

ВОЈНО ДЕЛО

ОПШТЕВОЈНИ ТЕОРИСКИ ЧАСОПИС

БРОЈ 6

ЈУНИ 1955

ГОДИНА VII

Pukovnik **VLADETA GAJIC**

NUKLEARNO ORUŽJE¹⁾

Dug je bio put dok nije izrađena prva atomska bomba. Decenije intenzivnog naučnoistraživačkog rada i duga plejada naučnika širom celoga sveta stvorili su preduslove za jedan džinovski poduhvat, koji je započeo u SAD početkom Drugog svetskog rata. Pre toga je inicijativu u ovim istraživanjima imala Evropa, kojom je tada već gospodarila Hitlerova Nemačka. Niz demokratski raspoloženih naučnika, koji su već mnogo štošta znali o tajnama nuklearne energije, pobjegao je u SAD. Međutim, i u Evropi ostaje jaka grupa nemačkih naučnika, koji takođe nisu bili daleko od ostvarenja atomske bombe. Da bi se sprečilo Hitlerovoj Nemačkoj da prva osvoji ovo strahovito oružje, u SAD započinje grozničav i gigantski poduhvat. U njemu učestvuje oko 15.000 visokokvalifikovanih stručnjaka i 100.000 radnika. A stotine najraznovrsnijih laboratorija i instituta dobija jedan jedini zadatak: stvoriti što pre atomsku bombu.

Posle 3 godine najintenzivnijeg rada i ogromnih troškova (oko 2 milijarde dolara), 16 jula 1945 godine izvršena je prva (probna) eksplozija atomske bombe. Zatim su došle one dve bombe na japanske gradove Hirošimu i Nagasaki. Posle završetka Drugog svetskog rata izvršeno je preko 50 opita sa atomskim bombama, među kojima i sa takvim koje su bile daleko jače od prve atomske bombe.

¹⁾ U stručnoj domaćoj i inostranoj literaturi pojavljuju se različiti nazivi za ovo oružje. Prvi naziv »atomska oružje«, nije naučno tačan, jer se energija ne dobija iz celog atoma, već samo iz njegovog jezgra, nukleusa. Iako je najbolji naziv »nuklearno oružje«, to ništa ne smeta da i dalje ostanu neki nazivi (kao naprimer atomska bomba) koji su već odomaćeni u literaturi. U isti mah termokuklearno oružje označava hidrogensku bombu, koja se često naziva i vodonična bomba. Tu spada i litijumova bomba, kao i sva ona druga oružja koja oslobađaju svoju energiju na taj način što reakcija eksplozije njihovog nuklearnog eksploziva nastaje tek tada kada se on zagreje na vrlo visokoj temperaturi (od više miliona stepeni).

Još smo, više ili manje, pod utiskom prvih vesti o strahovitom dejstvu atomske bombe na ona dva japanska grada. Ali se u isti mah nekako zaboravlja da je u nekim drugim nemačkim gradovima (naprimer, u Hamburgu i Vircburgu), gde nije eksplodirala atomska bomba, samo u toku jednog dana bilo i većih razaranja i više ljudskih žrtava nego u ova dva japanska grada i da je Tokio posle jednodnevnog napada zapaljivim i eksplozivnim bombama gore izgledao nego da je nad njim eksplodirala atomska bomba. Sem toga, iskustvo je pokazalo da je kod svih bombardovanja (bez obzira kojim su bombama vršena) uvek bilo nesrazmerno više žrtava ako su ta bombardovanja izazivala paniku. S druge strane, panike nije bilo tamo gde su preduzimane mere zaštite. A mere zaštite mogu se preduzeti kada se poznaje opasnost, kada se zna kako dejstvuje neko oružje i šta ono može da učini ljudstvu i materijalu. Zato najpre treba upoznati atomsku bombu i opasnost koja od nje preti.

Nuklearni eksploziv

Atomska bomba sadrži t.zv. nuklearni eksploziv. Njegovom eksplozijom nastaju raznovrsna razaranja i ozlede. Nuklearni eksploziv je posebna vrsta eksploziva, različitija od dosada poznatih t.zv. hemiskih eksploziva (dinamita, trotila i sl.). Neki hemiski eksplozivi (naprimer trotil) ne eksplodiraju pod uticajem povišene temperature ili udara, ali se dejstvom detonatora (kapsle) neobično brzo raspadaju na prostije hemiske sastojke, oslobađajući veliku količinu energije (uglavnom u vidu toplotnog zračenja i kinetičke energije). Celo raspadanje trotila (tj. njegove eksplozije) dešava se za neki desetihiljaditi deo sekunde. Gasovi stvoreni njegovom eksplozijom (ili ma kojeg drugog vojnog eksploziva) nisu ništa štetniji od gasova koji se, naprimer, stvaraju pri sagorevanju benzina ili nafte u nekom automobilskom motoru. Pošto su eksplozivi hemiska jedinjenja, to znači da se njihov molekul sastoji iz atoma koji su međusobno vezani silama valence. Pod običnim uslovima eksploziv je postojan, jer su te veze čvrste, ali se one pod uticajem nekih spoljnih sila (toplote, udara, dejstvom detonatora) mogu naglo raskinuti. Kidanjem tih veza molekuli se u celoj masi eksploziva raspadaju, tako da nastupa eksplozija.

Reakcija raspadanja nuklearnog eksploziva ne sastoji se samo u međusobnom pregrupisanju atoma, već najpre u novoj raspodeli atomskih čestica²⁾ u jezgrima samih atoma. Zato ovo i nisu hemiske promene u ranijem smislu, već promene prirode samih atoma (tj. njihovih jezgara), te se stvaraju novi hemiski elementi. Pošto je nuklearna eksplozija povezana sa pregrupisavanjem čestica u jezgrima atoma, to je ona, ustvari, bazirana na nuklearnim reakcijama, a ne na hemiskoj reakciji kao kod običnih eksploziva. Ali sve nuklearne reakcije ne mogu dati eksploziju. Eksplozija može

²⁾ Pod atomskim česticama ovde se misli na protone i neutrone, koji su sastavni delovi atomskih jezgara svih hemiskih elemenata (sem običnog vodonika, čije se jezgro sastoji samo iz jednog protona). Kod običnih hemiskih promena (pa i pri eksploziji običnih eksploziva — trotila i sl.) ne menjaju se jezgra atoma.

doći samo kod one vrste nuklearne reakcije, kod koje je moguće da se ogroman broj reakcija proizvede za vrlo kratko vreme, pri čemu se veoma brzo oslobađa ogromna količina energije. Takav je slučaj kod atomske bombe. Kod nuklearnog eksploziva oslobodi se oko 8 miliona puta više energije nego kod običnih eksploziva.

Prirodni uran se sastoji iz 3 radioaktivna izotopa³⁾ koji se spontano raspadaju stvarajući druge hemiske elemente i oslobađajući radioaktivno zračenje (u vidu alfa, beta i gama zrakova). Njegovo raspadanje je veoma dugo i traje hiljadama vekova.

Pored spontanog raspadanja atomskih jezgara postoji i veštački izazvano raspadanje — bombardovanjem jezgra nekim česticama (naročito neutronima). Jezgro postaje radioaktivno, tj. može osloboditi radioaktivno zračenje, ako u njega uđe neki neutron. Ovaj ulazak neutrona u jezgro može u nekim slučajevima izazvati i eksploziju toga jezgra (kao naprimer kod urana). Ova pojava je poznata pod imenom **cepanje jezgra (fisija)**. Ali, osim urana, i drugi hemiski elementi velike atomske težine mogu da pretrpe cepanje. Cepanje jezgra može se proizvesti i na druge načine, ali je najlakše pomoću neutrona.

Od uranovih izotopa kao nuklearni eksploziv može se upotrebiti uran atomske težine 235, koga ima oko 0,7%, u prirodnom uranu. Urana atomske težine 238 ima daleko više (oko 99,3%), ali se ovaj najčešće ne cepa pod uticajem neutrona, već ih samo hvata i zadržava. Međutim, i uran 238 može se dejstvom neutrona pretvoriti u nov hemiski element — plutonijum, koji se, kao i uran 235, cepa dejstvom neutrona, tako da se i on može upotrebiti kao nuklearni eksploziv.

Za stvaranje atomske bombe nije važno samo to da se cepanjem jezgra nuklearnog eksploziva oslobađa ogromna energija, već da se u isti mah iz svakog jezgra koje se cepa oslobodi više od jednog neutrona i time izazove t.zv. »lančana reakcija«. Tada eksplozija samo jednog jezgra, pod uticajem neutrona, može izazvati eksploziju okolnih jezgara, pa i čitave mase nuklearnog eksploziva. Ako se pri cepanju jezgra urana oslobode samo 2 neutrona (ustvari se uvek oslobode 2—3), onda bi se posle 80 generacija cepanja proizvelo toliko neutrona da bi se izazvalo cepanje svih atoma u jednom kilogramu nuklearnog eksploziva. Pošto vreme jednog cepanja iznosi jedan stotimilioni deo sekunde, to bi 80 generacija cepanja iznosilo manje od jednog milionitog dela sekunde. Pošto se u tako kratkom vremenu oslobađaju ogromne količine energije, prirodno je što se pri tome javlja strahovita eksplozija. Zato je »lančana reakcija« cepanja urana 235 (plutonijuma) iskorišćena kao eksploziv atomske bombe.

U praksi se pokazalo da svi oslobođeni neutroni ne uspevaju da izazovu cepanje jezgra, odnosno eksploziju, ako većina njih bude apsorbovana

³⁾ Ako se atomi nekih hemiskih elemenata javljaju sa raznim atomskim težinama, onda su to izotopi toga hemiskog elementa. Tom prilikom atomi toga elementa imaju u svom jezgru isti broj protona, a samo broj neutrona je različit. Tako svi uranovi izotopi imaju u atomskom jezgru po 92 protona. Ali zato uran atomske težine 235 ima 143 protona, a uran atomske težine 238 ima 146 protona.

u jezgru ili ako pobegnu iz mase eksploziva koja se cepa. Neutroni beže sa površine nuklearnog eksploziva i zavise od ove površine. Oni se stalno kreću u samoj masi nuklearnog eksploziva, a neki od njih dolaze i do površine te mase i iz nje izleću napolje utoliko lakše ukoliko je veća površina mase. Pošto cepanje nastupa u isti mah u samoj masi nuklearnog eksploziva, to ono zavisi i od njene zapremine (tj. mase, količine). Gubitak neutrona je utoliko manji ukoliko se više povećava količina nuklearnog eksploziva, jer se time smanjuje odnos površine prema zapremini. Ona minimalna masa, kod koje je moguća brza »lančana reakcija« do kraja zove se »kritična masa«. Prema tome, u atomskoj bombi mora imati više nuklearnog eksploziva od »kritične mase«. Veličina te mase zavisi i od »čistoće« nuklearnog eksploziva, jer »nečistoća« u eksplozivu apsorbuje neutrone. Bežanje neutrona iz mase smanjuje se i primenom »reflektora«, koji — poput ogledala — vraćaju neutrone natrag u masu i time smanjuju »kritičnu masu«. ⁴⁾

Osnovni podaci o atomskoj bombi

Količina eksploziva tj. njegova »kritična masa« zavisi od geometrijskog oblika samog eksploziva (najmanja je ako ima oblik lopte, nešto je veća kada je oblika kocke, a još je veća kada je nepravilnog oblika), zato što »kritična masa« zavisi od površine nuklearnog eksploziva, koja se menja prema geometrijskom obliku te mase. Pošto je za primenu nuklearnog oružja u taktičke svrhe potrebna što manja »kritična masa«, to se obično uzima lopta kao njen najpovoljniji oblik, tako da »kritična masa« bude oblika lopte pred samu eksploziju.

Ako je količina nuklearnog eksploziva ravna »kritičnoj masi« ili veća od nje, on će odmah eksplodirati, tako da nema potrebe za nekim posebnim upaljačem. Ulogu upaljača vrše izvanredno prodorni kosmički zraci koji potiču iz svemira (prodiru i kroz olovni zid debljine nekoliko metara). Oni stalno dospevaju na zemlju i prolazeći kroz vazduh razbijaju neke atome vazdušnih sastojaka, tako da u vazduhu uvek ima malo neutrona. Ovi neutroni mogu poslužiti kao upaljač za atomsku bombu samo tada kada njen eksploziv u »kritičnoj masi« čini jedan **kompaktan** komad veličine te mase. Drugim rečima, ako je nuklearni eksploziv ugrađen u atomsku bombu u nekoliko **odvojenih** komada, koji čine »kritičnu masu« tek onda kada se spoje, ta bomba neće eksplodirati sve dok su ti komadi rastavljeni. Međutim, eksplozija će nastati čim se ti komadi spoje. Njihovo spajanje se vrši pomoću običnog eksploziva (TNT) koji svojom eksplozijom brzo slepi komade nuklearnog eksploziva u »kritičnu masu«. Od brzine ovog slepljivanja u »kritičnu masu« zavisi i stepen iskorišćenja nuklearnog eksploziva. Ukoliko je slepljivanje

⁴⁾ Proizvodnja nuklearnog eksploziva je vrlo spor, težak i skup posao. Međutim, prilikom dobijanja plutonijuma u »nuklearnim reaktorima« oslobađa se ogromna količina energije koja može poslužiti kao vanredno jak energetski izvor (za dobijanje električne energije ili kao pogonsko sredstvo za podmornice i dr.). Uran 235 odvajava se od prirodnog urana u postrojenjima koja su velika kao čitavi blokovi višespratnih zgrada.

brže, utoliko veći deo nuklearnog eksploziva eksplodira. Ako slepljivanje nije dovoljno brzo, onda znatan procenat nuklearnog eksploziva uopšte ne eksplodira, već se razbacna naokolo. Čak ima slučajeva da do nuklearne eksplozije uopšte ne dođe, tako da se masa nuklearnog eksploziva samo jako zagreje, ispari i raspadne telo bombe, što biva naročito onda kada je slepljivanje komada nuklearnog eksploziva išlo relativno sporo. Zato iza svakog komada nuklearnog eksploziva treba da bude izvesna količina TNT. Najprostija je konstrukcija atomske bombe kada se nuklearni eksploziv nalazi u dva dela oblika polulopte i kada oba dela, spojena ujedno dostignu veličinu »kritične mase« ili malo veću od nje. Ove dve polulopte nalaze se na krajevima jedne cevi (slične topovskoj), a iza tih polulopti nalazi se eksploziv TNT. Obe količine TNT dovode se istovremeno do eksplozije, tako da se obe polulopte nuklearnog eksploziva sudare i slepe negde na sredini te cevi, spajajući se u »kritičnu masu« koja odmah eksplodira.

Jedan od principa konstrukcije atomske bombe počiva na promeni geometrijskog oblika nuklearnog eksploziva. Naprimer, dok ima oblik kocke eksploziv ne može eksplodirati pošto tada još nije »kritična masa«. Ali ako eksploziv iz oblika kocke pređe u oblik lopte (čime se smanjuje površina te mase, a time i beg neutrona iz nje), količina nuklearnog eksploziva odgovara »kritičnoj masi« za oblik lopte, tj. za njenu manju površinu i eksplozija odmah nastaje. I ova promena oblika, kao i ranije slepljivanje komada nuklearnog eksploziva, mora se izvesti vrlo brzo. Postoji još nekoliko načina za dovođenje nuklearnog eksploziva do eksplozije. Ako se, naprimer, šipka kadmijuma ili bora uvuče u »kritičnu masu«, ona će apsorbovati mnogo neutrona, tako da ih neće biti dovoljno za otpočinjanje lančane reakcije u nuklearnom eksplozivu i za njegovu eksploziju. Ali čim se kadmijumova šipka izvuče, nuklearna eksplozija će odmah nastupiti.

Mnogo se raspravljalo o težini nuklearnog eksploziva, odnosno težini »kritične mase«. U početku je bilo objavljeno da se ona kreće u granicama od 1 do 100 kg, zatim oko 30 kg, a sada se već govori da može biti i oko 10 kg.⁵⁾ Smanjenje »kritične mase« je nesumnjivo vrlo važna stvar. Odavno se uočilo da rušilačka snaga atomske bombe nije racionalno iskorišćena, jer se u neposrednoj okolini mesta eksplozije nepotrebno rasipa i uništava materijal isuviše mnogo, iako bi bilo dovoljno da ga uništava u znatno manjoj meri. Zgrada će, naprimer, biti uništena ako se samo razori na veće blokove građevinskog materijala, tako da je nije potrebno rušiti u komadiće ili pretvarati u prah materijal od koga je sagrađena. Zato se i govori da nuklearna eksplozija koncentriše suviše snage na jednom užem prostoru i da bi bilo mnogo bolje kada bi se ta snaga ravnomernije podelila na veću površinu, što se može postići samo ako se »kritična masa« smanji.

Prema načinu kako se neko nuklearno oružje dovodi do cilja postoji nekoliko tipova nuklearnog oružja različite jačine — neki slabiji od klasične (nominalne) atomske bombe bačene na Japan, a neki i daleko jači od nje.

⁵⁾ Sada se smatra da je cena jedne nominalne atomske bombe nešto manja od milion dolara, a postoje tipovi aviona bombardera koji su znatno skuplji.

Najuobičajenija vrsta nuklearnog oružja je atomska bomba koju avion nosi do cilja. Nuklearno oružje može biti i u vidu dirigovanog reaktivnog projektila, sličnog nemačkim raketima V-1 i V-2, ili u vidu atomskog topa, odnosno topovskog zrna sa nuklearnim eksplozivom.

Karakteristike dejstva nuklearne eksplozije

Karakteristike i načini dejstva su isti kod svih vrsta nuklearnog oružja. To znači da će kod atomskih bombi veće jačine od »nominalne« bombe bačene na Japan (tj. i kod termonuklearnog oružja) biti veća rušilačka snaga, veći opseg efikasnog dejstva, veća površina razaranja, ali će načini dejstva i uništavanja žive sile i materijala — ostati isti. Prema tome, dovoljno je posmatrati eksploziju samo »nominalne« atomske bombe i na njenom primeru uočiti sve ono što će važiti i za druga nuklearna, pa i termonuklearna oružja, slabija ili jača od nje.

Nuklearno oružje može se dovesti do eksplozije u vazduhu (na većoj ili manjoj visini), na samoj površini zemlje, pod zemljom i pod vodom. Zato se i govori o vazdušnoj, površinskoj (ili na maloj visini), podzemnoj i podvodnoj eksploziji. Sva ova četiri načina imaju svoje osobenosti kako u pogledu opsega i jačine dejstva, tako i u pogledu dužine trajanja pojedinih dejstava nuklearne eksplozije. Ali, u svakom slučaju, efekti i mehanizam dejstva ostaju isti.

Eksplozija običnog eksploziva, ili obične avionske bombe, dejstvuje vazdušnim udarom ili toplotom koju oslobodi prilikom eksplozije. Pri eksploziji običnog eksploziva oslobodi se velika količina gasova, koji imaju veliku kinetičku energiju, tj. veliku brzinu, stvarajući udarni talas koji ruši i ranjava.

I nuklearna eksplozija stvara udarni talas i toplotu, samo su udarno i toplotno dejstvo nuklearne eksplozije daleko veći. U momentu nuklearne eksplozije stvara se izvanredno visoka temperatura od preko milion stepeni, zatim vrlo visoki pritisak u centru eksplozije (nekoliko stotina hiljada atmosfere) i ogromne brzine čestica (molekula) okolnog vazduha. Zbog toga nastaje izvanredno jak i brz udarni vazdušni talas dalekog dometa i silne rušilačke snage. Ovaj udarni talas (tj. gasovi sa visokim natpritisakom) širi se veoma brzo unaokolo gde je atmosferski pritisak daleko niži. Ovo potiskivanje vazdušnih masa ustvari pretstavlja udarni talas. Pošto nuklearna eksplozija stvara tako visoku temperaturu, prirodno je što toplota zrači na veliko otstojanje od mesta eksplozije. Iako su eksplozivno i toplotno dejstvo daleko jači nego kod klasičnih bombi, ipak se samo kod nuklearne eksplozije javlja radioaktivno dejstvo, koje je utoliko značajnije i opasnije što ga naša čula ne osećaju i što može biti smrtonosno za živu silu. Ono nastaje usled radioaktivnog zračenja koje se javlja u momentu same eksplozije, a i dosta dugo posle nje može da bude opasno.

Trebalo bi još naglasiti da se kod nuklearne eksplozije svaki deo udarnog talasa kreće brže od prethodnog dela i da ga tako sustiže. To je t.zv. **rušeći udarni talas**, čije se **čelo udara** ponaša kao neki **pokretni zid jako zbivenog** vazduha ili vode.

Pojedini načini dejstva nuklearne eksplozije zavise od niza okolnosti, naprimer, od toga da li je eksplozija u vazduhu, na površini zemlje, pod zemljom ili pod vodom. Neki zavise i od meteoroloških uslova.

Nuklearna eksplozija u vazduhu

Smatra se da će se nuklearne eksplozije najčešće odigravati u vazduhu, na visini od 600—700 m za otkriveno zemljište, i na visini od 300 m za naseļjena mesta sa jačim građevinama ili za jače utvrđene položaje i uopšte otpornije ciljeve. Na kojoj će visini biti eksplozija, zavisi od vrste i značaja cilja, od konfiguracije terena, od stepena obezbeđenja neprijateljskih trupa, od daljih namera onoga koji primenjuje nuklearnu eksploziju, kao i od niza drugih okolnosti.

U momentu eksplozije javlja se izvanredno jak svetlosni blesak, koji čitavu okolinu osvetli daleko jače nego sunce. Na mestu eksplozije najpre se vidi veoma svetla kugla od usijanih gasova, t. zv. **vatrena lopta**, koja se veoma brzo širi i hladi. Čak i kada ima prečnik od 30 m, ona je oko 100 puta sjajnija od sunca. Primarno dejstvo eksplozije u vidu udarnog, toplotnog i radioaktivnog dejstva traje samo 10 sekundi posle eksplozije. Ubrzo posle toga stvara se karakterističan oblak u vidu »pećurke« koji se sastoji od vodene pare, kao i od materijala atomske bombe, koji je ispario. Naime, gasoviti sastojci prelaze u čvrste i tečne čestice čim se ohlade, tako da postaju vidljivi i stvaraju oblak. Ako atomska bomba eksplodira na visini manjoj od 150 m, vatrena lopta će dođirnuti površinu zemlje, te će u ovaj oblak ući i znatna količina isparenih sastojaka zemlje. Posle izvesnog vremena čestice oblaka padaju na zemlju, najčešće daleko od mesta eksplozije, dokle će ih razvejati vetar koji se stvara pri eksploziji (ako je visina eksplozija veća od 600 m, tada neće biti taloženja ovih čestica, odnosno »radioaktivne prašine«, u tolikoj meri da bi predstavljala opasnost). Visina oblaka — pećurke zavisi od jačine bombe i visine eksplozije, ali obično dostiže 10—15.000 m.

Udarno dejstvo

Već je napomenuto da se pri svakoj eksploziji javlja udarni talas koji se širi u svima pravcima od mesta eksplozije. To je ustvari, jako zbijeni vazduh čiji je pritisak znatno veći od atmosferskog. Odmah posle eksplozije pritisak skoro trenutno raste do maksimuma, a zatim postepeno opada i, jedno vreme, postaje čak manji od atmosferskog pritiska. Ovo izaziva stvaranje okolnih vazdušnih masa (koje su prethodno bile potiskivane od centra eksplozije na sve strane) sada baš ka centru eksplozije. Zbog toga se pojavljuje vrlo jak i dugotrajan vetar, naizmenice u oba smera — od »nulte« tačke⁶⁾ i ka njoj. Pošto ovaj vetar silom svoga pritiska dugo opterećuje

⁶⁾ »Nulta« tačka je mesto na zemljištu iznad koga se dogodila nuklearna eksplozija. To je, ustvari, vertikalna projekcija mesta eksplozije na površinu zemlje.

okolne građevinske objekte, on izaziva veće oštećenje nego da je trenutnog dejstva (kao pri eksploziji običnih bombi).

Snaga udara klasičnih eksplozivnih bombi, koje se obično podešavaju da eksplodiraju na površini zemlje ili nešto ispod nje, upravljena je naviše, vršeci potpuno razaranja u neposrednoj blizini eksplozije i zahvatajući mali prostor svojim udarnim talasom. Naprotiv, atomska bomba, eksplodirajući visoko u vazduhu, izaziva sasvim različite efekte od učinaka obične eksplozivne bombe. Udarni talas nuklearne eksplozije širi se na sve strane u vidu lopte, kao neki džinovski mehur sapunice. Na taj način u »nultoj« tački ovaj talas pada vertikalno na površinu zemlje, a pod izvesnim uglom u odnosu na ostale tačke na zemljištu, koje su udaljenije od »nulte« tačke. Zato, naprimer, neki stub (drvo ili fabrički dimnjak i sl.) koji se nalazi direktno ispod eksplozije bombe može da ostane neoštećen, a ako se nalazi nešto dalje — može biti uništen.

Udarni talas se odbija od zemljišta tako da se tada u isti mah šire i odbijeni i prvobitni udarni talas, presecajući se u nekim tačkama. Zbog toga se prvobitni udarni talas pojačava odbijenim talasom, stvarajući udarni zid koji može biti 2—8 puta jači od prvobitnog udarnog talasa. To je t.zv. »Mahov efekat«, koji je, naprimer, u Japanu izazvao i neke prividne anomalije, jer su neke građevine bile oštećene i na znatnim otstojanjima, dok su druge, bliže, ostale neoštećene.

Jačina udarnog talasa (koja se meri atmosferama), kao i štete koje pričinjava na raznim otstojanjima od »nulte« tačke, vidi se iz tabele 1.

Tabela 1

Efekti eksplozije atomske bombe od 20 KT u vazduhu

Brzina vetra u km/čas	Trajanje vetra u sekundama	Natpritisak u kg/cm ²	Otstojanje od »O« tačke u km	VRSTE OŠTEĆENJA
80	1,25	0,10	3,6	Lake štete (razbijanje prozora i vrata i umerene štete na malteru zidova).
95	1,23	0,12	3,3	Ugljenisanje telefonskih stubova. Oštećenje krovova i maltera kod čelično ramovskih konstrukcija. Delimične štete na objektima u polju.
110	1,20	0,14	3,0	Šteta od eksplozije na većini kuća. Ozbiljne štete od požara. Paljenje suvog zapaljivog materijala.
130	1,15	0,17	2,7	Teže štete na malteru zidova i tavanica.

Brzina vetra u km/čas	Trajanje vetra u sekundama	Natpritisak u kg/cm ²	Otstojanje od „O“ tačke u km	VRSTE OŠTEĆENJA
160	1,12	0,20	2,4	Ozbiljne štete na kućama, teže štete na ramovima prozora i vrata.
200	1,06	0,25	2,1	Štete u strukturi višespratnih zgrada od cigalja. Crepovi na krovu su po površini stopljeni.
255	0,98	0,36	1,8	Ozbiljne štete na strukturi zgrada sa čeličnim ramom. Umerena rušenja. Ozbiljne štete na celom prostoru. Višespratne zgrade od cigalja porušene.
320	0,90	0,52	1,5	Ozbiljno porušeni zidovi od cigalja debljine 30 cm. Čelične ramovske konstrukcije razorene. Lake betonske zgrade srušene.
430	0,77	0,70	1,2	Armirano-betonski dimnjaci, debljine zidova 20 cm, pretureni. Zidovi od cigalja debljine 45 cm potpuno razrušeni.
610	0,62	1,12	0,9	Verovatno su sve zgrade potpuno porušene, sem armirano-betonskih otpornih prema zemljotresima.
880	0,45	1,68	0,6	Granica ozbiljnih oštećenja kod armirano-betonskih građevina otpornih prema zemljotresima. Armirano-betonske zgrade su sklone rušenju (debljine zidova 25 cm i tavanice 15 cm).
1300	0,37	2,52	0,3	Rušenje teških čelično ramovskih konstrukcija. Pomicanje kolovozne čelične ploče na mostovima.

Na stepen oštećenja jako utiče konfiguracija terena. Udarni talas može biti odbijen ili skrenut ustranu od brežuljka. On može preskočiti udaljice, ali može biti pojačan u klisurama.

Na stepen oštećenja nadzemnih objekata utiču i mnogi drugi činioci: otstojanje od »nulte« tačke, visina eksplozije, pravac udarnog talasa u odnosu

na dužu stranu objekta, oblik i veličina objekta, a naročito njegova izdržljivost — jačina njegove građevinske konstrukcije. Zaštita ovih objekata od strane drugih, okolnih građevinskih objekata igra daleko manju ulogu kod nuklearne eksplozije nego kod eksplozije običnih bombi. Sem toga, što je veća visina eksplozije, tim je manja zaštita od strane tih okolnih objekata.

Pri nuklearnoj eksploziji u vazduhu javlja se podrhtavanje tla, kao kod manjeg zemljotresa koji ne izaziva štetu. Pa ipak, ovo može izazvati oštećenje nekih objekata, naročito onih koji su plitko ukopani. U svakom slučaju, podzemni objekti srednje jačine neće biti oštećeni čak ni onda kada se nalaze u neposrednoj blizini »nulte« tačke.

Za totalno rušenje jednog km² zemljine površine, prema iskustvima iz Drugog svetskog rata, bilo je potrebno oko 750 t običnih bombi. Prema tome, misli se da bi u Hirošimi ista oštećenja od eksplozije i požara bila proizvedena i da je umesto atomske bombe bačeno 325 t eksplozivnih i 1.000 t zapaljivih bombi. Oдавde proizilazi da rušilačko dejstvo nominalne atomske bombe nije ravno dejstvu 20.000 t trotila (mada je tolika njena energija), već odgovara dejstvu oko 1.500 t klasičnih avio-bombi.

Ostojanja za razne vrste oštećenja od atomskih bombi veće snage od nominalne menjaće se približno sa kubnim korenom njihove energije. To znači da bi atomska bomba, koja bi imala 1.000 puta veću energiju od nominalne bombe, imala svega 10 puta veće ostojanje efikasnog dejstva od ostojanja efikasnog dejstva nominalne bombe.

Direktno dejstvo udarnog talasa ne pretstavlja tako veliku opasnost po živu silu kao njegovo indirektno dejstvo. Naime, pokazalo se da čovek može izdržati čak i pritisak koji ruši desetospratnu zgradu. Ali, zato ljudi ginu ili bivaju ozleđeni od komada i stakla građevina koje se ruše, kao i od kontuzija (usled pada na zemlju i udara o okolne predmete).

Toplotno dejstvo

Pri nuklearnoj eksploziji nominalne atomske bombe oslobodi se toliko toplote koliko pri sagorevanju 5.000 t nafte ili 7.000 t odličnog kamenog uglja. Toplotni zraci ove eksplozije prostiru se kroz vazduh brzinom svetlosti i u blizini »nulte« tačke stvaraju temperaturu od 3.000—4.000° C, ali samo u trajanju od svega 3 sekunde. Pošto ovo zračenje traje tako kratko vreme to i najmanja zaštita može da bude vrlo efikasna, tako da i obično odelo štiti na ostojanju većem od 1,5 km od »nulte« tačke. Efikasnost ove zaštite u velikoj meri zavisi od toga kako zaštitni materijal apsorbuje toplotne zrake. Svetlo-obojeni materijal odbija znatan deo toplote, i pruža bolju zaštitu, nego isti materijal zagasitije boje. Toplotno dejstvo na raznim ostojanjima od »nulte« tačke i na različitom materijalu, vidi se iz tabele 2.

Na efikasnost i jačinu toplotnog dejstva znatno utiču prašina, izmaglica i dim koji se nalaze u vazduhu. Zato se ne mogu odrediti jačine dejstva koje bi važile za sve uslove. Po vedrom danu, lice koje se nalazi na otvorenom polju i na oko 2 km od »nulte« tačke zadobiće teže opekotine na nezaštićenim delovima tela. Ali ako ima izmaglice ili dima u vazduhu, ovo

Tabela 2

Uticaj toplotnog dejstva na pojedine materijale

Vrsta materijala	Dejstvo	Količina primljene toplote u cal/cm ²	Otstojanje efikasnog dejstva
Ljudska koža	umerene opekotine	3	2800 m
Ljudska koža	lake opekotine	2	3200 m
Beli papir	ugljeniše se	8	2000 m
Beli papir	zapali se	10	1800 m
Crni papir	zapali se	3	2800 m
Drvo	ugljeniše se	8	2000 m
Drvo	zapali se	25	1300 m
Pamučno odelo	površina nagori	10	1800 m
Pamučno odelo	zapali se	17	1500 m
Vuneno odelo sivomaslinaste boje	površina nagori	4	2500 m
Vuneno odelo sivomaslinaste boje	zapali se	15	1600 m
Guma	zapali se	8	2000 m
Bakelit	ugljeniše se	75	800 m

lice na istom otstojanju može proći i bez opekotina, čak i ako ničim nije zaštićeno.

Toplotno dejstvo pretstavlja veću opasnost po živu silu nego po materijal. Smatra se da je ono kod nuklearnih eksplozija u Japanu izazvalo 20—30% smrtnih slučajeva i oko 70% od svih ozleđa. Ovo dejstvo izaziva masovne požare koji pretstavljaju veliku opasnost. Širenje požara je naročito omogućeno »požarnom olujom« koja traje 2—3 časa. To je, ustvari, jak vetar, brzine 45—65 km/čas, koji duva sa svih strana prema zapaljenoj površini. Pojavu »požarne oluje« uslovljava i konfiguracija terena, zbivenost zgrada, gustina šume i sl. Zato se ona ne mora javiti na brežuljkastom terenu. Pojava »požarne oluje« uočena je i pri masovnom bombardovanju zapaljivim bombama, kao i pri šumskim požarima velikih razmera.

Mnogi požari, koji se jave nešto dalje od »nulte« tačke, mogu biti ugašeni udarnim talasom koji nailazi iza toplotnog zračenja stvorenog u momentu eksplozije, pošto se udarni talas kreće sporije od njega.

Požari od nuklearne eksplozije ne razlikuju se od požara izazvanih zapaljivim bombama. Reke ili veće slobodne površine (parkovi, trgovi i sl.) ne predstavljaju protivpožarne prepreke ako nisu šire od 30 m.

Radioaktivno dejstvo

Radioaktivno zračenje sastoji se iz alfa, beta i gama zrakova i neutrona. U samom momentu nuklearne eksplozije i u toku jednog minuta posle nje javlja se tzv. **primarno (početno) zračenje**. Ono se sastoji iz gama zrakova i neutrona. Dejstvo neutrona na 800 m ne predstavlja smrtnu opasnost, dok su gama zraci opasni na skoro dva puta većem otstojanju.

Sekundarno (naknadno) zračenje je daleko manje opasno od primarnog zračenja. Ono se uglavnom pojavljuje u vidu radioaktivne prašine koju stvaraju neraspadnuti delovi nuklearnog eksploziva, kao i radioaktivni elementi stvoreni fisijom pri samoj eksploziji. Ono može da potiče i od običnog materijala na površini zemlje koji je, usled dejstva neutrona, postao veštački radioaktivan. To se može desiti samo kod eksplozije na visini manjoj od 150 m, a naročito kod podzemne i podvodne eksplozije. Na jačinu i vreme trajanja radioaktivnosti utiče hemiski sastav zemljišta. Jačina zračenja svih radioaktivnih materijala opada tokom vremena, ali se na brzini tog opadanja ne može uticati nikakvim sredstvima. Iako vreme poluraspadanja radioaktivnog materijala⁷⁾ kod nekih hemiskih elemenata iznosi samo delić sekunde, a kod drugih desetine hiljada godina, pa i više, ipak se radioaktivnost produkata nuklearne eksplozije vrlo brzo smanjuje. Već posle jednog sata od eksplozije ona iznosi svega 5% od one na 5 minuta posle eksplozije, a posle jednog dana svega 1%. Grubo uzeto, jačina radioaktivnog zračenja posle 10 časova opadne na deseti deo početne jačine.

U tabeli 3 izloženi su dometi svih dejstava eksplozije atomske bombe na pojedine ciljeve na raznim otstojanjima.

Eksplzija na površini zemlje ili na maloj visini

Ako bomba eksplodira na samoj površini zemlje ili na visini manjoj od 150 m, onda će vatrena lopta dodirnuti površinu zemlje. Zato se i posledice ovakve eksplozije razlikuju od učinka eksplozije visoko u vazduhu. Naime, dejstvo udarnog talasa je mnogo jače u neposrednoj blizini eksplozije, ali je zato površina oštećenja znatno manja. U ovom slučaju se ne pojavljuje ni »Mahov efekat«. Prema tome, kada se želi da jedna atomska bomba proizrokuje što veću štetu i na što **većoj površini**, neće se primeniti eksplozija na površini zemlje ili blizu nje, već na visini od 600—700 m, a katkada i na visini od 300 m.

I kod ovakve eksplozije trenutno se oslobađaju gama zraci velikog intenziteta, samo što u ovom slučaju okolni objekti mogu da pruže neku zaštitu objektima koji su nešto udaljeniji. Sekundarno (naknadno) zračenje ovde

⁷⁾ Vreme poluraspadanja je ono vreme kada se 50% radioaktivnog materijala raspadne i stvori neradioaktivne čestice.

je mnogo jače nego kod eksplozije visoko u vazduhu. Kod eksplozije blizu površine zemlje (ili na samoj površini) gustina neutrona je tako velika da stvara znatnu količinu veštački radioaktivnog materijala. Sem toga, mnogi produkti fisije mogu se stopiti sa zemljom. Ovde je i daleko veća količina radioaktivne prašine, koja posle eksplozije pada na površinu zemlje i u blizinu mesta eksplozije. U zavisnosti od jačine i pravca vetra ova prašina može padati 25—30 km daleko od mesta eksplozije, ali tada neće imati neke opasnije posledice.

Tabela 3

Eksplzija u vazduhu (maksimalni dometi svih dejstava atomske bombe jačine 20 KT)

Vrste ciljeva	Teški gubici	Srednji gubici	Laki gubici
Trupe na otvorenom zemljištu (nezaklonjene)	1.800 m	2.400 m	3.300 m
Trupe u streljačkim zaklonima poluukopanim i duboko-ukopanim	600 m	1.000 m	1.800 m
Trupe u šumi	1.600 m	2.100 m	3.000 m
Trupe u streljačkom zaklonu u šumi	1.100 m	1.600 m	2.100 m
Trupe u tenkovima (neposredno dejstvo)	500 m	700 m	900 m
Trupe u tenkovima (naknadno dejstvo)	900 m	1.100 m	1.300 m
Tenkovi	400 m	600 m	1.400 m
Vozila	1.000 m	1.600 m	2.400 m
Artiljeriska oruđa	500 m	1.000 m	1.600 m
Elektronska oprema	1.100 m	1.800 m	2.400 m

Teški gubici su kada je 100% ljudstva povređeno (od kojih 50% ubijenih), *srednji gubici* kada je 50% ljudstva povređeno (od kojih 10% ubijenih), a *laki gubici* kada je 10% ljudstva povređeno (od kojih je samo mali broj poginulih).

Teški su gubici kod naoružanja-opreme kada je potrebna generalna popravka ili potpuna zamena; *srednji* kada su potrebne velike opravke, a kod nekih delova i potpuna zamena; *laki gubici* kada su potrebne male opravke radi dovođenja u u stanje sposobno za upotrebu (te se može upotrebiti u istoj taktičkoj situaciji).

Otstojanja su zaokrugljena na 100 m tačnosti, pošto veća tačnost nema smisla usled i inače grube podele prema jačini gubitaka i mnogih specifičnosti svake konkretne situacije (tačna visina eksplozije, providnost vazduha i dr.).

Eksplוזija na površini zemlje izaziva slične potrese kao i zemljotresi na maloj dubini, tako da nisu od većeg značaja.

Stepen oštećenja ove eksplozije zavisi od vrste zemljišta, kao i od blizine slojeva dubinskih stena. Dejstvo će se protegnuti na veće otstojanje ako se slojevi stena nalaze blizu površine zemlje, zato što se eksplozivni talasi odbijaju o te slojeve. Sem toga su i pritisci na vlažnom glinovitom zemljištu do 10 puta veći nego kod običnog zemljišta.

Eksplוזija pod zemljom

Pošto je eksplozija pod zemljom dosada izvedena samo na sasvim malim dubinama od nekoliko metara (koliko se atomska bomba prilikom pada zarila u meko zemljište) to se i njeno dejstvo može samo pretpostavljati. Ovde bi se udarni talas kretao kroz zemlju i izazivao neku vrstu zemljotresa koji bi nanosio vrlo veliku štetu građevinskim objektima u neposrednoj blizini mesta eksplozije. Vazdušni udar i toplotno zračenje bili bi apsorbovani od okolne zemlje, dok bi dejstvo primarnog zračenja (gama zrakova i neutrona) bilo beznačajno, a sekundarno (naknadno) vrlo znatno, tako da bi i kontaminacija okolnog zemljišta bila velika, zato što bi velike količine radioaktivne prašine zasule okolno zemljište i što bi sastojci zemljišta u neposrednoj blizini eksplozije, usled dejstva neutrona, u znatnoj meri postali veštački radioaktivni. Ako bi eksplozirala na dubini od 13 — 17 m, atomska bomba bi izazvala oštećenja u poluprečniku 2 — 3 puta manjem nego pri eksploziji u vazduhu (na visini od 600 m). Tom prilikom stvorio bi se krater dubine 30 — 35 metara i prečnika oko 260 metara. Svakako, dubina i prečnik kratera zavise i od vrste samog zemljišta. Međutim, ako bi bilo stenovitih slojeva na dubini manjoj od 100 m, oblast razaranja bi se znatno povećala. Ona bi oštetila i razna podzemna postrojenja (podzemne hodnike i objekte stalne fortifikacije, kanalizaciju, vodovod i sl.).

Eksplוזija nad vodom i pod vodom

Pri eksploziji nad vodom dobija se slična slika kao i kod eksplozije nad zemljom i na istoj visini, tako da bi i oštećenja na obalskim zgradama i postrojenjima bila slična i na približno istim otstojanjima kao i kod obične vazdušne eksplozije. Brodovi su trpeli teža oštećenja i na udaljenju od 800 — 1000 m, umerena oštećenja do 1.500 m, a neznatne štete i do 2.000 m. Brodovi sa parnim kotlovima bili su teže oštećeni nego ostali brodovi, a brodske mašine i unutrašnji uređaji trpe manju štetu kada se zatvore svi otvori na brodu.

Podvodna nuklearna eksplozija sasvim se razlikuje od eksplozije u vazduhu, jer se toplotno i primarno radioaktivno dejstvo mogu skoro zanemariti, dok je sekundarno zračenje veoma veliko. Udarni talas može potopiti i najjači brod na daljini od 600 m, a teško ga oštetiti i do 1.500 m. Ovde se produkti fisije nalaze potpuno u vodi i sa vodom lete naviše u obliku ogromnog vodoskoka vodenih kapljica. Ovaj vodeni stub pada vrlo brzo natrag u vodu, zajedno sa produktima fisije, stvarajući »oblak u podnožju vodenog stuba«

od radioaktivne magle koju ovaj stub vode i vodenih kapljica izbacuje iz sebe. Oblak dostiže visinu od oko 600 m i iz njega pada radioaktivna kiša koja traje skoro čitav sat. Mada je ovaj oblak vrlo radioaktivan, ipak ova kiša brzo istaloži sve radioaktivne materije.

Udarni talas podvodne eksplozije prolazi kroz vodu naviše i stvara karakterističan oblak u vidu kubeta. Ovaj se oblak neće pojaviti, ako se eksplozija dešava na velikoj dubini. A ako je mala dubina eksplozije, tada lopta vrelih gasova izbacuje vodu uvis u vidu šupljeg cilindra (»šuplji vodeni stub«). Radioaktivni produkti fisije izlaze kroz šupljinu ovog cilindra i na njegovom vrhu prave karakterističnu glavu »pečurku«. Prečnik vodenog stuba dostiže 500 — 600 m, a visinu 2.000 — 3.000 m. Pošto debljina njegovih zidova ide i do 100 m, on sadrži oko milion tona vode. Misli se da se i kod nuklearne eksplozije u mekom zemljištu (močvaran ili peskovit teren) može pojaviti sličan šuplji stub od čvrstih čestica mulja ili peska koje bi bile vrlo radioaktivne.

Kod podvodne eksplozije najveću štetu izaziva udarni talas, naročito ako je voda plitka, jer se tada ovaj talas odbija od dna i pojačava udarno dejstvo. Odmah po izbijanju udarnog talasa na površinu vode javlja se niz vodenih talasa koji se ređaju jedan za drugim (kao kada se baci kamen u vodu). Visina prvih talasa ide i do 30 metara, a brzina u početku i 60 km/čas, koja ubrzo posle toga opada. Ovi talasi mogu izazvati eroziju obližnje obale. Posle podvodne eksplozije nastaje žestoka oluja, slično kao i kod eksplozije u vazduhu.

Sekundarno radioaktivno zračenje je najkarakterističniji efekat podvodne eksplozije. Ono kontaminira⁸⁾ okolnu vodu, obližnje zemljište i sve predmete na vodi i zemljištu, jer se velike količine radioaktivnih čestica lepe za površinu predmeta i zemljišta. Međutim, ovako kontaminirani predmeti nisu i sami postali radioaktivni, tako da i ne pokazuju nikakvu radioaktivnost čim se radioaktivne čestice uklone sa njihove površine.

*

Ovde su iznete samo one najbitnije karakteristike i podaci o nuklearnoj eksploziji koji su potrebni za bolje razumevanje taktičkih problema vezanih za nuklearno oružje.

⁸⁾ Zagađuje radioaktivnim materijalom.