

**Rozwój oraz budowa broni jądrowej
i termojądrowej w XX wieku.**

*Krzysztof Lenartowicz
Maciej Radomski*

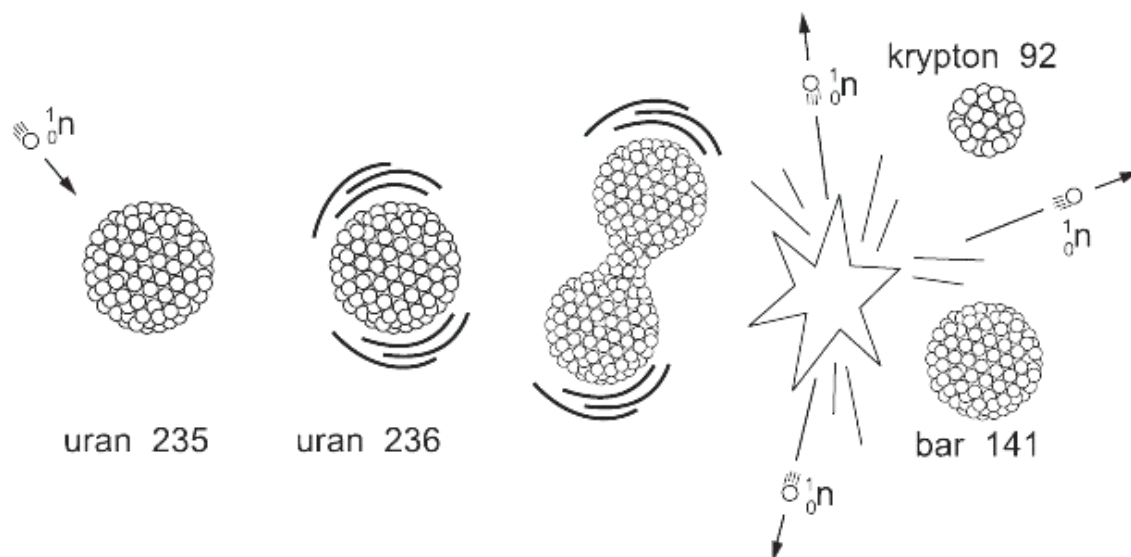
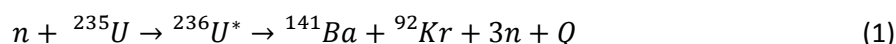
A. Historia broni nuklearnej:

1. Badania nuklearne, które wskazały możliwość stworzenia broni jądrowej [KL]:

1.1. Rozszczepienie jądra atomowego [KL]

XX wiek był okresem najszybszego rozwoju fizyki w historii ludzkości. Pierwsze odkrycia stanowiące podstawę współczesnej fizyki miały miejsce już pod koniec XIX wieku. Przykładowo w roku 1897 było to odkrycie elektronu przez J. J. Thomsona podczas jego badań nad promieniami katodowymi. W 1911 roku Ernest Rutherford odkrywa jądro atomowe, a dwadzieścia lat później James Chadwick stwierdza istnienie neutronów. Pozwala to fizykom, już kilka lat później, badać strukturę jądra atomowego i właściwości fizyczne, takie jak ilość nukleonów czy promieniowanie.

Enrico Fermi, wybitny włoski fizyk, w 1934 roku prowadził badania nad uranem (liczba atomowa 92) i odkrył, że podczas bombardowania tego pierwiastka neutronami, staje się on silnie promieniotwórczy. Założył, że jest to wynik powstawania nowego pierwiastka, o liczbie atomowej 93. Było to fałszywe założenie. Dopiero w roku 1938 dwóch niemieckich badaczy Otto Hahn i Fritz Strassmann, podczas powtarzania doświadczenia Fermiego, stwierdzili, że wśród produktów reakcji znajduje się bar (liczba atomowa 56). Austriacko-brytyjski fizyk Otto Frisch i Lisa Meitner zinterpretowali ten wynik jako rozszczepienie jądra atomowego oraz zwrócili uwagę na znaczną energię, która wydzielala się podczas rozszczepienia [1]. Rysunek 1 przedstawia schemat tego procesu (1).

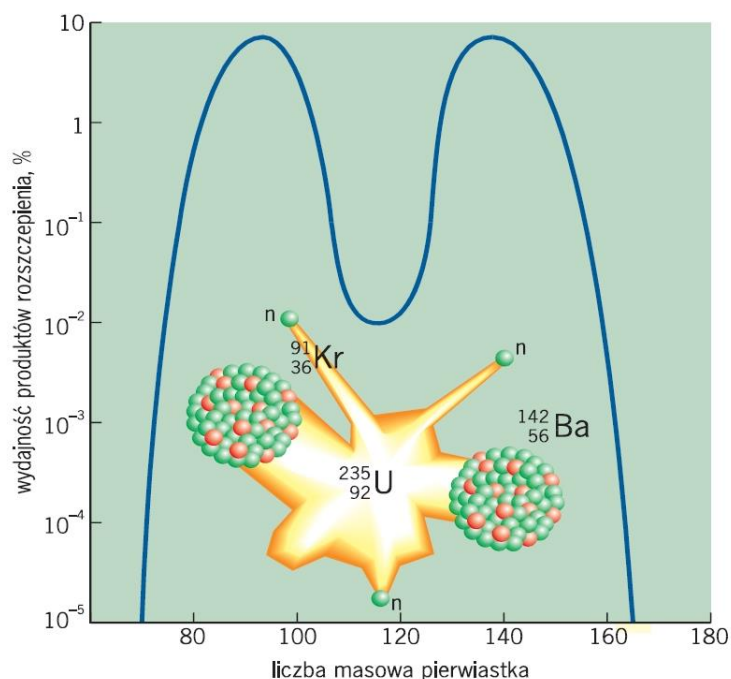


Rysunek 1. Schemat rozszczepienia jądra uranu [10]

Reakcja rozszczepiania jest najważniejszym procesem fizycznym wykorzystywanym w elektrowniach jądrowych. Jej skutkiem jest powstanie dwóch lżejszych jąder, dużej energii (w przypadku rozszczepienia jądra U-235 wydzielala się około 207 MeV) oraz emitowane są swobodne

neutrony. Te ostatnie produkty są bardzo istotnie, gdyż pozwalają na samorzutne powtarzanie się procesu. Dla U-235 średnia ilość emitowanych neutronów wynosi 2.5.

Uran-235 nie musi się rozpaść na krypton i bar, możliwości jest około 200 [1]. Produkty rozszczepienia można przewidzieć tylko z pewnym prawdopodobieństwem.



Rysunek 2. Udział procentowy produktów rozszczepienia ^{235}U w zależności od liczby masowej [2].

Energia Q ze wzoru (1), powstająca w trakcie rozszczepienia, powstaje na skutek działania słynnego wzoru Alberta Einsteina:

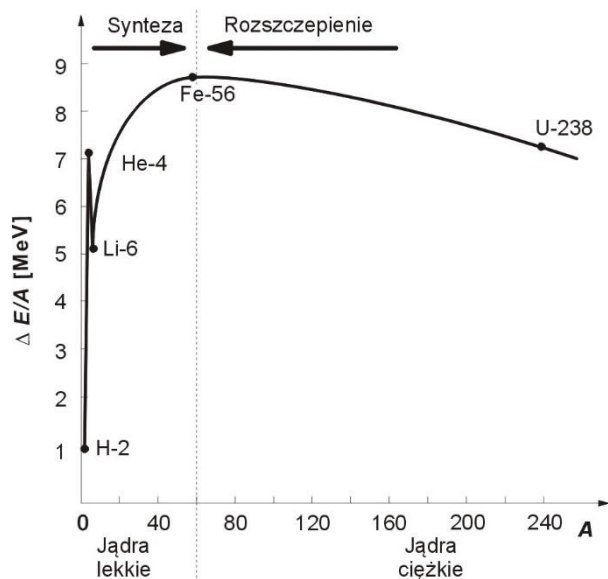
$$E = mc^2 \quad (2)$$

Równanie (2) informuje, że masa i energia są równoważne, to znaczy jedno może się zmieniać w drugie. Podczas reakcji rozszczepienia masa jądra ulegającego rozszczepieniu jest większa od całkowitej masy produktów rozpadu. Różnica jest wydzieloną energią Q . Wynika to z budowy jądra atomowego. Składa się ono z protonów i neutronów, których część masy jest wykorzystana na wiązanie jądra.

$$\Delta m = [Z \cdot m_p + (A - Z)m_n] - M_j \quad (3)$$

Wzór (3) określa defekt masy dla dowolnego jądra, który jest odpowiedzialny za energię wiązania. Δm - defekt masy, Z - liczba atomowa (liczba wszystkich protonów w jądrze), A - liczba masowa (liczba wszystkich nukleonów w jądrze, czyli wszystkich protonów i neutronów), m_p - masa protonu, m_n - masa neutronu, M_j - masa jądra.

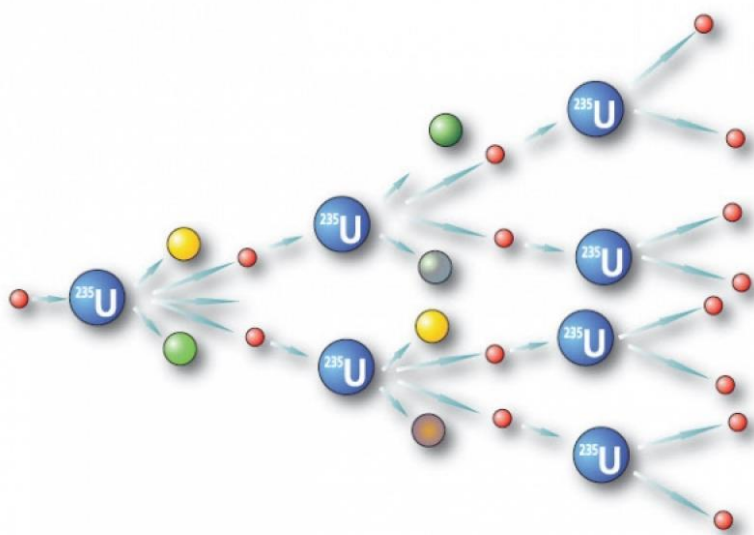
W zależności od ubytku masy rozróżniamy dwa procesy, które można wykorzystywać do wyzwolenia energii wiązania jądra atomowego. Są to synteza i rozszczepienie. Rysunek 3 pokazuje zależność energii wiązania na nukleon w zależności od liczby masowej A .



Rysunek 3. Energia wiązania na nukleon w zależności od liczby masowej A [3].

1.2. Reakcja łańcuchowa [KL].

W procesie rozszczepiania oprócz natychmiastowych elektronów pojawiają się również neutrony opóźnione. Są one emitowane przez produkty rozszczepiania, które mają nadmiar neutronów. Jeżeli średnia ilość emitowanych neutronów jest większa od 1 to istnieje prawdopodobieństwo zajścia tzw. łańcuchowej reakcji rozszczepienia. Polega ona na tym, że neutrony powstałe w wyniku rozszczepienia wchodzi w reakcję z kolejnymi jądrami (np. uranu). Powoduje to kolejne procesy rozszczepienia, oraz emitowanie kolejnych neutronów. Prowadzi to do gwałtownego wzrostu liczby neutronów, a także wyzwolenia ogromnej ilości energii w bardzo krótkim czasie. Rysunek 4 pokazuje schemat takiego procesu.



Rysunek 4. Proces łańcuchowej reakcji rozszczepienia uranu [4]

Parametrem określającym czy reakcja łańcuchowa rozszczepienia stanie się samopodtrzymująca (ilość tworzonych neutronów będzie tak duża, że nie będzie potrzebne wspomaganie procesu z zewnątrz), jest *masa krytyczna*. Określa ona minimalną ilość materiału (w kg)

rozszczepialnego, która potrzebna jest do podtrzymania procesu. Zależy ona nie tylko od masy, ale także od: rodzaju materiału rozszczepialnego, kształtu bryły z materiału rozszczepialnego, stopnia wzbogacenia, związku chemicznego zawierającego materiał rozszczepialny, ciśnienia zewnętrznego, obecności lub braku tzw. reflektora. Jeśli wartość masy krytycznej jest większa od ilości materiału rozszczepialnego to reakcja rozszczepienia po pewnym czasie wygasa.

Wywołując reakcję rozszczepienia w każdym jądrze zawartym w 1 g U-235 wyzwala się energia:

$$(6,023 \cdot 10^{23} / 235) \cdot 200 \text{ MeV} = 5,125 \cdot 10^{23} \text{ MeV} = 8,2 \cdot 10^{10} \text{ J}$$

Bomby nuklearne są tak skonstruowane aby realizowała się w nich niekontrolowana reakcja łańcuchowa. Aby taka reakcja była skuteczna, podczas produkcji bomb stosuje się proces wzbogacania polegający na zwiększeniu w materiale ilości izotopu rozszczepialnego. Dzięki temu proces jest bardzo gwałtowny, a ilość wydzielanej energii ogromna. Bomby atomowe zrzucone w 1945 roku na Hiroszimę i Nagasaki wyzwoliły energię eksplozji równoważną około 20 kt trotylu. Ilość potrzebnego uranu 235 do wyzwolenia takiej energii w całkowitym rozszczepieniu wynosi około 1kg.

2. Państwa pracujące nad stworzeniem broni jądrowej:

2.1. Program atomistyczny III Rzeszy Niemieckiej oraz jego niepowodzenie [KL]

Po odkryciu rozszczepialności jądra uranu przez Otto Hahna w 1938 roku, publicystyka naukowa o tematyce jądrowej została oceniona i zagarnięta przez wojsko. Władze III Rzeszy Niemieckiej bardzo szybko zauważyły w tym możliwość wzmocnienia swej militarnej potęgi. Już w kwietniu 1939 roku, powstał raport przedstawiający energię rozszczepiania jąder atomowych, w celach wojskowych. Od tego momentu zaczęły powstawać trzy ośrodki badawcze, mające na celu opracowanie najefektywniejszej metody pozyskania wzbogaconego uranu do produkcji bomby.

Projekt zyskał kryptonim „projekt U” (Uranmaschine) i był częścią programu Wunderwaffe, który miał na celu stworzenie zaawansowaną technologicznie broń o wielkiej sile. Do pracy przy projekcie został zatrudniony Werner Heisenberg, wybitny niemiecki fizyk teoretyk [5]. Pracował głównie nad budową reaktorów do pozyskiwania plutonu P-239. Zdecydował aby w reaktorach atomowych zastosować ciężką wodę jako moderator, co było błędem i znacznie opóźniło szanse na skonstruowanie bomby atomowej. Reaktory oparte na ciężkiej wodzie, były kłopotliwe i mało wydajne, nie dając szans na pozyskanie dostatecznej ilości materiału rozszczepialnego do produkcji bomby. Dodatkowo ciężka woda pozyskiwana drogą elektrolizy była ciężko



Rysunek 5. Reaktor badawczy w Haigerlochwana [11]

dostępna, a jej ilości ograniczone. Skutkowało to brakiem jakichkolwiek efektów.

Projekt tracił i zyskiwał poparcie, ale ze względu na spore koszty badań i coraz gorszą sytuację finansową III Rzeszy, nie był w stanie dorównać amerykańskiemu *projektowi Manhattan*.

W 1942 roku projekt stał się dla Niemiec priorytetowy. Stworzenie bomby atomowej wydawało się realne dzięki zastosowaniu nowej metody wzbogacania uranu w reaktorach za pomocą donorów cząsteczek gamma. Główne prace w 1944 roku przeniosły się do sztolni w okolicy Wałbrzycha, gdzie znajdowały się złoża uranu dostępnego w postaci rud, pobliska elektrownia była w stanie dostarczać dowolną ilość energii elektrycznej. Powstał tam najbardziej zaawansowany reaktor, który mógł być użyty do wzbogacenia plutonu. Koncept reaktora atomowego uwzględniał paliwo atomowe składowane w postaci prętów oraz źródło promieniowania gamma, będące elektrycznym betatronem o dużej mocy.

„Zasada działania takiego reaktora jest prosta, neutrony dostarczane przez tzw. komin, inicjowały reakcje rozszczepiania jąder uranu bądź plutonu- pewne izotopy tych pierwiastków posiadają taką właściwość, że neutrony o dowolnej energii inicjują proces rozpadu jądra. Zastosowanie prętów paliwowych i prętów kontrolnych, pozawalało na wykluczenie możliwości rozpędzenia łańcuchowej energii rozszczepiania do krytycznego momentu wybuchu” [6].

Ze względu na kapitulację III Rzeszy Niemieckiej w 1945 roku, projekt związany z budową bomby atomowej został porzucony.

2.2. Manhattan Engineering District (Projekt Manhattan) [MR].

Naukowy, badawczy i konstrukcyjny projekt zmierzający do zbudowania pierwszej bomby atomowej został zapoczątkowany w 1942 roku. Badania prowadzone były w Stanach Zjednoczonych w Columbia University w Nowym Jorku, uniwersytecie w Chicago i uniwersytecie kalifornijskim. Prace te doprowadziły do skonstruowania pierwszej bomby atomowej w Los Alamos National Laboratory.

Rozpoczęcie projektu Manhattan możliwe było dzięki dostarczeniu w 1940 roku 1250 ton bogatej rudy Uranu. Początek programu nuklearnego dotyczył zastosowania rozszczepialnych pierwiastków do napędu łodzi podwodnych. W późniejszym okresie badania zwróciły się ku destrukcyjnej stronie rozszczepiania jąder ciężkich pierwiastków.

Projekt korzystał z dotychczasowych osiągnięć naukowych, oraz współpracował z cywilnymi ośrodkami badawczymi i naukowymi, które poszukiwały relatywnie taniej metody pozyskiwania uranu-235. W 1941 roku Philip Abelson i Ross Gunn opracowali skuteczną metodę co przyczyniło się do szybkiego rozwoju projektu.

Przy projekcie Manhattan pracowało wielu wybitnych fizyków i inżynierów, z których wielu w późniejszym czasie otrzymali nagrodę Nobla. Wśród pracowników wymienić można J.R. Oppenheimera, Enrico Fermiego, Richarda Feynmana, Stanisława Ulama, Edwarda Tellera, Maxa Bornę, Nielsa Bohra, Johna von Neumanna i wielu innych.

Biorąc pod uwagę aktualny wskaźnik CPI projekt Manhattan kosztował 23 mld USD i był jednym z najdroższych projektów naukowych. Przy projekcie zaangażowanych było 130 tys. osób, z których większość otrzymywała jedynie szcątkowe informacja pozwalające na wykonanie powierzonego zadania.

16 lipca 1945 przeprowadzono pierwszą próbę bomby jądrowej na poligonie wojskowym na pustyni w stanie Nowy Meksyk. W trakcie wybuchu odnotowano siłę odpowiadającą wybuchowi 19 tysięcy ton trotylu.

3. Pierwsze testy atomowe różnych państw [MR]:

Pierwszy test atomowy został przeprowadzony przez Stany Zjednoczone w 1945 roku i nosił nazwę Trinity. Uzyskano wtedy siłę wybuchu porównywalną z 16 tysiącami ton trotylu. Od tego czasu na świecie przeprowadzono ponad 2 tysiące prób nuklearnych. Najwięcej testów przeprowadziły Stany Zjednoczone (1100), Związek Radziecki (715), Francja (210), Wielka Brytania (45) i Chiny (45).

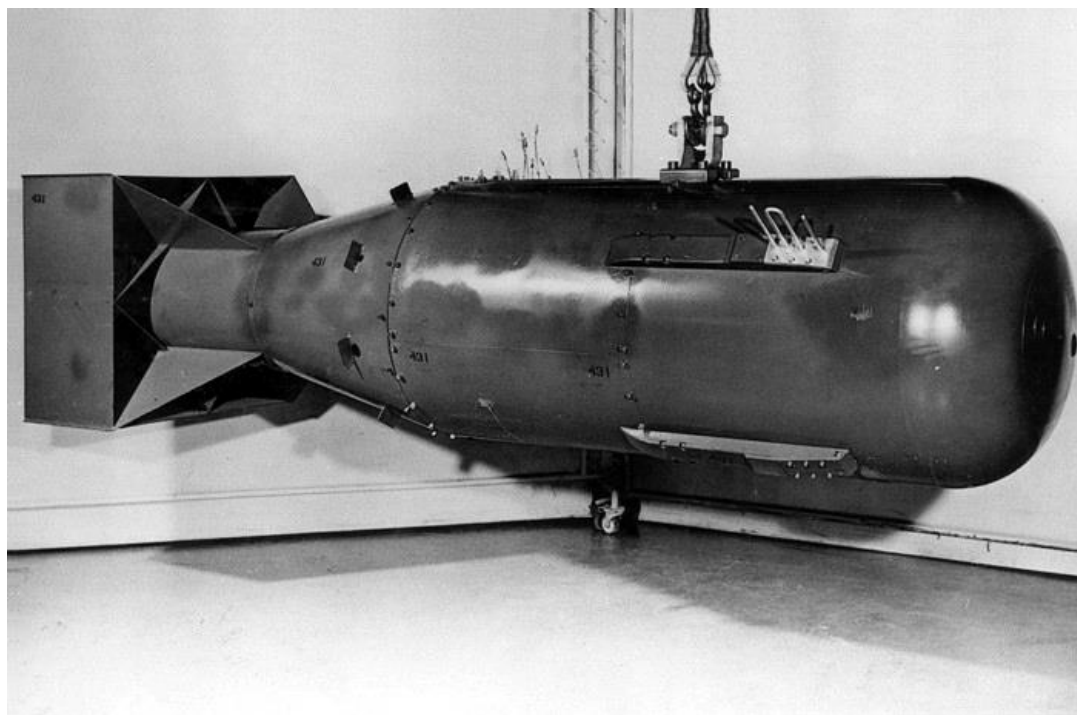
Największą dotychczas zdetonowaną bombą podczas testów nuklearnych jest „Car Bomba”, która była trójstopniową bombą termojądrową skonstruowaną w 1961 roku i o sile 58 megaton trotylu.

Testy atomowe miały za zadanie badanie nowych technologii przy użyciu bomb atomowych, wpływ i działanie na ludzi przemian jądrowych, oraz zabezpieczeń bomb. W czasie testów, często wykorzystywano ludzi poddawanych napromienieniom bezpośrednio po wybuchu, w niewielkiej odległości od ładunku. Potwierdzone testy tego typu wykonywane były w:

Tockoje, Semipałatyńsku i Nowej Ziemi (ZSRR), Murora (Polinezja, test przeprowadzony przez Francję), Wyspy Bożego Narodzenia (test przeprowadzony przez Wielką Brytanię) oraz we wschodnim Turkiestanie, gdzie wynikiem działania promieniowania, śmierć poniosło 210 tys. osób, a ponad 170 tys. choruje na nowotwory.

4. Użycie bojowe broni jądrowej [MR]:

Do tej pory w zastosowaniach bojowych, broni atomowej w postaci destrukcyjnych bomb użyto jedynie dwukrotnie. Oba zbrojne ataki odbyły się w 1945 roku i zostały przeprowadzone przez USA. Do tego celu użyto samolotów typu B-29.



Rysunek 6. Bomba atomowa „Little Boy” rzucona na Hiroszimę. [12]

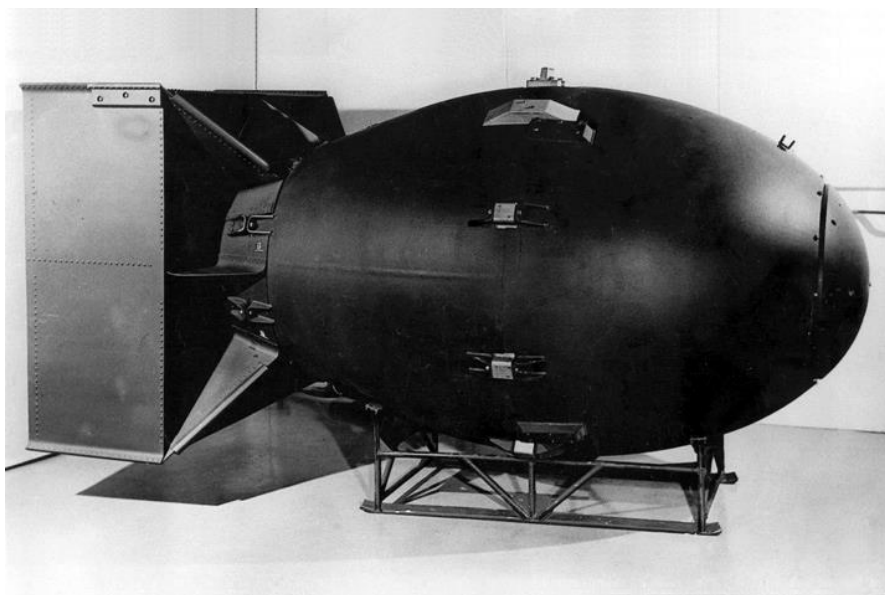
Zaatakowanymi miastami były Hiroshima(6 sierpnia) i Nagasaki(9 sierpnia) w Japonii. Bomby wybuchły z siłami odpowiednio 13 kiloton, oraz 22 kilotony.

Pierwszy udany test atomowy odbył się zaledwie 20 dni wcześniej.

Ze względu na złożoność problemu nie jest możliwe dokładne ustalenie jak wielu ludzi poniosło śmierć w wyniku ataków, jednak szacuje się, że do końca roku 1945 w wyniku eksplozji oraz chorób popromiennych zmarło 170 tys. osób.

Trzecim wytypowanym miastem do ataku była Kokura, jednak ze względu na złe warunki pogodowe zdecydowano się zaatakować Nagasaki.

Kolejny atak atomowy został przewidziany na 15-16 sierpnia, ale już 10 sierpnia Japonia złożyła kapitulację, a akt bezwarunkowej kapitulacji podpisała 2 września 1945 roku.



Rysunek 7. Bomba atomowa „Fat Man”, która spadła na Nagasaki [13]

5. Testy bomb termojądrowych, kraje zaangażowane [KL]:

Zdjęcia i dane zaczerpnięte ze źródła [7].

5.1. Greenhouse George

Detonacja: 9.05.1951 o 9:30 na 60 metrowej wieży na wyspie Ebireru/Ruby na atolu Eniwetok

Siła wybuchu: 225 kt

Paliwo: synteza deuteru-trytu zainicjowana przez bombę atomową zawartą w budowie

Kraj wykonujący test: Stany Zjednoczone



5.2. Ivy Mike

Detonacja: 1.11.1952 o 7:14:59.4 na wyspie Elugelab/Flora (atol Eniwetok)

Siła wybuchu: 10.4 Mt

Paliwo: ciekły deuter, pręt zawierający kilka gram gazowej mieszanki deuteru/trytu

Kraj wykonujący test: Stany Zjednoczone

Detonacja Mike`a całkowicie zniszczyła wyspę Elugelab, tworząc podwodny krater o szerokości 1900 metrów a głęboki na 50 m. Utworzony "grzyb" urósł do 17370 metrów w 90 sekund, po 5 minutach wznosząc się na 41150 m - wysokość stratosfery. W powietrze zostało wyrzucone 80 milionów ton ziemi.



5.3. Test radziecki nr 5/Joe 4

Detonacja: 12.08.1953 na wieży w Semipałatyńsku (Kazachstan)

Siła wybuchu: 400 kt

Paliwo: deuter i tryt otoczone rdzeniem z U-238

Kraj wykonujący test: ZSRR



5.4. Castle Bravo

Detonacja: 1.03.1954 o godzinie 6:45 nieopodal wyspy Nam/Charlie na atolu Bikini

Siła wybuchu: 15 Mt

Paliwo: deuterok litu Li-6

Kraj wykonujący test:
Stany Zjednoczone

Siłę wybuchu planowano tylko na 6 Mt, ale niespodziewana produkcja dużych ilości trytu poprzez rozszczepienie szybkimi neutronami Li-7 podniosła moc o 250%, tworząc z niego największą bombę jaką kiedykolwiek przetestowano przez Stany Zjednoczone. Eksplozja stworzyła 1830 metrowy krater głęboki na 43 metry. "Grzyb" wznosił się na wysokość 34 750 m.



5.5. Castle Romeo



Detonacja: 27.03.1954 na barce na lagunie atolu Bikini, blisko miejsca detonacji Bravo,

Siła wybuchu: 11 Mt

Paliwo: bomba trzystopniowa: naturalny deuterku litu, zawierający dużą ilość wzbogaconego litu-6.

Kraj wykonujący test: Stany Zjednoczone

5.6. Test radziecki Nr 19

Detonacja: 22.11.1955 zrzucana z bombowca Tu-16 pomalowanego na biało na poligonie niedaleko Semipałatyńska

Siła wybuchu: 1.6 Mt (dzięki zastosowaniu specjalnych rozwiązań obniżono ją o prawie połowę - z 3 Mt)

Kraj wykonujący test: ZSRR



6. Skutki ekologiczne prób jądrowych [MR].

Skutkami bezpośrednimi występującymi zaraz po wybuchu są promieniowanie jonizujące oraz skażenia promieniotwórcze. Ponadto zanotowano bezpośredni wzrost promieniotwórczego Cs-137 w atmosferze wraz ze wzrostem ilości prób nuklearnych.

Promieniowanie jonizujące wpływa bezpośrednio na istoty żywe prowadząc do rozpadu błon komórkowych, poparzeń i denaturacji białek co prowadzi do śmierci lub chorób popromiennych. Ponadto notuje się uszkodzenia genetyczne, które nie pozwalają na prawidłowe przekazanie swoich genów potomstwu.

Skażenia promieniotwórcze powstają w dwojaki sposób, tzn. poprzez wychwyty neutronów przez pierwiastki zawarte w ziemi i wodzie np. przez Sód i Mangan, oraz poprzez promieniotwórczy opad z chmury utworzonej przez promieniotwórcze pierwiastki.

Opad promieniotwórczy jest zjawiskiem wieloetapowym i może trwać bardzo długi czas, a zasięg i poziom skażenia promieniotwórczego zależy od rodzaju i siły bomby oraz ośrodka wybuchu.

7. Umowy międzynarodowe dotyczące broni jądrowej [MR].

W związku z ogromnym zagrożeniem niesionym przez nowe technologie w dziedzinie broni nuklearnej, szybko zdano sobie sprawę o problemach bezpieczeństwa, które bardzo trudno egzekwować. W związku z tym utworzono układ o nierozprzestrzenianiu broni jądrowej.

Układ ten powstał w 1968 roku, jako reakcja na czasy zimnej wojny i wyścigu zbrojeń. Do roku 2003 ratyfikowało go 189 państw.

W swoich artykułach określa on obowiązki państw nuklearnych oraz zawiera artykuł IV który mówi o częściowym rozbrojeniu i spowolnieniu wyścigu zbrojeń. W polskim prawodawstwie układ ten istnieje od 1970 roku.

Ponadto w 1996 roku podpisano traktat o całkowitym zakazie prób z bronią jądrową. Traktat podpisało łącznie 177 państw.

Należy pamiętać, że kraje takie jak Korea Północna, Indie oraz Pakistan, nie zgodziły się lub wystąpiły z obu umów międzynarodowych, oraz o tym że nie istnieją środki egzekwowania przestrzegania postanowień.

B. Rodzaje broni nuklearnej:

1. Bomba atomowa [MR]

Działanie bomby atomowej polega na łańcuchowej reakcji rozszczepienia ciężkich jąder atomowych uranu bądź plutonu spowodowanej wytworzeniem masy nadkrytycznej materiału rozszczepialnego.

Bomba atomowa może być jednocześnie wzmocniona, by mała większą siłę wybuchu. Zbudowana jest podobnie jak zwykła bomba jądrowa, a główna różnica polega na umieszczeniu w centrum materiału rozszczepialnego kilkanaście gramów mieszanki deuteru i trytu. Pozwala to na zwiększenie wydajności reakcji rozszczepiania materiału rozszczepialnego przez dostarczenie dodatkowych neutronów z zainicjowanej syntezy nuklearnej. Jest to prosty przykład bomby dwustopniowej.

2. Bomba wodorowa [KL]

Bomba termojądrowa (wodorowa) jest zaawansowaną konstrukcją bomby dwustopniowej. Większość energii takiej bomby pochodzi z zainicjowanej klasyczną bombą jądrową reakcji syntezy pierwiastków lekkich. Początkowo stosowano w bombach wodorowych pierwiastki deuter i tryt. Jednak stosunkowo krótki okres połowicznego życia trytu (12,26 lat) powodował, że bomba taka nie nadawała się do przechowywania zbyt długo, gdyż traciła na mocy. Sposobem na pozbycie się tego problemu było generowanie trytu już w trakcie eksplozji bomby. Jest on wtedy otrzymywany z deuteru litu poprzez bombardowanie neutronami wytwarzanymi podczas reakcji rozszczepienia zwykłej bomby atomowej. Proces ten inicjuje syntezę termojądrową.

3. Bomba neutronowa [KL]

Bomba neutronowa jest zbudowana podobnie do bomby termojądrowej. Różnicę stanowi brak powierzchni ekranującej neutrony, czyli brak reflektora. Siła wybuchu bomby neutronowej jest mała w stosunku do bomb atomowych oraz skażenie radioaktywne terenu jest niewielkie. Jednak najgroźniejsza podczas wybuchu tej bomby jest intensywne promieniowanie przenikliwe w postaci neutronów powstających w wyniku reakcji syntezy deuteru i trytu. Wytworzone w ten sposób wysokoenergetyczne neutrony z łatwością przenikają przez większość przeszkód, typu budynki, pojazdy, ale są śmiertelnie niebezpieczne dla organizmów żywych. Użycie takiej bomby pozwala na eliminację życia biologicznego bez niszczenia infrastruktury naziemnej bombardowanego obszaru.

4. Bomba kobaltowa [KL]

Bomba kobaltowa jest bombą jądrową, charakteryzującą się zastosowaniem kobaltu do budowy osłony odbijającej neutrony. Ładunek jądrowy, emitując neutrony, sprawia, że kobalt staje się swoim izotopem o masie atomowej 60, który jest silnym źródłem promieniowania gamma. Nadaje to bombie kobaltowej funkcji skażenia bombardowanego terenu. Jako, że kobalt-60 jest materiałem promieniotwórczym o okresie połowicznego rozpadu trwającym ponad 5 lat, nie jest możliwe przeczekanie tak długiego okresu w ukryciu, bez szkodliwego wpływu.

5. Brudna bomba [MR]

Brudna bomba bardziej podchodzić pod broń radiologiczną niż jądrową. Działa na zasadzie rozrzucenia materiału promieniotwórczego na znacznej przestrzeni przy wykorzystaniu konwencjonalnego ładunku wybuchowego. Właściwością rażącą tej broni jest skażenie terenu i wynikające w konsekwencji promieniowanie przenikliwe.

C. Budowa broni nuklearnej:

1. Podział ze względu na rodzaj ładunku (jedno, dwu i trójfazowy) [KL]

Broń jądrową możemy rozróżnić ze względu na budowę. Są trzy rodzaje bomb jądrowych: bomby o ładunku jednofazowym, dwufazowym i trójfazowym [7].

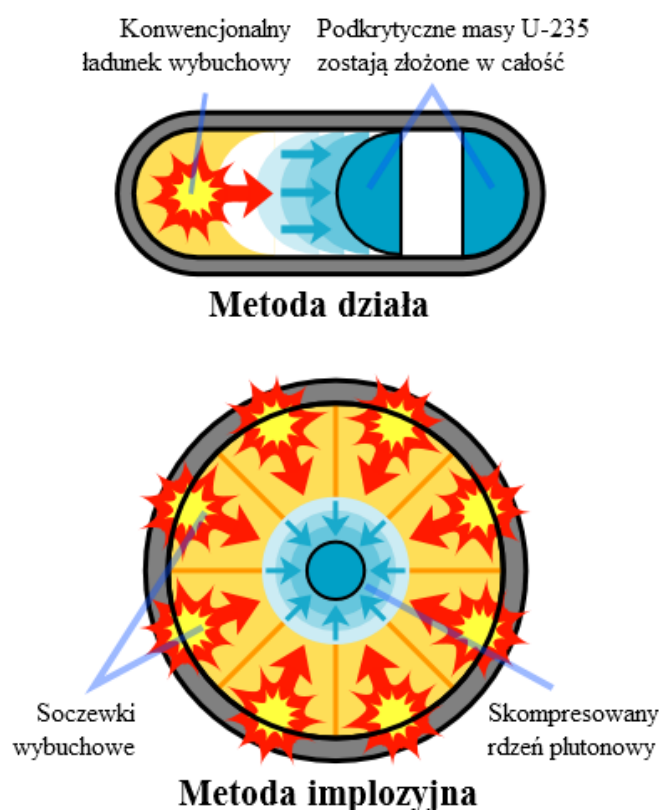
Bomba o ładunku jednofazowym, to zwykła bomba atomowa, która działa na zasadzie lawinowego rozszczepiania jąder materiału nuklearnego.

W bombie o ładunku dwufazowym, zwanym również dwustopniowym, następują dwie reakcje: lawinowe rozszczepienia jąder materiału radioaktywnego oraz synteza jąder lekkich pierwiastków - deuteru i trytu. Zwykła bomba atomowa wybucha powodując bardzo wysoki wzrost temperatury oraz ciśnienia, co inicjuje syntezę jądrową. Przykładem bomby dwustopniowej jest bomba wodorowa.

Bomba o ładunku trójfazowym (trójstopniowym) ma budowę bomby dwufazowej, w której zastosowano jako reflektor materiał rozszczepialny. Zazwyczaj jest to niewzbogacony, naturalnie występujący w przyrodzie uran-238 czy nawet tor. W takiej bombie nie musi dojść do osiągnięcia przez ten materiał masy krytycznej, ponieważ inicjacja eksplozji ładunku wywoływana jest przez pochłonięcie wysokoenergetycznych neutronów (neutronów szybkich), które są wytwarzane w trakcie syntezy jądrowej, a nie podczas reakcji łańcuchowej.

2. Zasada działania bomby atomowej [MR].

Zasada działania bomby atomowej opiera się na rozszczepianiu uranu. Bombardując jądro uranu neutronami doprowadza się do jego rozszczepienia z emisją energii i kilku neutronów. Neutrony te mogą albo uciec z próbki uranu, albo spowodować rozszczepienie kolejnych jąder. Jeżeli jest za mało uranu, to przeważa pierwszy przypadek. Nazwane jest to masą podkrytyczną. Przy pewnej ilości uranu zaczyna przeważać ten drugi przypadek. Minimalną masą przy, której zaczyna rozwijać się jądrowa reakcja łańcuchowa nazywana jest masą krytyczną. Powyżej masy krytycznej więcej neutronów powoduje rozpad kolejnych jąder niż ich ucieka z próbki. Reakcja więc rozwija się lawinowo. Każde rozszczepienie wywołuje kolejną dawkę energii, po czym następuje wybuch.



Rysunek 8. Schemat dwóch metod detonowania ładunku jądrowego [14]

3. Zasada działania bomby wodorowej [KL].

A - Stopień rozszczepienia (ładunek pierwotny)

B - Stopień fuzji (ładunek właściwy - wtórny)

1 - chemiczny materiał wybuchowy

2 - osłona z uranu-238

3 - próżnia

4 - pluton lub uran zawierający tryt w stanie gazowym

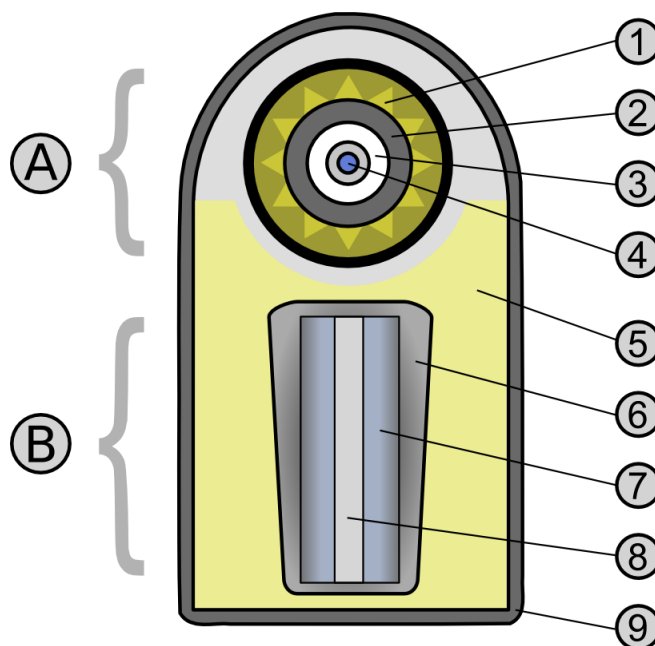
5 - styropian

6 - osłona uranu-238

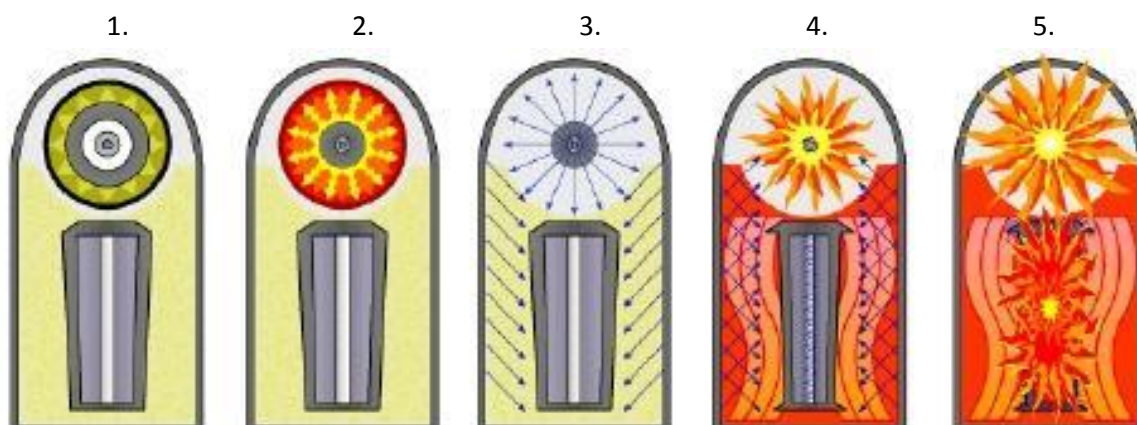
7 - deuterok litu-6 (paliwo fuzji)

8 - pluton

9 - reflektor



Rysunek 9. Schemat budowy ładunku termojądrowego [8].



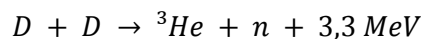
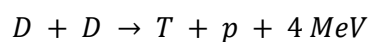
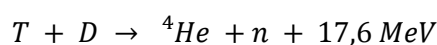
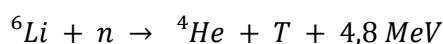
Rysunek 10. Uproszczona sekwencja wybuchu bomby wodorowej [9].

1. Bomba przed wybuchem.
2. Zapalniki w pierwszym stopniu uruchamiają ścisnienie plutonowego rdzenia, który staje się nadkrytyczny.
3. Rozszczepienie wywołuje emisję promieniowania X, które naświetla piankę polistyrenową.
4. Pianka polistyrenowa staje się plazmą, która ściska drugi stopień i powoduje zapłon Pu: reakcje rozszczepienia.
5. W ściśniętym i rozgrzanym ${}^6\text{LiD}$ zaczyna się synteza. Strumień neutronów inicjuje reakcje rozszczepienia w osłonie. Pojawia się kula ognia.

Synteza jąder lekkich pierwiastków nazywana jest reakcją termojądrową. Polega na postaniu cięższego jądra o większej energii wiązania w przeliczeniu na jeden nukleon. Aby reakcja syntezy zaszła wymagana jest wysoka temperatura (rozpędzone jądra atomowe) oraz duże ciśnienie koncentrujące odpowiednie jądra. Do realizacji takich warunków stosuje się wybuch bomby jądrowej, polegającej na rozszczepianiu, wewnątrz której umieszczony jest materiał do syntezy termojądrowej.

Aby utrzymać wymagane warunki stosuje się deuter i tryt. Jako, że tryt ma względnie krótki okres połowicznego życia (12,26 lat), stosuje się lit, który generuje tryt w trakcie wybuchu bomby.

Schemat głównych reakcji zachodzących w ładunku termojądrowym:



Najbardziej istotne są dwie pierwsze reakcje, które tworzą samopodtrzymujący się cykl. Pierwsza dostarcza tryt dla drugiej, a druga neutrony dla pierwszej. Dwie pozostałe reakcje zachodzą z mniejszą częstością.

[KL] Wykonał: Krzysztof Lenartowicz
[MR] Wykonał: Maciej Radomski

Bibliografia

- [1] <http://www.atom.edu.pl/>
- [2] A. Czerwiński *"Energia jądrowa i promieniotwórczość"*. Oficyna Edukacyjna Krzysztof Pazdro, Warszawa 1998
- [3] G. Jezierski *"Energia jądrowa wczoraj i dziś"*. Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 2005
- [4] <http://ncbj.edu.pl/>
- [5] http://pl.wikipedia.org/wiki/Werner_Heisenberg
- [6] http://www.vaterland.pl/bron_atomowa_iii_rzeszy.html
- [7] <http://www.atominfo.pl/>
- [8] http://pl.wikipedia.org/wiki/Ładunek_termojądrowy
- [9] <http://www.elektrownieatomowe.info/>
- [10] <http://sciaga.onet.pl/12581,60,164,93,1,22659,sciaga.html>
- [11] <http://de.wikipedia.org/wiki/Uranprojekt>
- [12] http://pl.wikipedia.org/wiki/Little_Boy
- [13] http://pl.wikipedia.org/wiki/Fat_Man
- [14] http://pl.wikipedia.org/wiki/Broń_jądrowa