mówiąc, za pomocą 1-5 mg *DT* można będzie odwzorować zjawiska fizyczne wybuchu bomby-H, o mocy 100-500 kt! Nowy typ broni opracowanej na podstawie tych badań, będzie należeć do czwartej generacji broni jądrowej, tzn. do urządzeń wybuchowych, opartych na wykorzystaniu atomowych i jądrowych zjawisk, które nie są zakazane przez Traktat PZPBJ.

8. CZWARTA GENERACJA BRONI JĄDROWEJ

Poniżej rozpatrzymy kilka koncepcji będących przedmiotem intensywnych badań naukowych, mających potencjalne możliwości zastosowania w czwartej generacji broni jądrowej.

8.1. Urządzenia podkrytyczne i mikrowybuchy materiałów rozszczepialnych

Liczba neutronów w urządzeniu podkrytycznym, jaka może się w nim wytworzyć jest wprost proporcjonalna do początkowej liczby neutronów i odwrotnie proporcjonalna do różnicy między jednością, a tzw. efektywnym współczynnikiem mnożenia. Stąd im jest on bliższy 1, to wprowadzając do urządzenia, w sposób impulsowy pewną początkową liczbę neutronów, można wytworzyć dowolnie dużą liczbę rozszczepień, czyli wygenerować określoną ilość energii. Aby zrozumieć znaczenie tej metody dla wybuchów materiału rozszczepialnego, należy zauważyć, iż w normalnej bombie rozszczepieniowej, masę materiału rozszczepialnego (np. plutonu) trzeba doprowadzić do stanu wysoko nadkrytycznego by uzyskać szybko narastającą reakcję łańcuchową. Oznacza to, że pluton powinien być poddany większej kompresji niż wymaga tego stan krytyczny. Na przykład pastylka (element paliwowy) z plutonu o wadze 1 g, osiąga stan krytyczny przy gęstości ok. 100 razy większej od gęstości normalnej, a do dalszego zwiększenia mocy potrzebna jest kompresja jeszcze większa. Z drugiej strony, w urządzeniu podkrytycznym wystarczy osiągnąć efektywny współczynnik mnożenia bliski jedności, by wywołać wybuch materiału rozszczepialnego o masie kilku gramów za pomocą wydajnego źródła (generatora) neutronów. Stosowanie zewnętrznego źródła stanowi poważny problem i praktycznie jest prawie niemożliwe, zarówno ze względu na trudności z umieszczeniem, jak i zogniskowaniem we właściwym czasie wiązki neutronów na małym targecie. Stąd powstała myśl, by jako źródło neutronów wykorzystać reakcję *D-T*, lokując ten materiał w środku materiału rozszczepialnego lub w reflektorze.

Podsumowując można stwierdzić, iż krytyczne lub podkrytyczne urządzenia do mikrowybuchów materiału rozszczepialnego, w praktyce mogą służyć jako urządzenia o małej mocy wybuchu lub jako człony pierwsze, wywołujące kompresję ładunku materiału rozszczepialnego lub termojądrowego, o wysokiej mocy. Aby tego dokonać, potrzebny jest pomysł na wytworzenie wymaganej kompresji, a także wygodnego źródła neutronów do zainicjowania reakcji rozszczepienia. Zewnętrzne źródło neutronów jest niepraktyczne i poszukuje się innych metod zapoczątkowania reakcji rozszczepienia takich, jak ogniskowanie na targecie wiązki elektronów, protonów, antyprotonów itp. Potrzebny jest do tego mały akcelerator. Na przykład w przypadku elektronów, superlaser może je przyspieszać do energii ok. 20 MeV, wystarczającej do emisji neutronów z reakcji rozszczepienia, wywołanej oddziaływaniem elektronów i fotonów na materiał tarczy. Inną metodą otrzymywania początkowych neutronów, która może uwolnić konstruktorów od stosowania superlaserów lub akceleratorów, jest skierowanie na target antyprotonów; wystarczy do tego ilość mniejsza niż jeden mikrogram tych cząstek. Zapewne najbardziej ambitne plany badań nad mikrowybuchami materiału rozszczepialnego za pomocą urządzeń podkrytycznych ze źródłem antyprotonowym są realizowane w USA. Rozwijane są także badania z użyciem lasera. Niestety brak jest na ten temat publikacji lub są one utajnione.

[12] 10 mg DT wytwarza 3,4 GJ czyli 810 kg TNT.

8.2 Pierwiastki transplutonowe i superciężkie

Zainteresowanie kręgów wojskowych pierwiastkami transplutonowymi wynika stąd, iż są one na ogół rozszczepialne, a ich masy krytyczne są mniejsze lub o wiele mniejsze (jak w przypadku jąder superciężkich) od masy krytycznej plutonu. Dzieje się tak, ponieważ pierwiastki ciężkie posiadają większe przekroje czynne na rozszczepienie i emitują więcej neutronów na jedno rozszczepienie. Na przykład masa krytyczna ^{245}Cm stanowi jedną trzecią masy ^{239}Pu. Wszakże te zalety należy rozpatrywać na tle ich specyficznych cech jak krótki czas życia, duży przekrój czynny na reakcje samorzutnego rozpadu, a także trudności wyprodukowania. Nawet w przypadku względnie lekkiego pierwiastka transplutonowego jakim jest ^{245}Cm, który powstaje z oddziaływania neutronów prędkich na ^{244}Cm, techniczne problemy skonstruowania bomby są o wiele większe niż w przypadku czystego plutonu. Militarny potencjał tkwiący w pierwiastkach transplutonowych jest zależny od ich dostępności, niskich kosztów produkcji i odpowiednich właściwości fizycznych przydatnych dla krytycznych i podkrytycznych urządzeń wybuchowych. W szczególności, z praktycznego punktu widzenia, byłoby rzeczą pożyteczną odkrycie długożyciowego, superciężkiego transplutonowca o masie krytycznej rzędu gramów, tzn. trzy rzędy mniejszej od masy zwykłych materiałów rozszczepialnych. Ale nawet w przypadku małych mas krytycznych pierwiastki superciężkie staną się użyteczne tylko wówczas, gdy będą dostatecznie stabilne. Wyniki teoretycznych badań są pod tym względem optymistyczne, przewidują bowiem istnienie „stabilnego obszaru" w pobliżu jąder o parametrach: Z=114 (liczba protonów) i N=184 (liczba neutronów w jądrze). W 1970 r. odkryto pierwiastek lorens (Lr) (Z=103 i N=154), a później w Berkeley (USA) lub w Darmstadt (Niemcy) pierwiastki o liczbach od Z=104 do Z=109. Przełom nastąpił w 1993 r., kiedy zespół amerykańsko-rosyjski w Dubnej odkrył ciężki izotop pierwiastka o Z=108 i A=297 i czasie życia: 19 ms. Do końca 1994 r., w Niemczech otrzymano pierwiastki: Z=110 i Z=111. Ostatnie wyniki prac teoretycznych pokazują, że prawie 400 superciężkich jąder zawartych w przedziale od Z=106 do Z=136, powinno posiadać okresy półrozpadów większe od plutonu. Problem tkwi w tym, że ich otrzymanie może być wyjątkowo trudne, jeśli w ogóle możliwe. W styczniu 1999 r., zespół amerykańsko-rosyjski w Dubnej otrzymał pierwiastek: Z=114; A=289. Znajduje się on w przewidywanym „stabilnym obszarze", a jego okres półrozpadu wynosi 30 s. W tym samym czasie, fizycy z Lawrence Berkeley National Laboratory wyprodukowali dwa nowe superciężkie pierwiastki: Z=116 i Z=118[13]. Wytworzenie w 1999 r. trzech nowych pierwiastków (w tym jednego o okresie półrozpadu ok. 30 s) dowodzi, że dalsze otrzymywanie pierwiastków syntetycznych w tzw. „obszarze stabilnym" z czasem życia wielu lat powinno być możliwe.

8.3 Antymateria

Z reakcji materia – antymateria uzyskuje się więcej energii na jednostkę masy niż każdym innym sposobem. Na przykład reakcja proton – antyproton, w której wyniku następuje anihilacja tych cząstek uwalnia o 275 razy więcej energii (w postaci energii kinetycznej naładowanych cząstek), niż reakcja rozszczepienia lub syntezy *DT*. Zjawisko anihilacji rozpoczyna się samoczynnie, gdy tylko antymateria znajdzie się w pobliżu materii, bez konieczności tworzenia masy krytycznej, jak w przypadku reakcji rozszczepienia i bez „zapłonu", czego wymaga reakcja termojądrowa. Nie jest więc rzeczą zaskakującą, że koncepcja wykorzystania takiego źródła energii jest od dziesięcioleci przedmiotem zainteresowań uczonych. Zarówno Edward Teller, jak i Andrej Sacharow, w swoich publikacjach przejawiali znaczne zainteresowanie właściwością anihilacji antymaterii, który to proces po reakcji rozszczepienia i syntezy termojądrowej stwarzał nadzieję na rozwój nowej generacji broni jądrowej.

Antymateria powstaje, gdy protony przyspieszone w akceleratorze do prędkości bliskiej prędkości światła, oddziaływują na materiał targetu[14]. Pierwszy raz antyprotony zaobserwowano w 1955 r. w Berkeley. W sierpniu 1985 r., autorzy omawianego raportu opublikowali dane dotyczące liczby antyprotonów niezbędnej do zapoczątkowania reakcji termojądrowej w zapalniku bomby-H lub też wywołania mikrowybuchów paliwa termojądrowego. Odkryli również możliwość zbudowania bomby-H lub neutronowej, w której od trzech do pięciu kilogramów plutonu w członie pierwszym zostałoby zastąpione jednym mikrogramem antywodoru. Rezultatem byłaby tzw. „czysta" bomba, tzn. praktycznie pozbawiona radioaktywnych odpadów (wobec braku materiału rozszczepialnego). Aby zastosowanie do celów militarnych stało się realne, potrzebna by była technologia produkcji antyprotonów w ilości niezbędnej co najmniej dla jednego zapalnika na dzień. Odpowiada to wydajności 10^{13} antyprotonów na sekundę, tzn. o sześć rzędów wielkości większej od obecnych możliwości w CERN-ie. Istnieją wszakże liczne drogi jej zwiększenia.

[13] Według ostatnich infromacji wycofano się z odkrycia tego pierwiastka (patrz PTJ vol.44, z.4, s.65, 2001). (Red.)

[14] Antyprotony powstają wskutek wzajemnego oddziaływania protonów. Jeśli padający proton zostanie przyspieszony do energii nie mniejszej od 5,6 GeV, to wskutek przemiany powstają dodatkowo cząstki zgodnie z zależnością: $E = mc^2$.

Na początku lipca 1986 r., autorzy raportu uczestniczyli w Madrycie w Czwartej Międzynarodowej Konferencji nt. nowych systemów jądrowych poświęconej koncepcji wykorzystania energii antymaterii. Przewidziane były tam m.in. cztery referaty naukowców z Los Alamos na ten temat. Amerykanie jednakże, ku zaskoczeniu wszystkich, nie zjawili się. Na dziesięć dni przed konferencją, bez dostatecznego usprawiedliwienia, zawiadomili o swym wycofaniu się. Uczestnicy zrozumieli wnet, że władze amerykańskie, mając na uwadze militarne znaczenie antymaterii, zapewne zabroniły im udziału w tej konferencji. Prawdopodobnym powodem zaistniałej sytuacji stała się – przedstawiona w referacie autorów raportu – teza o tym, że jedynym praktycznym zastosowaniem technologii opartej na wykorzystaniu energii anihilacji pozostaje dziedzina militarna. Autorzy na konferencji dowiedli, że bomba termojądrowa z zapalnikiem wykonanym z antymaterii jest z naukowego i technicznego punktów widzenia możliwa do zrealizowania. Wkrótce po konferencji, w nocy z 17 na 18 lipca 1986 r., pierwszy raz w historii, udało się utrzymać antymaterię w postaci antyprotonów w magnetycznej pułapce przez ok. dziesięć minut. W ciągu dziesięciu lat (1986 – 1996) w dziedzinie zastosowania antymaterii wykonano wielką liczbę prac eksperymentalnych i teoretycznych. Dzisiaj badania nad antymaterią należą zapewne do najważniejszych i najbardziej dynamicznie rozwijających się programów badań nad czwartą generacją broni jądrowej.

8.4 Izomeria jądrowa

Dwa jądra o takiej samej liczbie masowej, lecz znajdujące się w różnych stanach energetycznych, z których jeden jest metastabilny, nazywają się izomerami. Z punktu widzenia militarnego, są one obiektem zainteresowania z trzech powodów. Po pierwsze, mogą otwierać drogę rozwoju laserom promieniowania *gamma*. Po drugie, mogą się sprawdzić jako użyteczny materiał wybuchowy i po trzecie, można się spodziewać, iż niektóre izomery rozszczepialne (w przypadku rozszczepień wywołanych za pomocą impulsów elektrycznych i laserów) posiadają progową energię do pewnego stopnia niższą niż zwykłe materiały rozszczepialne.

Na przykład wysoko wybuchowe materiały chemiczne posiadają energię właściwą rzędu 5 kJ/g, natomiast użyteczna energia izomerów jądrowych zawiera się w przedziale: od kilku kJ/g do ok. 1 GJ/g, tzn. jest bliska wartości uzyskiwanej z reakcji jądrowych (np. z rozszczepienia 80 GJ/g). Przykładowo energia uwolniona z uranu U-235m (73 eV i $T_{1/2}$ = 25 min) wynosi 30 kJ/g, a z neodymu Nb-93m (30,7keV i $T_{1/2}$ = 13,6 a) 32 MJ/g. W porównaniu do istniejących jądrowych materiałów wybuchowych zaletą izomerów jest to, że ich zastosowanie może być pozbawione promieniotwórczych skażeń. Ponadto, dodatkowa potencjalna korzyść tkwi w tym, że ogromne zasoby energii można będzie magazynować bez obawy o powstawanie radioaktywnych produktów przemian jądrowych. Magazynowana bowiem energia jest energią wzbudzenia jądra metastabilnego. Należy mieć nadzieję na znalezienie metody jej kontrolowanego uwolnienia.

8.5 Materiały superwybuchowe i metaliczny wodór

Superwybuchowe materiały chemiczne o maksymalnej gęstości ok. 2 g/cm^3 posiadają energię właściwą ok. 5 kJ/g. Odpowiada to maksymalnej gęstości energii ok. 10 kJ/cm^3. Natomiast chemiczne materiały superwybuchowe osiągają najmniej 100 kJ/cm^3. Odkrycie więc superwybuchowych materiałów będzie miało dramatyczne konsekwencje dla rozwoju technologii broni. W przypadku bomby rozszczepieniowej (lub bomby-H w członie pierwszym), dolne granice ciężaru i rozmiarów są określone ilością i objętością chemicznego materiału wybuchowego zastosowanego do wywołania implozji materiału rozszczepialnego i otaczającego go popychacza (reflektora). Waga materiału rozszczepialnego jest zależna od wielkości pożądanej mocy wybuchu. Tak np. waga materiału superwybuchowego potrzebna do wywołania implozji 2 – 3 kg plutonu, otoczonego cienkim popychaczem (cienki stalowo-berylowy reflektor) wynosi ok. 10 – 20 kg. W przypadku zaś użycia materiału superwybuchowego jego waga w urządzeniu wybuchowym będzie mniejsza niż waga materiału rozszczepialnego. Podobnej redukcji ulegnie objętość rdzenia urządzenia wybuchowego, a w rezultacie jego ogólna waga i rozmiary. Ponieważ rozmiar i masa bomby-H, wskutek zmniejszenia się członu pierwszego ulegną redukcji, przeto będzie to miało wielki wpływ na technologię broni termojądrowej.

Materiałów superwybuchowych dotąd nie odkryto. Aczkolwiek były pogłoski, że w ZSRR (szczególnie po jego upadku) jakoby wyprodukowano, jedyny w swoim rodzaju, nierozszczepialny materiał wybuchowy o wielkiej sile, pod zakodowaną nazwą – „czerwona rtęć". W tym może być jakieś źdźbło prawdy; „czerwoną rtęć" można odnieść do pewnego rodzaju izomeru atomowego.[15] Chociaż znane izomery atomowe posiadają gęstości energii niewiele większe od superwybuchowych materiałów chemicznych.

[15] Izomer atomowy jest atomem, w którym elektron, w ciągu długiego czasu, pozostaje w stanie wzbudzonym.

Obiecującą metodą otrzymywania syntetycznego materiału superwybuchowego, jest metoda kompresji. Jeśli np. materiał poddać dostatecznie wielkiemu ciśnieniu (proces endoenergetyczny) – wówczas elektrony zostaną wyciśnięte ze swych powłok w atomie, co doprowadzić może do przemiany fazowej i przejścia do nowego stanu energetycznego. W wypadku, gdyby ów nowy stan był metastabilny to zgromadzona energia może się stać praktycznie użyteczna. W szczególności, gdyby jej uwalnianie odbywało się w sposób kontrolowany, to takiego materiału można by było używać jako paliwa do napędu samolotów lub rakiet kosmicznych. W sytuacji przeciwnej byłby to raczej materiał wybuchowy a nie paliwo. Najprostszym i powszechnie dostępnym atomem jest wodór. Jednakże, pomimo sześćdziesięciu lat badań, jego wytworzenie w postaci metalicznej jest ciągle kwestią otwartą. Pierwsze doniesienie o otrzymaniu metalicznego wodoru, pojawiło się w Rosji. Druga rosyjska informacja ukazała się w 1975 r., kiedy to metaliczny wodór otrzymał zespół pracujący z diamentowym „kowadełkiem" w temperaturze 4,2°K. W tym samym czasie pojawiło się doniesienie uczonych japońskich.

Potencjalna przydatność metalicznego wodoru wynika z pewnych jego właściwości. Wskutek wysokiej temperatury Debye'a (2000 – 3000°K) może on być nadprzewodnikiem, a także atrakcyjnym paliwem dla rakiet. Wodór metaliczny posiada energię 400 kJ/mol czyli 300 razy większą od obecnie dostępnych, najlepszych paliw lotniczych, w tym także paliw dla silników odrzutowych. Charakterystyczne parametry wodoru metalicznego są następujące: energia właściwa 5 kcal/g, gęstość ok. 1 – 1.3 g/cm^3. Jako materiał wybuchowy jest 35 razy silniejszy niż TNT (1,345 kcal/g). Duża gęstość czyni go również przydatnym dla broni jądrowej.

W 1996 r. uczonym z laboratorium w Livermore udało się (przy ciśnieniu 1,4 Mbar) odkryć proces ciągłego przechodzenia wodoru z postaci półprzewodnikowej do metalicznej. „Scientific American", w maju 2000 r. pisał: „Jeśli zmagazynowaną energię można by było uwolnić nadzwyczajnie szybko, to metaliczny wodór mógłby być używany jako materiał wybuchowy."

9. Wnioski

Dzisiaj wiele państw korzystających z zaawansowanych technologii, szczególnie zaś takie kraje jak Niemcy, Indie, Izrael, Japonia i Pakistan są w stanie wyprodukować nie tylko bomby atomowe, ale także bomby wodorowe. Dowiodły tego Indie, które w maju 1998 r. ogłosiły o przeprowadzeniu doświadczenia z bombą-H o nowoczesnym rozwiązaniu.

Poznanie urządzeń z inercyjnym utrzymywaniem fuzji, uwolni od konieczności stosowania ładunków zawierających materiał rozszczepialny w ilości odpowiadającej masie krytycznej, co aż do ostatniego czasu było jedynym sposobem zgromadzenia jądrowego lub termojądrowego arsenału broni i będzie miało wpływ na jej rozpowszechnianie. Aczkolwiek produkcja broni opartej na ładunku równym masie krytycznej materiału rozszczepialnego miała swoją pozytywną stronę, gdyż stanowiła (ze względu na wysoki koszt materiału rozszczepialnego) przeszkodę na drodze rozprzestrzeniania broni jądrowej. Natomiast z militarnego punktu widzenia, jej ujemną stroną była nie zawsze użyteczna wielka moc, stanowiąca zarazem czynnik odstraszający potencjalnego wroga.

Nowe rodzaje broni, które powstaną w wyniku intensywnych badań nad inercyjnym utrzymaniem fuzji, stworzą czwartą generację broni jądrowej, tzn. urządzenia wybuchowe wykorzystujące atomowe i jądrowe procesy nie objęte Traktatem PZPBJ. Jeśli istniejąca broń termojądrowa o dużej mocy pozostanie przez pewien jeszcze czas podstawą strategicznych arsenałów, to można przypuszczać, iż pierwsza broń czwartej generacji zostanie zminiaturyzowana w stopniu umożliwiającym wytwarzanie ładunków wybuchowych o mocy w zakresie od 1 t do 1 kiloton, czyli w przedziale, który obecnie oddziela broń konwencjonalną od jądrowej.

Wiadomo, iż dotąd żadna broń jądrowa czwartej generacji, oparta na niestandardowej technologii jądrowej, nie została zbudowana. Jednakże znaczny postęp dokonany w ogólnym rozwoju fizyki jądrowej w ostatnich latach pokazuje, że wiele potencjalnych rozwiązań, które przez długi czas uważano jako spekulatywne, staje się technicznie możliwe. Całkowicie nowe typy broni, w których wykorzystane zostaną zaawansowane procesy jądrowe, mogą się wkrótce urzeczywistnić.

W konkluzji można stwierdzić, iż podpisanie Traktatu PZPBJ i wprowadzenie w życie „politycznie poprawnych" programów dobrze odpowiada nowej epoce, złotym czasom rozprzestrzeniania broni termojądrowej.

Opracował dr inż. Jerzy Kubowski

Redakcja Postępów Techniki Jądrowej wyraża podziękowanie Autorom Raportu za uprzejmą zgodę na opublikowanie jego skrótu.

The editors of Progress in Nuclear Technology gratefully acknowledge the authors, prof. André Gsponer and Jean-Pierr Hurni, for granted permission to make the short account of their report.