

CZWARTA GENERACJA BRONI JĄDROWEJ^{*)}

1. Wstęp

Raport pt. "Czwarta generacja broni jądrowej" 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 10 września 1996 r. Ten nowy rodzaj broni oparty na reakcji rozszczepienia lub syntezy może posiadać moc wybuchu w zakresie od 1 do 100 t równoważnika trotylowego (TNT). Jest to przedział, który dziś odgranicza broń konwencjonalną od jądrowej. Broń jądrowa o takiej względnie niewielkiej mocy nie byłaby zakwalifikowana jako broń masowego rażenia.

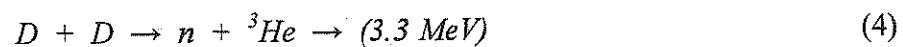
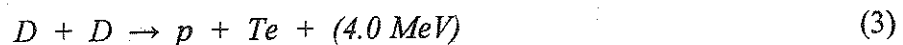
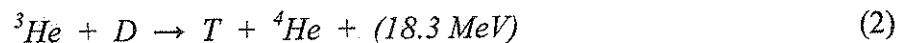
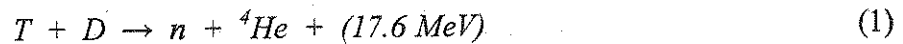
W raporcie opisano dokładnie siedem fizycznych procesów i materiałów, które mogłyby być zastosowane do skonstruowania takiej mało wydajnej broni, a mianowicie: wyzwalamie energii z reakcji rozszczepienia w stanach podkrytycznych, kompresja magnetyczna, pierwiastki transuranowe, antymateria, izomeria jądrowa, wodór metaliczny i superlasery (tzn. lasery, o gęstości strumienia energii, większej od 10^{19} W/cm²). 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 (IUF) i innymi procesami fizycznymi, w celu stworzenia podstaw rozwoju czwartej generacji broni jądrowej. W ciągu ostatnich kilku lat we wszystkich tych badaniach dokonano znacznego postępu. Rozwój konstrukcji urządzeń do badań mikrowybuchów z wykorzystaniem IUF, 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. Autorzy mając na względzie ryzyko rozprzestrzeniania się broni jądrowej, opisali podstawy fizyki broni termojądrowej (TJ). Stanęli bowiem na stanowisku, że nie ma powodów dla których posiadanie wiedzy powinno być przywilejem ekspertów rządowych, pracujących za żelazną kurtyną sekretności.

^{*)} Skróć raportu pt. "Fourth Generation Nuclear Weapons", autorzy: André Gsponer i Jean-Pierre Hurni (Independent Scientific Research Institute, Switzerland) wydane go przez 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.

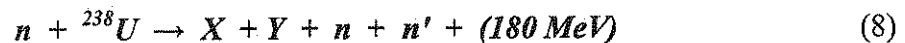
W raporcie opisano program komputerowy ISRINEX, umożliwiający określanie parametrów początkowego i końcowego stanów plazmy termojądrowej, tzn. jej gęstości, temperatury, ciśnienia i składu w momentach zapłonu i końca procesu spalania.

2. Fizyczne podstawy termojądrowych materiałów i urządzeń wybuchowych

Do podstawowych paliw termojądrowych należą: deuter (D), tryt (T) i hel-3 (^3He). Zachodzą w nich następujące reakcje syntezy:



W wyniku powstaje energia, dodatkowe paliwo termojądrowe (T, ^3He), neutrony i produkty obojętne (hel-4, protony), które nie biorą więcej udziału w reakcjach. Wiadomo, że spalanie paliwa termojądrowego wymaga ogromnej temperatury (ok. 1keV co odpowiada ok. 10^7 stopni)¹ i jednocześnie ciśnień rzędu wielkości 100TPa, czyli 10^9 atm. Natomiast reakcje neutronowe przebiegają przy normalnej temperaturze i ciśnieniu:



Reakcja (5) wskazuje, że na powstające w wyniku syntezy neutrony (w plazmie o wysokiej kompresji, jak np. w broni termojądrowej) oddziałują jony. Produktem reakcji (6) jest tryt. Jest to podstawowa reakcja umożliwiająca, w wysoko wydajnej bombie wodorowej, produkcję trytu *in situ* i spalanie w ten sposób powstającego deuteru (D) i litu (Li). W broni tego rodzaju, paliwo termojądrowe początkowo zawiera zestalony lit z domieszką deuteru (LiD) o gęstości $0,8 \text{ g/cm}^3$, w normalnych warunkach temperatury i ciśnienia. Przy dostatecznej temperaturze i ciśnieniu, reakcje (5) i (6) tworzą układ sprzężony, zwany cyklem Jettera:



W czasie spalania paliwa termojądrowego, w związku z emisją neutronów będących produktem reakcji (4), 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 uranowego płaszcza), który dzięki reakcjom ($n,2n$) opisanym przez równania (7) i (8) pozwalałby otrzymywać dodatkowe neutrony.

¹ 1eV = 11604° Kelwina

3. 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 buster (wzmocniacza 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 urządzenia 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, mocniejsze i bezpieczniejsze niż bomby nieposiadające takiego urządzenia. Te ostatnie, najprawdopodobniej używane są przez nowe, nieprzestrzegające zakazu o nieprolifracji 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 wykorzystywania uranu w sposób ekonomiczny. Szczegółowe obliczenia dynamiki uranowego urządzenia implozyjnego zostały przeprowadzone w ramach szwajcarskiego programu atomowego, który Szwajcarski Departament Wojskowy, zainicjował w tajemnicy w 1946 r., a wstrzymał dopiero w 1988 r. po jedenastu latach od przystąpienia tego państwa do Traktatu o Nierozprzestrzenianiu Broni Jądrowej. Urządzenie to zawierało 25 kg U-235 w kształcie powłoki kulistej otoczonej reflektorem zubożonego uranu o masie 200 kg. Implozję sferyczną wytworzono za pomocą zdetonowania wysoko wybuchowego środka chemicznego. Osiągnięto maksymalną, uśrednioną kompresję $\chi=1,6$ i moc 22 kt, co odpowiada skuteczności rozszczepień $\eta=0,05$ (tzn. rozszczepieniu uległo ok. 5% uranu). Wstępna analiza możliwości nagrzewania paliwa termojądrowego za pomocą wybuchu materiału rozszczepialnego pokazała, że temperatura w środku kuli uranowej, na początku jej ekspansji, wynosiła ok. 1 keV, a następnie – dzięki postępującej generacji energii – wzrastała, osiągając maksymalną wartość ok. 5 keV przy $\eta=0,5\%$ i mocy ok. 0,2 kt. Po czym - wskutek coraz większej konwersji energii cieplnej w kinetyczną oraz przekazywania jej z rdzenia do reflektora, a stamtąd do otoczenia – zaczęła maleć. W temperaturze powyżej 4 keV, co odpowiada zakończeniu łańcuchowej reakcji rozszczepienia, dominującym czynnikiem jej wzrostu jest promieniowanie elektromagnetyczne (promieniowanie hamowania i rozpraszanie komptonowskie). W tej fazie, temperaturę opisuje równanie:

$$kT \approx 18 [keV] \sqrt[4]{\eta \cdot \chi} \quad (10)$$

Przyjmując $\chi=1,6$ i $\eta=0,5\%$ otrzymamy (w środku kuli) $kT=5,4$ keV. W praktyce, stosując chemiczne materiały wybuchowe, trudno uzyskać dla materiału rozszczepialnego współczynnik kompresji większy od 2 do 3. Z drugiej zaś strony, gdy wartość η wynosi ok. 1%, wskutek promieniowania i konwersji energii cieplnej w mechaniczną, straty energii rosną znacznie. Przeto podczas wybuchu materiału rozszczepialnego, maksymalna temperatura wynosi 5-10 keV i bardzo trudno ją przekroczyć. Tymczasem dla otrzymania plazmy na podstawie reakcji DT , D^3He i DD , bez nagrzewania zewnętrznego, wartości temperatury wynoszą odpowiednio: 4,2, 18 i 25 keV. Stąd, o ile maksymalna temperatura bomby rozszczepieniowej jest dostateczna dla zainicjowania reakcji DT , to jednak w przypadku reakcji: D^3He i DD może być niewystarczająca. Dla DT , D^3He i DD , krytyczne wartości temperatury dla zapoczątkowania reakcji syntezy za pomocą zewnętrznego nagrzewania promieniami-X, wynoszą odpowiednio: 2; 4; 9 i 10 keV. Z tego wynika, że inicjacja reakcji D^3He lub DD za pomocą promieniowania - X z wybuchu materiału rozszczepialnego, jest wyłącznie możliwa w

górnym zakresie temperatury, kiedy reakcja łańcuchowa jest już bliska wygaśnięcia. Natomiast reakcja DT może się rozpocząć przy niższej temperaturze, gdy wydajność reakcji rozszczepienia jest jeszcze dostatecznie niska, aby neutrony z reakcji syntezy miały silny wpływ na końcowy efekt łańcuchowej reakcji. W konkluzji można stwierdzić, że reakcja 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 o ciśnieniu kilkudziesięciu atmosfer. Mieszanina ta (lub tylko tryt) jest przechowywana w oddzielnym pojemniku poza zasobnikiem. Przyspiesza to wykonywanie ewentualnych napraw i zapewnia, że buster – w przypadku awaryjnego wybuchu materiału chemicznego - nie zostanie uruchomiony. Podstawową różnicą, w porównaniu do pierwszej generacji bomb rozszczepieniowych, jest brak grubego reflektora, odpowiedzialnego w głównej mierze za ciężar urządzenia. Przyjęto typowe dane: płaszcz stalowy - 4 kg, rdzeń z materiału rozszczepialnego - 4 kg, ilość DT - 2,2 g, co odpowiada względnie małej zawartości trytu – 1,3 g. Według najbardziej autorytatywnego, odtajnionego źródła, w nagromadzonych zapasach broni termojądrowej, na jedną głowicę przypada – 4 g trytu. 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 ; rdzeń zostaje wtłoczony do wnętrza, tworząc kulę, a poddany kompresji DT przybiera geometrię sferyczną o promieniu kilku milimetrów i gęstości dziesiątki razy większej od początkowej. Z obliczeń wynika, że gęstość uranu jest 2,5 razy większa od normalnej, gęstość DT zaś osiąga wartość ok. 7 g/cm³, czyli 30 razy większą od gęstości w fazie stałej. W zasadzie stopień kompresji: 33, jest maksymalną wartością, możliwą do uzyskania w geometrii kulistej, od pojedynczej fali uderzeniowej. Stosując bardziej wyrafinowaną technikę implozji, można doprowadzić kompresję do wartości od 20 do 50, a prawdopodobnie nawet do 100. 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 kt. Podstawowa trudność polega na tym, że w strukturze wnętrza z DT , trzeba umieścić zewnętrzne źródło neutronów, niezbędne do zainicjowania reakcji łańcuchowej. Ponadto, ponieważ DT i pluton nie osiągają 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 reaktorowego². 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.

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.)

4. 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 pod dostatkiem.³ Przy spalaniu deuteru w temperaturze 20 keV (zakładając, że spalanie T i ^3He odbywa się z szybkością ich powstawania), maksymalna energia wynosi: 7 MeV na deutron, tzn. 80 kt/kg. Jeśli przyjąć skuteczność reakcji syntezy równą 25 %, to dla hipotetycznej bomby termojądrowej o mocy 1 Mt potrzebne będzie ok. 50 kg deuteru. 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 uderzeniowych, 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 wnętrza, wewnątrz obudowy, wypełnia się materiałem o małej gęstości⁶, celem stworzenia warunków dla przenikania promieni-X. Duża część tego promieniowania, powstałego wskutek reakcji rozszczepienia w członie pierwszym, przenika do wnętrza, gdzie jego widmo szybko osiąga stan równowagi w cieple czarnym, i pod wpływem zakumulowanej energii przemienia paliwo termojądrowe w plazmę. Nagrzewanie radiacyjne wytwarza w plazmie równomierny rozkład temperatury i ciśnienia, co dowodzi, iż promieniowanie oddziałuje na człon drugi jednakowo ze wszystkich stron. Plazma reemituje długofalowe promieniowanie-X, które pochłaniane jest w płaszczu (popychaczu). Płaszcz się rozgrzewa do tego stopnia, iż w jego zewnętrznej warstwie następuje odparowanie i odrzucanie materiału, a siła reakcji odrzutu wtłacza popychacz do wewnątrz; skutkiem implozji, paliwo termojądrowe osiąga bardzo wysokie ciśnienie.⁷

W centralnej części członu drugiego znajduje się zapalnik. Składa się z podkrytycznej masy materiału rozszczepialnego, 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; 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 -

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 rozszczepiennej, 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. (J.K.) 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.

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

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

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.

5. 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, 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 PZPBJ: doświadczenia podkrytyczne i jądrowe mikrowybuchy. Podczas negocjacji w sprawie Traktatu, pięć państw atomowych spotykały się kilkakrotnie potajemnie, dwustronnie lub wielostronnie, aby sprecyzować sens używanych w nim terminów. W szczególności, wymieniały między sobą informacje o tym, co Traktatem miałyby być dozwolone lub zakazane oraz wyjaśniały znaczenie zwrotu „Działalność nie zakazana traktatem.” Wprawdzie dokładna jego wykładnia jest tajna, to jednak wiadomo, że ważną kwestią stanowiło pojęcie tzw. „prób hydronuklearnych”⁸, tzn. doświadczeń z bronią jądrową (lub z wysoko wybuchowym stymulatorem broni wodorowej), ograniczone 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 termojądrowego¹⁰, jest oczywiście głównie wybiegiem zastosowanym zarówno w Traktacie o Nerozpozowszechnianiu Broni Jądrowej (TNBJ), jak i w PZPBJ. Jednakże pomimo tego, podczas negocjacji w sprawie PZPBJ, przedsięwzięto ograniczone jedynie wysiłki (za wyjątkiem Indii), by Traktatem objąć 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 pominiętym w PZPBJ. Np. w żadnym traktacie dotyczącym kontroli uzbrojenia, o syntezie termojądrowej nie ma wzmianki wprost.

⁸ Termin ang.: „hydronuclear tests”. Hydronuklearny - odnosi się do systemu, w którym strumień masy opisują równania hydrodynamiki, podobnie jak w przypadku kompresji materiałów rozszczepialnych stosowanych w urządzeniach wysoko wybuchowych 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 wysoko wybuchowym stymulatorem zawierającym pluton. Należy podkreślić, iż wyniki z eksperymentów podkrytycznych mogą być także otrzymane za pomocą techniki laserowej.

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

Ani TNBJ, ani PZPBJ nie przewidują ograniczeń w badaniach i rozwoju IUF. Ten fakt, że w tych międzynarodowych traktatach wzięto pod uwagę w zasadzie procesy standardowe (rozwoju broni jądrowej), bez ograniczenia rozwijania technik bardziej wyrafinowanych, o potencjalnych możliwościach ich militarnego zastosowania, stanowi poważny powód do troski.

6. Urządzenia do inercyjnego utrzymywania fuzji (IUF)

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. Umożliwiają one, w warunkach laboratoryjnych, dokonywać symulacji wybuchów termojądrowych o mocy kilku kg TNT. Z militarnego punktu widzenia, IUF otwiera perspektywę szybkiego rozwoju całkowicie nowych rodzajów broni jądrowej. Wynika to z faktu, że możliwości transportu konwencjonalnych wysoko wybuchowych ładunków jądrowych, są ograniczone. Np. pocisk raketowy „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 ułamek grama, przeto materiały wybuchowe na osnowie IUF zrewolucjonizują działania wojenne.¹² Wyposażone w precyzyjne mechanizmy naprowadzające, małe i lekkie głowice, skonstruowane na podstawie IUF, 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 IUF. Target z materiału DT o wadze 5 mg umieszczony jest we wnętrzu. 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 (we wnętrzu) zamianie na promieniowanie-X.

Dzięki urządzeniu IUF możliwe będzie badanie fizyki wybuchu termojądrowego, w warunkach odpowiadających eksperymentom - 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 badań IUF będzie należeć do czwartej generacji broni jądrowej, tzn. do urządzeń wybuchowych, opartych na wykorzystaniu atomowych i jądrowych zjawisk, które nie są zakazane przez PZPBJ.

7. Czwarta generacja broni jądrowej

W rozwoju broni atomowej można wyróżnić cztery etapy.

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

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.)

¹² 10 mg D-T wytwarza 3,4 GJ czyli 810 kg TNT.

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

Trzecia generacja, to przede wszystkim broń taktyczna o zwiększonej skuteczności, m.in. bomby neutronowe, tzw. „czyste” (Enhanced Radiation Warheads).¹³ 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 wymagał licznych doświadczalnych wybuchów. Z tego powodu, badania nad nią objęte zostały przez PZPB.

Czwarta generacja wykorzystuje atomowe lub jądrowe procesy nie objęte przez PZPB. 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 (znikoma rezydualna promieniotwórczość). Korzyści będą także polityczne, ponieważ jej rozwój będzie ograniczony do krajów o wysokiej technologii. Jest wielce prawdopodobne, że moc zostanie zminimalizowana do zakresu od 1 t do 1 kt, wypełniając lukę oddzielającą broń konwencjonalną od jądrowej. Tego rodzaju mało wydajna broń nie będzie zaliczana do broni masowego rażenia, przeto będzie dostępna wszystkim krajom, włączając państwa nieatomowe.

Poniżej rozpatrzymy kilka koncepcji będących przedmiotem intensywnych naukowych badań, mających potencjalne możliwości zastosowania w nowym rodzaju broni.

7.1 Urządzenia podkrytyczne i mikrowybuchy materiałów rozszczepialnych

Całkowita liczba neutronów w urządzeniu podkrytycznym, jaka się ustala po wprowadzeniu doń na początku $n(0)$ neutronów, opisuje równanie:

$$n(\infty) = \frac{n(0)}{1 - k} \quad (11)$$

gdzie: k - efektywny współczynnik mnożenia.

Widać, że gdy k jest bliski 1, to wprowadzając do urządzenia, w sposób impulsowy, początkową liczbę neutronów, można wytworzyć wielką liczbę rozszczepień, czyli wygenerować określoną ilość energii. Technika ta jest zwana - spalaniem w stanie podkrytycznym. Aby zrozumieć znaczenie tej metody dla wybuchów materiału rozszczepialnego, należy zauważyć, iż w normalnej bombie

¹³ 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, oddziaływując 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.)

rozszczerpieniowej, masę 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 10 razy większa. Z drugiej strony, w urządzeniu podkrytycznym wystarczy osiągnąć k bliskie 1, by wywołać wybuch materiału rozszczepialnego o masie kilku gramów. Jednakże w porównaniu do normalnych wybuchów jądrowych, wadą urządzenia podkrytycznego jest to, że potrzebuje ono bardzo wydajnego generatora neutronów. Stosowanie zewnętrznego źródła stanowi poważny problem, praktycznie jest prawie niemożliwe, zarówno ze względu na trudności z umieszczeniem, jak i zogniskowaniem we właściwym czasie wiązki neutronów na małym targacie. 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 wielkiej mocy. Aby tego dokonać, potrzebny jest pomysł na wytworzenie wymaganej kompresji, a także wygodnego źródła neutronów do zainicjowania reakcji rozszczepienia. Jak dotąd, praktycznego rozwiązanie tego problemu nie widać. Zewnętrzne źródło neutronów jest niepraktyczne. Poszukuje się innych metod zapoczątkowania reakcji rozszczepienia takich, jak ogniskowanie na targacie wiązki elektronów, protonów, antyprotonów itp. Potrzebny jest do tego kompaktowy akcelerator. Np. 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 małej ilości antyprotonów; wystarczy do tego ilość mniejsza niż 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 publikacje na ten temat są utajnione.

7.2 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. Np. masa krytyczna ^{245}Cm stanowi jedną trzecią masy ^{239}Pu . Wszakże te zalety należy rozpatrywać na tle takich 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. Militaryny 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: $Z=114$ i $N=184$. 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 $Z=136$, powinny 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”; jego okres półrozpadu wynosi 30 s. W tym samym czasie, fizycy z Lawrence Berkeley National Laboratory wyprodukowali dwa nowe superciężkie pierwiastki: $Z=116$ i $Z=118$. 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.

7.3 Antymateria

Z reakcji materia - antymateria uzyskuje się więcej energii na jednostkę masy niż każdym innym sposobem. Np. 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 właściwościami 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, oddziałują 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 (wobec braku materiału rozszczepialnego) radioaktywnych odpadów. 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 CERN-u. Istnieją wszakże liczne drogi jej zwiększenia.

Na początku lipca 1986 r., autorzy omawianego raportu uczestniczyli w Madrycie w Czwartej Międzynarodowej Konferencji nt. nowych systemów jądrowych, poświęconej koncepcji wykorzystania energii antymaterii. Przewidziane były na ten temat m.in. cztery referaty naukowców z Los Alamos. 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 opisywanego raportu - teza o tym, że jedynym praktycznym zastosowaniem technologii opartej na wykorzystaniu energii anihilacji pozostaje dziedzina militarna. Na konferencji dowiedli oni, że bomba termojądrowa z zapalnikiem wykonanym z antymaterii jest - z naukowego i technicznego punktu 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

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: $E=mc^2$.

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.

7.4 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.

Np. wysoko wybuchowe materiały chemiczne posiadają energię właściwą ok. 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 (30,7 keV; $T_{1/2}=13,6$ 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.

7.5 Materiały superwybuchowe i metaliczny wodór

Wysoko wybuchowe materiały chemiczne o maksymalnej gęstości ok. 2 g/cm³ posiadają energię właściwą ok. 5 kJ/g. Odpowiada to maksymalnej gęstości energii ok. 10 kJ/cm³. Natomiast chemiczne materiały superwybuchowe osiągają najmniej 100 kJ/cm³. Odkrycie więc super wybuchowych materiałów będzie miało dramatyczne konsekwencje dla rozwoju technologii broni. Np. 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 wybranej mocy. Tak np. waga materiału wysoko wybuchowego 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. Podobnemu skurczeniu ulegnie objętość rdzenia urządzenia wybuchowego, a w rezultacie ogólna jego 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 żdźbło prawdy; "czerwoną rtęć" można odnieść do pewnego rodzaju izomeru atomowego.¹⁵ Chociaż znane izomery atomowe posiadają gęstości energii nie wiele większe od wysoko wybuchowych 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 metastabilnym, 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 pierwiastkiem 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/cm³. 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.”

8. Wnioski

Dzisiaj, wiele państw korzystających z zaawansowanych technologii, szczególnie zaś takie kraje jak Niemcy, India, Izrael, Japonia i Pakistan są w stanie wyprodukować nie tylko bomby atomowe ale także bomby wodorowe. Dowiodła tego India, która w maju 1998 r. ogłosiła 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 gromadzenia 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 IUF, stworzą czwartą generację broni jądrowej, tzn. urządzenia wybuchowe wykorzystujące atomowe i jądrowe procesy nie objęte Traktatem PZPB. Jeśli istniejąca broń termojądrowa o dużej mocy pozostanie przez pewien czas jeszcze 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 kt, 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 - stają się technicznie możliwe. Całkowicie nowe typy broni, w których wykorzystane zostaną zaawansowane procesy jądrowe, mogą się wkrótce urzeczywistnić.

Autorzy raportu w konkluzji stwierdzają, 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 for granted permission to make the short account of their report.



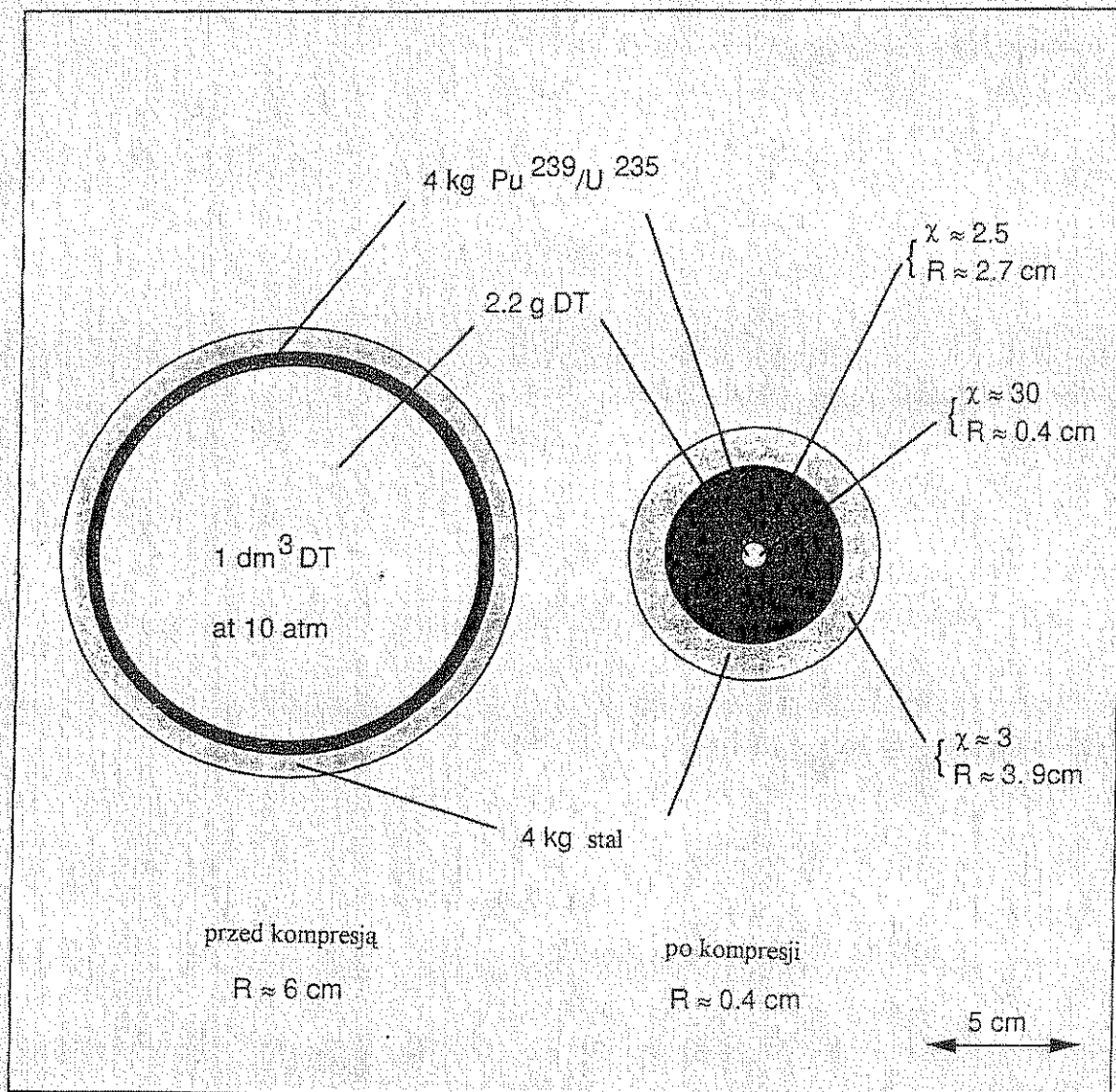
Rys 1.jpg



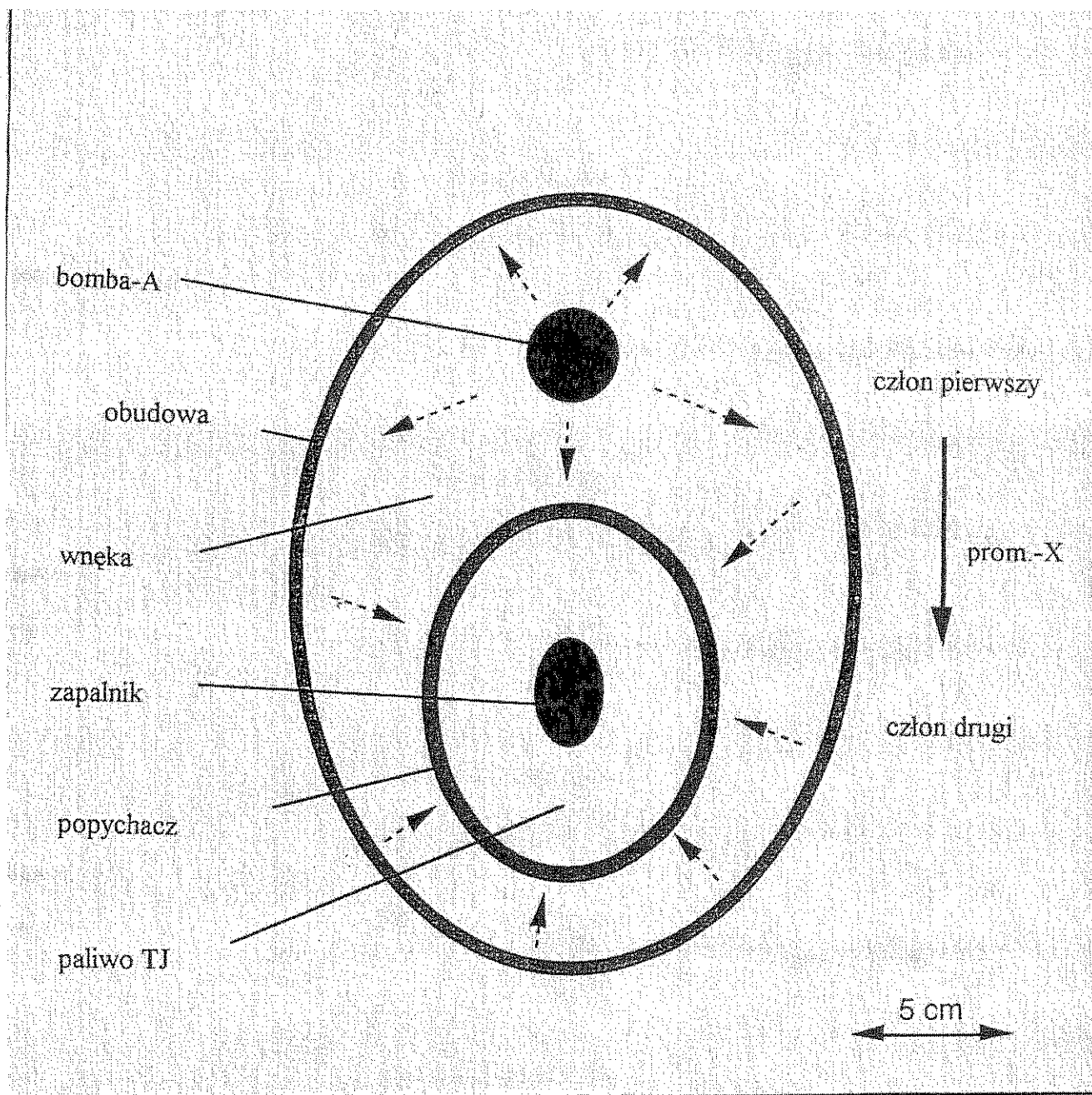
Rys 2.jpg



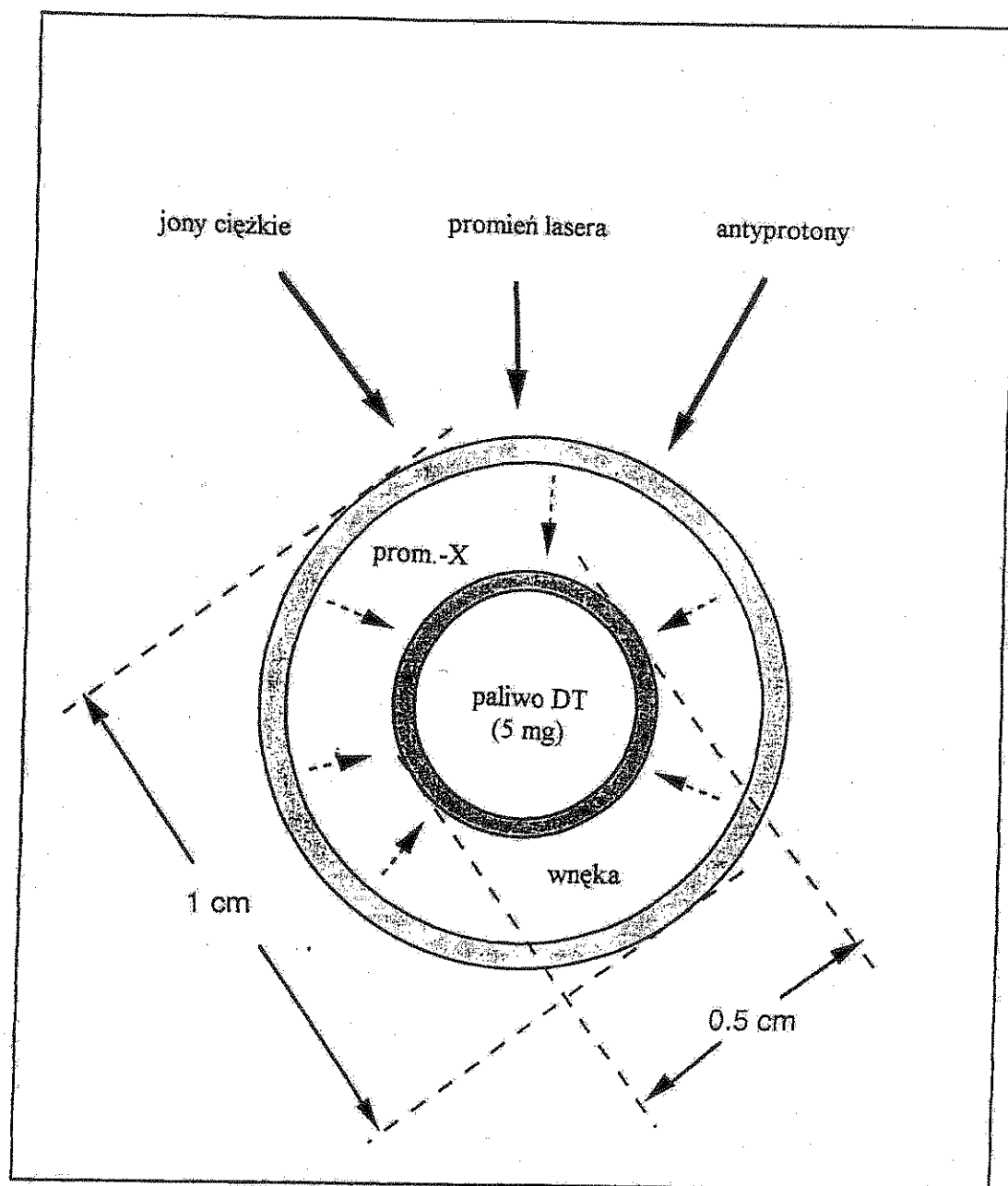
Rys 3.jpg



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



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 01.05.94)



Rys. 3 Uproszczony schemat urządzenia IUF. (Wg. dokumentu Departamentu Energetyki USA, odtajnionego 01.05. 94)