

GLAVA VIII¹

NAKNADNA* NUKLEARNA ZRAČENJA I ZATROVANJE (KONTAMINACIJA)

A. U V O D

UZROCI NAKNADNIH ZRAČENJA

8.1 — Naknadna nuklearna zračenja, to jest zračenja koja se emituju jedan minut posle trenutka atomske eksplozije, nastala bi uglavnom od produkata cepanja, u manjoj meri od uranijuma 235 ili plutonijuma 239 koji su izbegli cepanje pri atomskoj eksploziji i, pod izvesnim okolnostima, od aktivnosti koju su izazvali neutroni kod različnih elemenata koji se nalaze u zemlji ili u moru. Svaki radioaktivni materijal koji je rasejan i znatno razblažen u atmosferi može se zanemariti. Ali materijal koji je dopro u znatnim količinama do nastanjene površine zemlje, naprimjer usled taloženja aktivnog materijala iz radioaktivnog oblaka (§ 2.29), velikog talasa u podnožju vodenog stuba (§ 2.45), ili podzemne eksplozije, može da pretstavlja ozbiljnu fiziološku opasnost. Pored toga, postoji mogućnost koja se ne sme zanemarivati mada nije mnogo verovatna, da se radioaktivni materijal može namerno upotrebiti odvojeno od atomske eksplozije, sa ciljem da se onemoći bavljenje na nekom području.

DOZVOLJENO DOZIRANJE ZRAČENJA

8.2 — Pre nego što se pređe na detaljnije razmatranje različnih izvora naknadnih nuklearnih zračenja i njihovih osobina, učiniće se još osvrt na pitanje doziranja zračenja. U prethodnoj glavi pažnja je bila usmerena na zračenje koje se emituje u vrlo kratkom vremenskom periodu. Problem dozi-

¹) Materijal stavili na raspolaganje S. T. Cohen, L. R. Donaldson, E. S. Gilfillan, S. Glasstone, J. H. Hinds, B. Holzman, M. S. Plessel, H. Scoville Jr., R. C. Smith, J. H. Webb.

^{*)} U upotrebi su još izrazi: rezidualna, sekundarna, zaostala i dr. — Prim. prev.

ranja, koji se ponekad zove doza »primljena odjednom« (»one-shot«), bio je, dakle, potpuno različan od problema koji iskršava u slučaju naknadnih nuklearnih zračenja koja mogu da traju danima, nedeljama i mesecima²⁾). Ljudsko biće koje primi ukupnu količinu od 400 rendgena početnog nuklearnog zračenja, tj. u vremenu od jednog minuta, imalo bi 50% izgleda da preživi, ali ako se ista količina zračenja apsorbuje u toku jednog meseca verovatna smrtonosnost bila bi znatno manja.

8.3— Mada se osetljivost prema zračenju, isto kao prema drugim opasnostima po zdravlje, menja u zavisnosti od pojedinca, došlo se do izvesnih opštih zaključaka koji se odnose na doze koje se mogu izdržati. Ovi se zasnivaju uglavnom na iskustvu sa X-zracima, ali postoje jaki razlozi verovanju da se nuklearna zračenja, kao što su beta i gama zraci, ponašaju na sličan način pri čemu se u svakom slučaju fizioška povreda pripisuje nastaloj ionizaciji koja direktno ili indirektno proizlazi iz apsorpcije zračenja.

8.4— Po ispitivanju svih raspoloživih podataka Komitet SAD za zaštitu od X-zraka i radijuma zaključio je 1936 godine da je za čoveka najveća dopustiva doza X-zraka ili nuklearnog zračenja, koja bi se mogla uzimati uzastopno danima, 0,1 rendgena na dan po celom telu. Drugim rečima, zamišljeno je da bi celo telo moglo da apsorbuje do 0,1 rendgena zračenja po radnom danu za dugi period vremena a da telo ne pretredi trajnu povredu. Ovaj iznos apsorpcije usvaja se kao *doza tolerancije* ili *dopustiva doza* nuklearnog zračenja. Međutim, da bi se obezbedio odgovarajući koeficijent sigurnosti za osoblje koje je izloženo zračenjima svakog radnog dana u toku više godina, usvojena dopustiva doza u SAD smanjena je sada na 0,3 rendgena nedeljno³⁾.

8.5— Trebalo bi razumeti da se ova doza sigurnosti odnosi na apsorpciju po celom telu, i za stalnu izloženost, tj. za učestanu izloženost koja se proteže za duži period vremena. Male površine mogu biti izložene mnogo većim količinama zračenja a da se ne primeti ništa drugo sem lokalnih povreda. Osim toga postoji razlika između akutne, tj. kratke ili pov-

²⁾ Za definiciju jedinice doziranja, rendgen (r), vidi § 7.41.

³⁾ Među stručnjacima koji su bili redovno izloženi zračenjima X-zrakova, koji su slični gama zracima, nema dokazanog slučaja povrede tamo gde se izloženost dužeg trajanja održavala na granici do 0,1 r na dan.

remene izloženosti i hronične izloženosti na koju se i odnosi granica tolerancije. Dakle, doza od 5.000 rendgena mogla bi se upotrebiti za lečenje ranice od raka na koži; ovo će ostaviti ožiljak, ali neće biti nikakve druge trajne posledice. Čak i celo telo može da apsorbuje 50 rendgena za jedan dan bez vidljivih povreda. Nešto veće pojedinačne doze mogu da imaju neprijatne posledice (glava XI), ali neće biti kobne ako se ne ponavljaju sledećih dana.

8.6 — Ceo predmet osetljivosti prema zračenju toliko je neodređen da je nemoguće dobiti tačne kvantitativne podatke o iznosima koji se mogu dozvoliti pod različnim uslovima. Međutim, treba očekivati da će se podaci koji su gore dati pokazati korisni kao grubi putokaz za sigurno doziranje zračenja za prosečno ljudsko biće. Izvesni pojedinci su nesumnjivo osetljiviji od drugih, ali se za praktične svrhe moraju uzeti u obzir statističke sredine.

B. IZVORI NAKNADNOG ZRAČENJA

PRODUKTI CEPANJA I NJIHOVO RASPADANJE

8.7 — Cepanje uranijuma 235 ili plutonijuma 239 završava se obrazovanjem bar 60 atomskih fragmenata, koji predstavljaju izotope od verovatno 34 različna elementa (§ 1.48). Svi su ovi izotopi nesumnjivo radioaktivni; oni se raspadaju emitovanjem beta čestica (elektrona), što je često praćeno sa jednim ili više fotona gama zračenja. Vremena poluraspada (§ 1.18) radioizotopa mogu da se menjaju od dela sekunda do mnogo godina, a produkti raspadanja obično su takođe radioaktivni. Produkti raspadanja prema prilikama mogu da imaju vreme poluraspada duže ili kraće od svojih osnovnih elemenata. Kao što je rečeno u § 1.52, svaki od 60 ili više primarnih fragmenata cepanja, pre nego što se pretvore u stabilne atomske vrste pretrpeće prosečno tri stupnja beta raspadanja praćenih često gama zračenjem.

8.8 — Jasno je da će produkti cepanja sačinjavati kompleksnu mešavinu radioaktivnih supstanci. Dalje, ukupna aktivnost produkata atomske eksplozije vrlo je velika. Računa se da će jedan minut posle detonacije nominalne atomske bombe, kada se pretpostavlja da počinje naknadno nuklearno zračenje, produkti cepanja emitovati gama zračenje ogromnom brzinom od 2.1×10^{22} mev energije u sekundu. Čak i

posle jednog časa, brzina emitovanja gama zračenja iznosiće blizu $1,6 \times 10^{20}$ mev u sekundu, tako da će gama aktivnost, mada je opala za faktor od oko 130, još uvek biti veoma velika.

8.9 — Način izražavanja brzine raspadanja koji se široko upotrebljava jeste jedinicom zvanom *kiri*, koja se definiše kao količina radioaktivnog materijala koja trpi $3,7 \times 10^{10}$ raspadanja u sekundu⁴⁾. Zbog vrlo velike aktivnosti produkata cepanja često je pogodnije da se upotrebi jedinica *megakiri* koja je jednaka 10^6 kirija i odgovara raspadanjima brzinom od $3,7 \times 10^{16}$ u sekundu.

8.10 — Pri razmatranju radioaktivnosti produkata cepanja, gama zračenje je od najvećeg značaja pošto mu je prodorna moć mnogo veća od beta čestica. Prema tome važnije je da se aktivnosti izraze gama zračenjem. U tablici 8.10 date su procenjene ukupne gama aktivnosti produkata cepanja nominalne atomske bombe, izražene u megakirijima u različna vremena posle detonacije.

TABLICA 8.10

Ukupna gama aktivnost produkata cepanja u megakirijima

Vreme	Aktivnost	Vreme	Aktivnost
1 minut	$8,2 \times 10^5$	1 mesec	2,3
1 čas	$6,0 \times 10^3$	1 godina	0,11
1 dan	133	10 godina	$0,8 \times 10^{-2}$
1 nedelja	13	100 godina	$0,6 \times 10^{-3}$

8.11 — Brzina emitovanja energije gama zraka, u bilo koje dato vreme u tablici, može se odmah dobiti korišćenjem činjenice da srednja energija gama zraka od produkata cepanja iznosi 0,7 mev. Naprimer, jedan sat posle eksplozije, kada aktivnost gama zraka iznosi $6,0 \times 10^3$ megakirija, gama fotonii se izbacuju brzinom od $6,0 \times 10^3 \times 3,7 \times 10^{16}$, tj. $2,2 \times 10^{20}$ u sekundu. Uvezši prosečnu energiju po fotonu kao 0,7 mev, brzina emitovanja energije gama zraka iznosi tada $0,7 \times 2,2 \times 10^{20}$, tj. $1,5 \times 10^{20}$ mev u sekundu. Brzine u drugo vreme mogu se dobiti na sličan način.

8.12 — Mešavina radioizotopa koji sačinjavaju produkte cepanja toliko je složena da za ukupnu brzinu raspadanja ne važi običan zakon raspadanja koji je primenjiv za proste

⁴⁾ Ovaj je broj izabran zato što je jednak brzini raspadanja jednog grama čistog radijuma.

vrste (§ 1.18). Pa ipak, nađeno je opitnim putem da se ukupna brzina emitovanja gama zrakova, u svakom trenutku t sekundi posle eksplozije nominalne atomske bombe, može izraziti sa dovoljnom tačnošću relativno prostim izrazom:

$$\text{Brzina emitovanja fotona gama zraka} = 4,1 \times 10^{24} t^{-1,2} \text{ u sekundu.} \quad (8.12.1)$$

Pošto srednja energija po fotonu iznosi 0,7 mev to izlazi da je brzina emitovanja energije gama zraka $= 2,9 \times 10^{24} t^{-1,2}$ mev u sekundu. $(8.12.2)^5$

8.13 — Brzina emitovanja beta čestica iz produkata cepanja okruglo je dva puta veća od brzine emitovanja fotona gama zraka. Otuda je, u vreme t sekundi posle detonacije, brzina emitovanja beta čestica $= 8,2 \times 10^{24} t^{-1,2}$ u sekundu, $(8.13.1)$

za celokupnu količinu produkata cepanja proizvedenih pri eksploziji nominalne atomske bombe. Prosečna maksimalna energija beta čestica izbačenih pri cepanju iznosi 1,3 mev, ali većina čestica ima manje energije, tako da je ukupna srednja vrednost oko 1/3 ove vrednosti (§ 8.43), naime oko 0,4 mev. Otuda je brzina emitovanja energije beta čestica $= 3,3 \times 10^{24} t^{-1,2}$ mev u sekundu. $(8.13.1)$

Ukupna energija beta čestica proizvedena pri cepanju slična je, dakle, po veličini energiji gama zračenja. Međutim, pošto beta čestice ne prodiru na tako velike daljine kao gama zraci, energija beta čestica bila bi od značaja samo u graničnim slučajevima. Ovo se uzima kao opšte pravilo.

8.14 — Jednačine koje su gore date pretstavljaju opadanje ukupne aktivnosti svih produkata cepanja nominalne atomske bombe, ali se odnosi iste vrste primenjuju na brzinu raspadanja bilo koje količine produkata cepanja, pod uslovom da ne bude nikakvog razdvajanja raznih prisutnih elemenata hemiskim ili drugim sredstvima. Dakle, aktivnost, izražena bilo kao broj fotona gama zraka, beta čestica ili kao odgovarajuće energije emitovane u sekundu u vremenu t sekundi posle eksplozije, data je sa

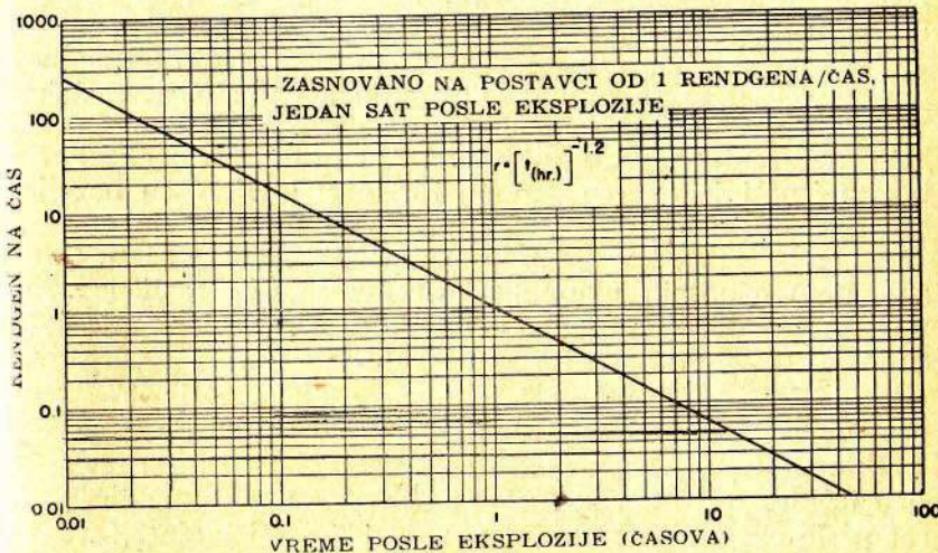
$$\text{Aktivnost} = A_1 t^{-1,2}, \quad (8.14.1)$$

⁵⁾ Dalje podatke vidi K. Way i E. P. Wigner »The Rate of Decay of Fission Products« (»Brzina raspadanja produkata cepanja«), *Phys. Rev.*, 73, 1318 (1948).

gde je A_1 odgovarajuća aktivnost određenog primerka produkata cepanja jedan sekund posle eksplozije. Vremenske jedinice ne moraju da budu u sekundima, jer ako A_1 pretstavlja aktivnost u bilo kojim izabranim jedinicama 1 minut ili 1 čas posle detonacije, onda će jednačina (8.14.1) dati aktivnost u istim jedinicama sa t u minutima ili časovima.

8.15 — U praktične svrhe korisno je da se aktivnost izvesne količine produkata cepanja izrazi brzinom doziranja u rendgenima u jedinici vremena. Ova će vrednost doziranja, bilo usled gama zrakova, beta čestica ili usled jednih i drugih, biti proporcionalna aktivnosti, tj. brzini emitovanja zrakova ili čestica ili jednog i drugog. Prema tome, brzina doziranja u rendgenima u jedinici vremena, srazmerno svakoj količini produkata cepanja, data je izrazom sličnim jednačini (8.14.1). Dakle, brzina doziranja u vreme t može se izraziti sa rendgenom u jedinici vremena = $I_1 t^{-1,2}$, (8.15.1)

gde je I_1 iznos doziranja u jedinici vremena. Količina I_1 može



Sl. 8.16 — Brzina doziranja kao funkcija vremena, prepostavljajući jedan rendgen na čas jedan sat posle eksplozije.

se odnositi na iznos doziranja koji nastaje od produkata cepanja, u rendgenima u jedinici vremena za bilo koju jedinicu vremena, tj. sekund, minut, čas itd. posle eksplozije. Jednačina (8.15.1), sa t u istim vremenskim jedinicama, daće, dakle,

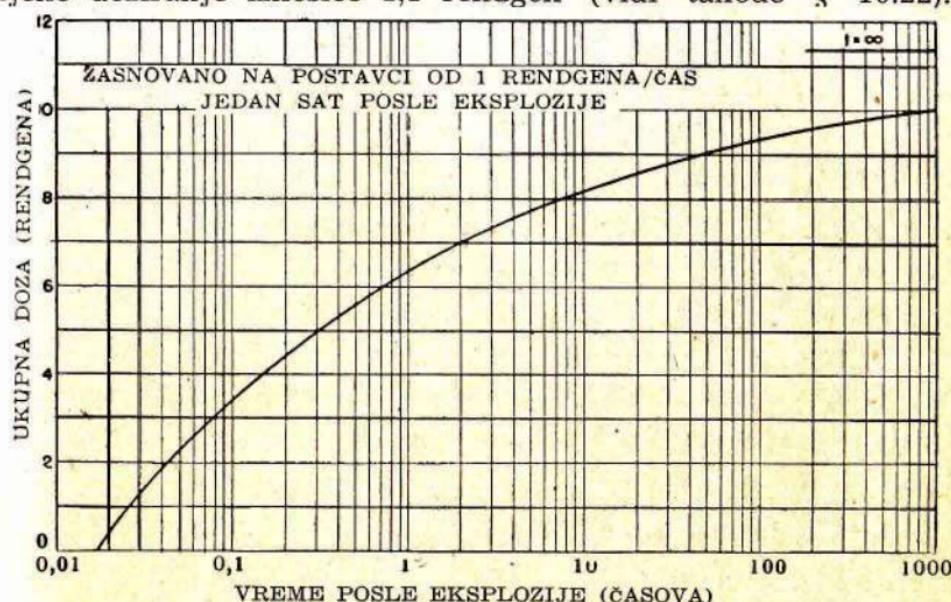
iznos doziranja posle isteka toga vremena. Prema gore uka-zanom ovaj se rezultat primenjuje na gama zrake, beta čes-tice ili na jedne i druge.

8.16 — Iste se činjenice mogu izraziti na pogodan način u obliku grafikona prema slici 8.16 koji stvarno pretstavlja jednačinu (8.14.1) u logaritamskoj razmeri sa nagibom -1,2. Pretpostavlja se da jedan sat posle atomske eksplozije brzina doziranja iznosi 1 rendgen na čas. Tada ordinate daju iznose doziranja za različno vreme u časovima. Ako bi brzina dozi-ranja posle jednog časa bila I_1 rendgena na čas, onda ostaje dalje na snazi dijagram slike 8.16, s tim da se ordinate pomnože sa I_1 . U slučaju pretpostavke da jedan minut posle atomske eksplozije brzina doziranja iznosi jedan rendgen u minutu, onda se može koristiti isti grafikon, samo što će vre-me sada biti izraženo u minutima.

8.17 — Integracijom ili sabiranjem moguće je iz slike 8.16 ili jednačine (8.14.1) odrediti ukupno doziranje u rend-genima koje bi se apsorbovalo pri neprekidnoj izloženosti zračenju produkata cepanja za različne vremenske razmake. Pošto se razmatranje u ovoj glavi odnosi posebno na naknadna zračenja, to je ukupno doziranje sračunato za različna vremena, počevši od jednog minuta posle eksplozije. Rezul-tati, osnovani na pretpostavci da jedan sat posle eksplozije brzina iznosi jedan rendgen na čas, pretstavljeni su na slici 8.17. Ako je brzina doziranja za jedan sat I_1 rendgena po času, onda treba, kao i ranije, pomnožiti ordinate sa I_1 . Odu-zimanjem odnosnih ukupnih doziranja sa dva različna vre-mena posle atomske eksplozije dobija se odmah doziranje koje se primi u tom vremenskom intervalu.

8.18 — Radi ilustracije primene slika 8.16 i 8.17 pretpostavimo da je po isteku dva časa posle eksplozije izmerena brzina doziranja 1,5 rendgena na čas. Prava povučena kroz ovu tačku paralelna sa pravom na slici 8.16 pokazuje da jedan sat posle eksplozije brzina doziranja treba da bude 3,4 rend-gena na čas. Iz slike 8.17 vidi se da će lice, koje je ostalo u oblasti u kojoj vrednost doziranja sat posle eksplozije iznosi jedan rendgen na čas, primiti ukupno 7,00 rendgena naknadnog zračenja u toku od dva sata posle atomske eksplozije, 7,32 rendgena za tri sata itd. Usled toga, u slučaju koji se raz-matra, odgovarajuća doziranja biće za 3,4 puta veća, naime, 23,8 rendgena posle dva sata i 24,9 rendgena posle tri sata od

detonacije. U periodu od dva do tri sata posle eksplozije primljeno doziranje iznosiće 1,1 rendgen (vidi takođe § 10.22).



Sl. 8.17 — Ukupno akumulirana doza od jednog minuta posle eksplozije kao funkcija vremena pretpostavljajući 1 rendgen/čas na jedan sat posle eksplozije.

IZAZVANA (INDUCIRANA) AKTIVNOST NEUTRONA

8.19 — Drugi izvor naknadnog nuklearnog zračenja koji može biti od značaja naročito u slučaju niske eksplozije, potiče od radioaktivnosti materijala na površini zemlje, koju su izazvali neutroni koji prate proces cepanja. U § 1.25 spomenuto je da skoro svi poznati stabilni izotopi stvaraju sa neutronima reakciju vrste radijativnog zahvata (radiative capture). Neutron biva zahvaćen i u isto se vreme izbacuje foton gama zraka (§ 7.7). Gama zračenje, koje prati reakcije radijativnog zahvata, čak i ako ove reakcije nastaju na zemlji, stvarno je deo početnog zračenja te se ovde neće razmatrati. Stvar koja nas sada interesuje je činjenica da je produkt reakcije izotopen sa nuklearnim vrstama koje su uhvatile neutron i da je često radioaktivran (§ 1.26).

8.20 — Vidi se, dakle, da neutroni atomske eksplozije koji dostignu zemljinu površinu uzajamno reaguju sa elementima koji se tu nalaze i da stvaraju radioizotope. Radioizotopi se, sa vrlo malo izuzetaka, raspadaju emitovanjem negativnih

beta čestica, tj. elektrona, često praćenih gama zračenjem. Radioaktivnost koju su izazvali neutroni oslobođeni u procesu cepanja može da traje izvesno vreme i tako da doprinese aktivnosti naknadnog zračenja. Pošto intenzitet neutrona na površini zemlje brzo opada sa porastom otstojanja od bombe (§ 7.63), to bi izazvana aktivnost verovatno bila od značaja samo za relativno niske eksplozije u vazduhu, a i tada na ne suviše velikim otstojanjima od nulte tačke. Podvodne i podzemne eksplozije pretstavljaju posebne probleme o kojima će niže biti govor.

8.21 — Reakcija radijativnog zahvata neutrona atomskim jezgrima kiseonika, azota i vodonika, glavnih sastojaka vazduha i vode, daje uglavnom stabilne, tj. neradioaktivne proizvode. Zbog toga ovi elementi doprinose malo ili nimalo izazvanoj aktivnosti. Međutim silicijum, koji je najčešći sastojak zemlje, ima izotop sa masenim brojem 30 i on sačinjava oko 3% elementa i koji može da se pretvori pomoću neutrona u beta-aktivni silicijum 31. Ovaj izotop ima vreme poluraspada ispod tri časa a njegovo raspadanje očigledno nije praćeno gama zračenjem. Aluminijum, jedan od drugih običnih sastojaka zemlje, može da obrazuje izotop aluminijuma 28 ali je njegovo vreme poluraspada od 2,4 minuta toliko kratko, da ostaje vrlo malo u toku jednog sata posle atomske eksplozije.

8.22 — Najveću pažnju možda zaslužuje izazvana radioaktivnost koja se stvara kod natrijuma. Mada ga u prosečnoj zemlji ima oko 0,2%, proračuni ukazuju na mogućnost obrazovanja znatnih količina radioaktivnog natrijuma 24. Vreme poluraspada ovog izotopa iznosi 14,8 časova. On emituje beta čestice sa prosečnom energijom od oko 0,5 mev, a, što je važnije, i fotone gama zraka energije od 1,4 i 2,8 mev. Aktivnost radioaktivnog natrijuma bi se isticala i pored aktivnosti bilo koga od produkata cepanja koji može da bude prisutan. Poslednji ne sadrže natrijuma ali su se, korišćenjem razlike u brzinama cepanja, mogle otkriti znatne količine ovog elementa i u prisustvu produkata cepanja.

8.23 — Pored uzajamnog reagovanja sa materijalima koje sadrži zemlja, neutroni iz atomske bombe mogu biti uhvaćeni od drugih atomskih jezgra kao što su ona koja se nalaze u građevinskim i drugim materijalima. Od ovih su cink i bakar verovatno najpodložniji radioaktivnosti a gvožđe u manjoj meri. Nije verovatno da bi drvo i odelo razvili znatnu izazvanu aktivnost ali bi staklo, razbijeno od eksplozivnog udara,

moglo da postane radioaktivno usled prisustva silicijuma i natrijuma.

8.24 — U slučaju podzemne atomske eksplozije elementi koji se nalaze u zemlji uhvatili bi verovatno veliki deo oslobođenih neutrona, što bi dovelo do obrazovanja relativno velikih količina radioaktivnog natrijuma, silicijuma itd. U isto vreme ograničilo bi se umicanje znatnog dela produkata cepanja, tako da bi naknadno nuklearno zračenje bilo vrlo veliko u neposrednoj blizini eksplozije.

8.25 — Pošto morska voda sadrži oko 3% natrijum-hlorida, rezultat atomske eksplozije, nastale na ne suviše velikoj visini iznad morske površine ili naročito kod podvodne detonacije kao na Bikiniju, bio bi stvaranje znatnih količina radionatrijuma 24. Pored toga, obrazuje se radioizotop hleta masenog broja 38 sa mnogo kraćim vremenom poluraspada, naime, 38,5 minuta. Ove aktivne atomske vrste pretstavljaju izvesnu opasnost za život u moru.

URANIJUM I PLUTONIJUM

8.26 — Treći mogući izvor naknadnog nuklearnog zračenja je uranijum 235 ili plutonijum koji su izbegli cepanje u atomskoj bombi. Ovi se radioelementi raspadaju emitovanjem alfa čestica (§ 1.17). Usled njihovog dugog vremena poluraspada, 7×10^8 godina za uranijum 235 i $2,4 \times 10^4$ godina za plutonijum 239, aktivnost merena u kirijima je vrlo mala u poređenju sa aktivnošću produkata cepanja. Količina uranijuma 235 ili plutonijuma koja pretrpi cepanje kod nominalne atomske bombe iznosi 1 kilogram (§ 1.36); međutim, količina koja treba da se cepa mnogo je veća, pošto dejstvo nije stoprocentno te dobar deo materijala izbegne cepanje.

8.27 — Težina kritične mase materijala u atomskoj bombi iznosi prema iznetom između 1 i 100 kilograma.⁶⁾ Poslednja cifra koja se zasniva na pretpostavci da deluje (da se cepta) 1% usvojiće se za ovo razmatranje, tako da će se pretpostaviti da masa materijala koja se može cepati u nominalnoj atomskoj bombi iznosi 100 kilograma. Iz poznatih vremena poluraspada može se tvrditi da bi 100 kilograma plutonijuma imalo alfa aktivnost od 6.000 kirija; aktivnost iste težine čistog uranijuma 235 iznosila bi samo 0,2 kirija. Iz podataka u

⁶⁾ H. D. Smyth »Atomic Energy for Military Purposes« (»Atomska energija za vojne svrhe«), Government Printing Office, 1945.

tablici 8.10 vidi se jasno da bi, izraženo u megakirijima, aktivnost materijala koji se cepa bila nadmašena aktivnošću produkata cepanja i nekoliko godina posle eksplozije.

8.28 — Videće se kasnije (§ 8.46) da se alfa čestice radioaktivnih izvora uglavnom potpuno apsorbuju u jednom do dva palca vazduha. Ovo, zajedno sa činjenicom da one ne mogu da prođu kroz obično odelo, ukazuje da uranijum ili plutonijum staloženi po zemlji ne bi pretstavlјali ozbiljnu opasnost.

8.29 — Pored opasnosti usled ovih spoljnih zračenja mora se razmotriti mogućnost da uranijum ili plutonijum mogu ući u telo. Udisanje prašine koja sadrži ove elemente dovelo bi do njihovog taloženja na plućima, gde bi emitovane alfa čestice mogle da izazovu ozbiljne posledice. Zatim apsorpcija plutonijuma putem zatrovane*) hrane ili vode pretstavlja posebnu opasnost. Ovaj element, slično radijumu, teži da se koncentriše u kostima gde produženo delovanje alfa čestica iz plutonijuma može da izazove smrt (vidi glavu XI).

8.30 — S obzirom na iznetu u pogledu opasnosti trovanja plutonijomom posle detonacije atomske bombe, ispitaće se ukratko stanje. Količina plutonijuma koja izbegne cepanje ako bomba eksplodira verovatno bi bila mala, naprimjer, najviše 100 kilograma, i rasuće se na velikoj širini. Ovaj će se verovatno penjati sa atomskim oblakom, te će sačinjavati mali deo taloženja aktivnog i aktiviranog materijala iz radioaktivnog oblaka. Osim pod naročitim okolnostima, sumnja se da bi količina plutonijuma koja bi se taložila na ovaj način pretstavlјala veliku opasnost.⁷⁾

8.31 — Drugu krajnost pretstavlja mogućnost da atomska bomba ne eksplodira. U ovom će slučaju plutonijum ostati na jednom mestu, te verovatno neće dospeti u vazduh, hranu ili vodu. Možda bi najveća mogućnost trovanja plutonijom nastala od atomske bombe koja je nepotpuno eksplodirala (»fizzle«), tj. da se eksplozija prekine pre nego što

*) Uobičajeni su još i nazivi: kontaminirana, zagađena. — Prim. prev.

⁷⁾ Proračunato je da će se na mestu gde brzina doziranja usled gama zraka od produkata cepanja ima visoku vrednost od 100 rendgena na čas na jedan sat posle eksplozije, taložiti plutonijum, pretpostavljajući ukupnu masu od 100 kg, u iznosu od oko 140 mikrograma tj. $1,4 \times 10^{-4}$ grama po kvadratnom metru. Određena dopustiva laboratorijska doza za dužu izloženost, koja sadrži priličan faktor sigurnosti, usvojena je da iznosi 1 mikrogram po kvadratnom metru, pošto se sastruže sav materijal koji se može ukloniti.

nastupi masovno cepanje (§ 1.44). Opasnost bi verovatno mogla da se lokalizuje a mogli bi se preduzeti i koraci da se izbegne raznošenje materijala koji je izbegao cepanje. Uzgred budi rečeno, kao i u većini slučajeva koji prate atomsku eksploziju, koncentrisani produkti cepanja mogu predstavljati mnogo ozbiljniju opasnost nego plutonijum.

SLABLJENJE NAKNADNIH ZRAČENJA

8.32 — Slabljenje gama zračenja produkata cepanja i radioizotopa nastalih delovanjem neutrona isto je kao i slabljenje razmotreno u glavi VII za početna zračenja. Međutim srednja energija gama fotona od naknadnog zračenja, tj. od produkata cepanja, koja iznosi približno 0,7 mev, manja je od one koja nastaje zračenjem u prvom minutu posle atomske eksplozije. Iz tablice 7.22 može se videti da su koeficijenti apsorpcije znatno veći za gama zrake male energije tako da oni lakše slabe nego zraci veće energije. Ovo se takođe vidi iz potrebnih debljina raznih materijala za određeno slabljenje prema iznetom u tablici 7.37.

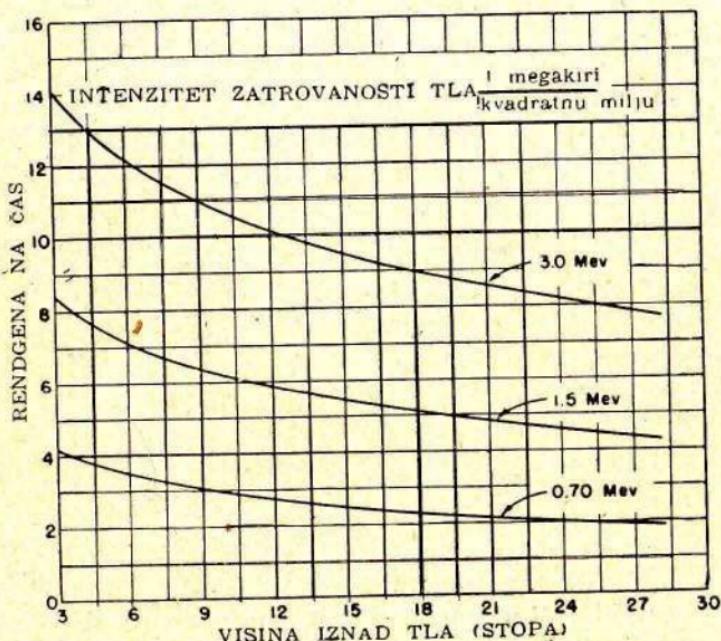
8.33 — Izvršeni su proračuni brzine doziranja u rendgenima na čas usled gama zrakova različnih energija na različnim visinama nad zemljom, pod pretpostavkom da postoji jednoliko zatrovanje radioaktivnim materijalom do iznosa od jednog miliona kirija, tj. jedan megakiriri na kvadratnu milju; rezultati ovih proračuna prikazani su na slici 8.33;⁸⁾ kriva za gama zračenje energije od 0,7 mev je naročito primenjiva na produkte cepanja. Može se videti da na oko 3 stope iznad zemlje brzina doziranja iznosi približno 4 rendgena na čas, čemu je otprilike ekvivalentno 100 rendgena na dan za zatrovavanje usled produkata cepanja od jednog megakirija na kvadratnu milju.

8.34 — Ako stvarna gustina zračenja otstupa od jednog megakirija po kvadratnoj milji, trebalo bi srazmerno pomnožiti ordinate na dijagramu. U vezi sa ovim od značaja je ispitivanje podataka u tablici 8.10 za ukupnu gama aktivnost produkata cepanja od eksplozije nominalne atomske bombe. Aktivnost od 1 megakirija po kvadratnoj milji postigla bi se ako bi na kraju 1 dana ovi produkti bili ravnomerno rasprostranjeni na površini od 133 kvadratne milje. Kod normalne

⁸⁾ Ova i tri sledeće slike zasnovane su na proračunima M. S. Plesset-a i S. R. Cohen-a.

eksplozije u vazduhu krajem prvog dana spustio bi se samo deo produkata cepanja (§ 8.67 i dalje) a prekrivena površina bila bi verovatno veća od 133 kvadratne milje.

8.35 — Proširenje problema slabljenja gama zraka atmosferom jeste pitanje otkrivanja zatrovane površine pomoću instrumenata koji se nalaze u avionu. Za ovu svrhu brzina doziranja u rendgenima po danu procenjena je na mnogo većim visinama iznad zemlje nego što je slučaj za dijagram slike 8.33. Prilikom sastavljanja ovih proračuna prepostavlja se da



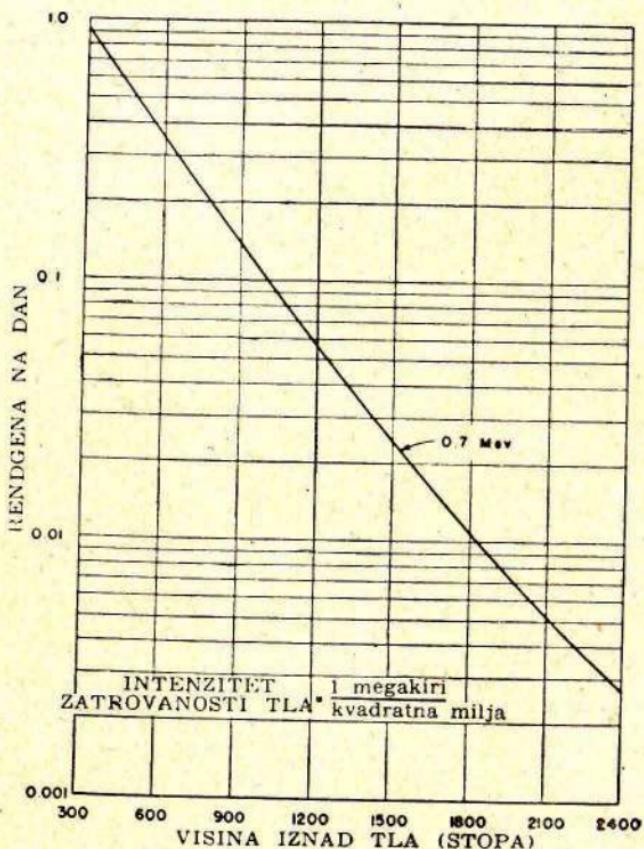
Sl. 8.33 — Brzine doziranja gama zračenja blizu tla sa intenzitetom zatrovane od 1 megakirija po kvadratnoj milji.

su dimenziije zatrovane površine zemlje velike u poređenju sa visinom aviona koji vrši ispitivanje. Pored toga, učinjena je prepostavka kao i ranije, da postoji ravnometerna radioaktivna zatrovana (kontaminacija) od 1 megakirija po kvadratnoj milji. Vrednosti na slici 8.35 su za energiju gama zračenja od 0,7 mev.

8.36 — Trebalo bi primetiti da, ako površina zemlje nije ravnometerno zatrovana kao što se gore prepostavilo, ispitivanje vazdušnim putem za utvrđivanje gustine zatrovane me-

glo bi da dâ veliku grešku. Ako je visina ispitivanja velika u poređenju sa dimenzijama preko kojih se gustina zračenja menja, ispitivanje ne bi dalo nikakav nagoveštaj o stvarnoj promeni na zemlji.

8.37 — Podvodna detonacija atomske bombe ima za posledicu radioaktivnu zatrovanost velike zapremine vode. Od interesa je dobiti izvesne podatke o brzini doziranja usled gama zračenja u vodi a takođe i na različnim visinama iznad vode. Na sl. 8.37a dati su rezultati proračuna brzine doziranja



Sl. 8.35 — Brzine doziranja gama zračenja kao funkcija visine iznad tla sa intenzitetom zatrovanosti od 1 megakirija po kvadratnoj milji.

u vodi, kao funkcija energije gama zrakova, pod pretpostavkom da postoji ravnomerna gustina zračenja od 1 kirija po kubnom jardu. Brzine doziranja na različnim visinama iznad površine vode za određene gama energije ucrtane su na sl. 8.37b, a pod

pretpostavkom da je gustina zračenja ista kao i ranije. Brzine doziranja za druge gustine mogu se dobiti vršenjem srazmernih promena u ordinatama.

BETA ZRAČENJE

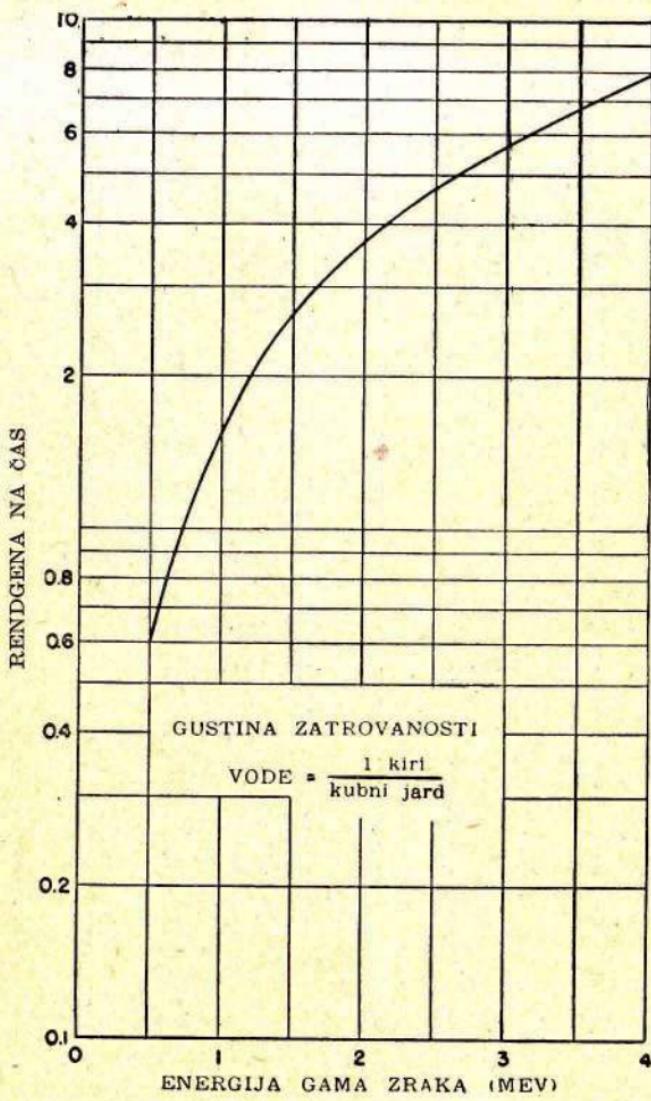
8.38 — Pri prolazu kroz materiju beta čestice, koje su elektroni koji se kreću velikom brzinom, gube energiju na dva glavna načina; naime, međusobnim reagovanjem sa elektronima, ili sa jezgrima materijala kroz koji prolaze. U prvom slučaju, koji je važniji, energija se gubi pobuđivanjem, tj. dizanjem atomskog elektrona na viši nivo energije, ili ionizacijom, tj. uklanjanjem jednog elektrona iz atoma. U slučaju reagovanja sa jezgrom, približavanje negativnog elektrona (beta čestice) atomskom jezgru završava se time što se izvensna kinetička energija elektrona (beta čestice) pretvara u elektromagnetno zračenje. Efekat postaje važan samo za velike energije beta čestice i sa porastom rednog broja sredine. Ovo je X-zračenje, obično poznato kao *Bremsstrahlung* ili, bukvalno, »kočeće zračenje«.

8.39 — U § 7.18 rečeno je da brži elektroni, koje izbacuju gama zraci pri njihovom uzajamnom reagovanju sa materijom, prouzrokuju ionizaciju a ova izaziva štetna fiziološka dejstva zračenja. Prema gore iznetom, beta čestice proizvode ionizaciju neposredno pri svom prolazu kroz materiju. Ovo treba zaista očekivati, pošto su čestice stvarno elektroni velike energije. Dejstvo beta čestica na žive organizme slično je dakle dejstvu gama zrakova a doziranje, kako u prvom tako i u drugom slučaju, može da se izradi u rendgenima.

8.40 — Korišćenjem kvantne mehanike moguće je računati nastali gubitak energije po santimetru putanje u datoј sredini usled oba spomenuta uzroka u § 8.38.⁹⁾ Rezultati su grafički prikazani na sl. 8.40, koja daje domete beta čestica različnih početnih energija u vazduhu, vodi i olovu. Domet je ovde uzet kao ukupno otstojanje koje bi beta čestice određene energije prošle kroz neku sredinu pre nego što bi se stvarno zaustavile.¹⁰⁾ Na toj tački beta čestica nije više

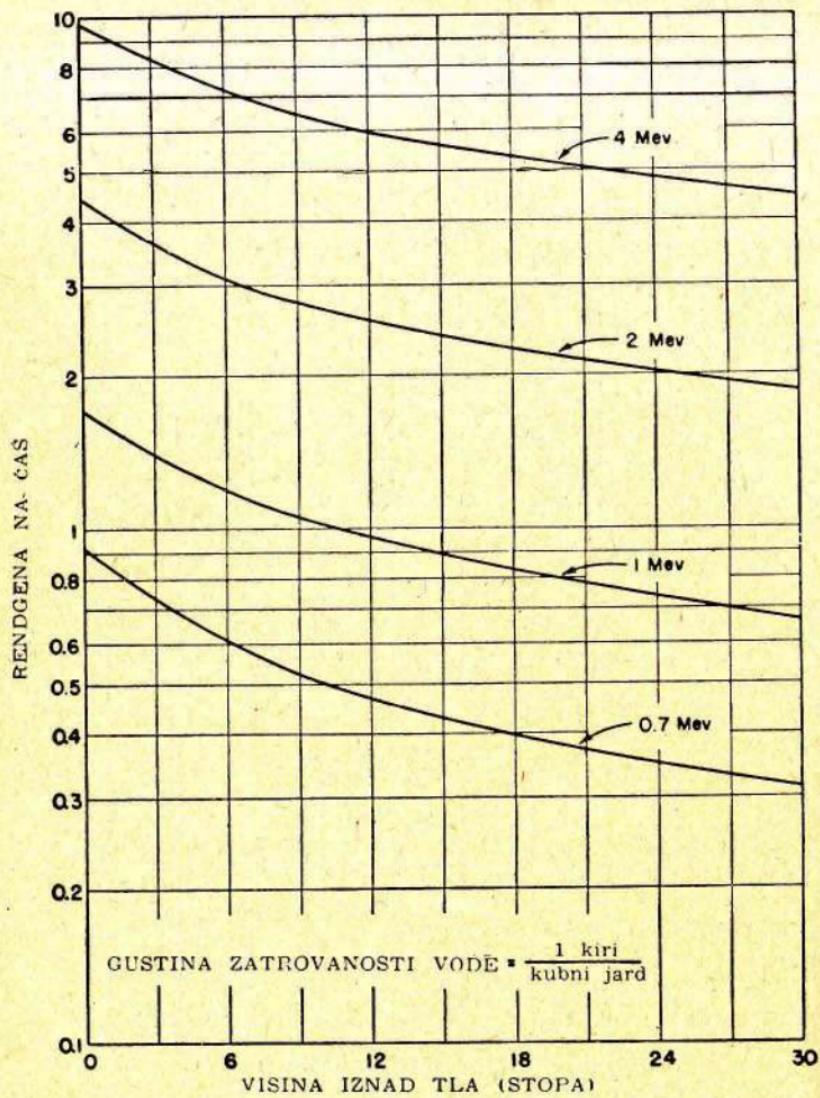
⁹⁾ Vidi W. Heitler, »Quantum Theory of Radiation« (»Kvantna teorija zračenja«), drugo izdanje, Oxford University Press, 1944.

¹⁰⁾ Kada je brzina elektrona svedena na dovoljnu meru onda ga obično hvata atom ili jon.



Sl. 8.37a — Brzina doziranja kao funkcija energije gama zraka u velikoj zapremini vode sa gustinom zatrovanosti od 1 kirija po kubnom jardu.

sposobna da proizvede ionizaciju, te otuda ne pretstavlja više fiziološku opasnost. Naprimer, beta čestica od 1 mev energije prešla bi, prema slici 8.40, ukupno otstojanje od oko 300 m u vazduhu. Međutim, pošto beta čestica stalno skreće usled elektrona kao i usled jezgra atoma sredine, ona se kreće vrlo

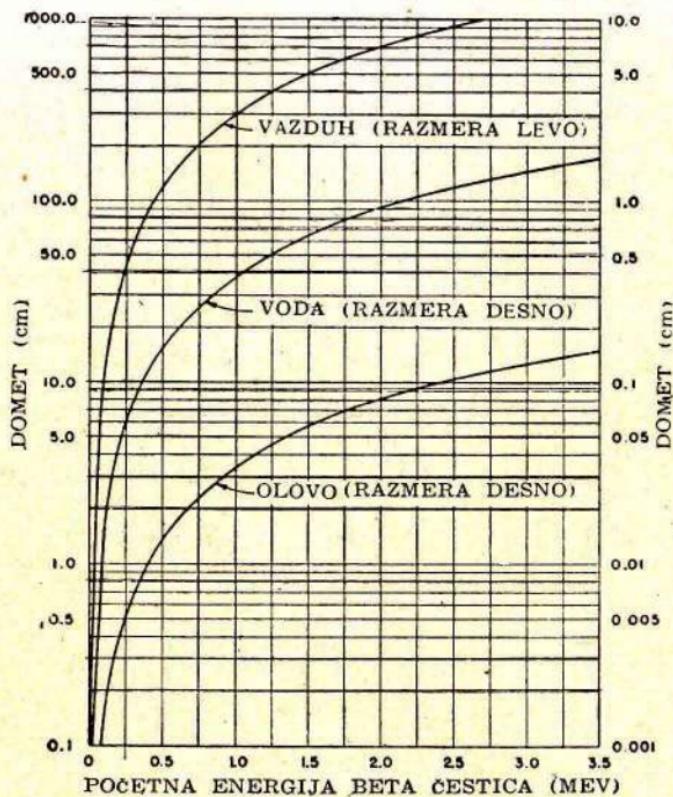


SL. 8.37b — Brzina doziranja kao funkcija visine iznad površine vode, sa gustinom zatrovanosti od 1 kirija po kubnom jardu, za gama zrake različnih energija.

krivudavom putanjom, te je stvarno pravolinisko otstojanje koje ona pređe daleko manje.

8.41 — Ovde se mora upozoriti na razliku između apsorpcije beta čestica i gama zrakova. Prve se mogu potpuno zau-

staviti, tako da imaju određeni domet u dатoj sredini; drugi, međutim, trpe postepeno slabljenje približno eksponencijalne prirode, tako da se teorijski ne mogu nikad potpuno apsorbo-



Sl. 8.40 — Dometi beta čestica kao funkcija energije u vazduhu, vodi i olovu.

vati. Međutim, kod dovoljne debljine materijala slabljenje gama zraka može da bude toliko veliko da intenzitet izlaznog zraka postaje beznačajan.

8.42 — Domet beta čestica opada kako sa gustinom i atomskom težinom sredine, upravo kao što koeficijent apsorpcije gama zrakova raste (§ 7.25). Drugim rečima, ukoliko je gušća sredina utoliko je veća njena snaga zaustavljanja za beta čestice, isto tako kao i za gama zračenje. Kao gruba aproksimacija može se uzeti da je moć zaustavljanja sredine za beta čestice, tj. recipročna vrednost dometa, proporcionalna gustini. Ukupan domet beta čestica od 1 mev iznosi, naprimjer, u vodi oko 0,4 cm u poređenju sa 300 cm u vazduhu.

8.43 — Pri razmatranju dometa beta čestica od datog izvora važno je potsetiti se da energije čestica nisu ravnomerne, te da one prema tome nemaju stvarno određeni domet. Ovo je naročito slučaj za beta čestice koje potiču od produkata cepanja ali važi takođe i za čestice emitovane od strane pojedinog radioelementa. Stvarno postoji raspodela energija među beta česticama iz datog izvora od 0 do određenog maksimuma. U literaturi se uzima u obzir ova maksimalna energija koju poseduje samo mali deo čestica. Prosečna energija svih beta čestica koje emituje dati radioizotop iznosi približno jednu trećinu maksimalne energije za tu supstancu.

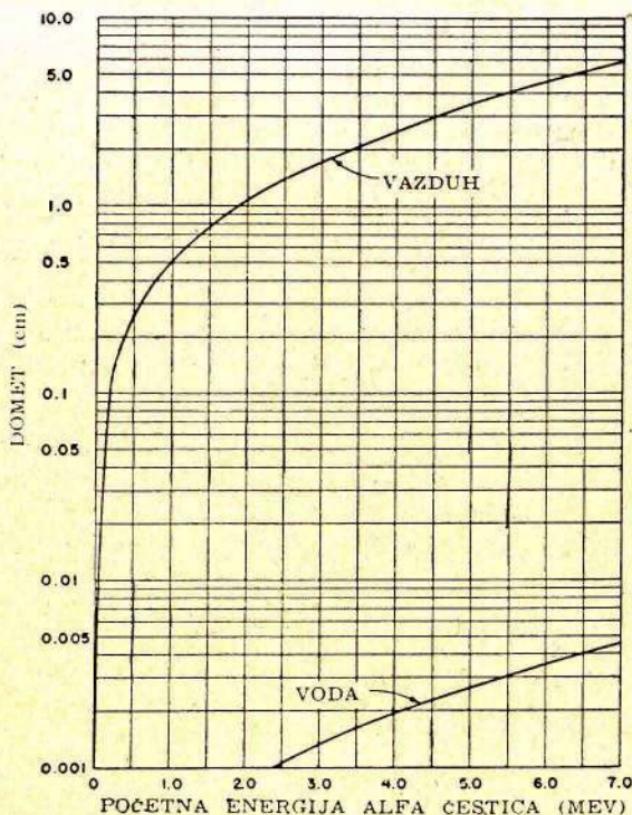
8.44 — Vrlo mali broj produkata cepanja odaju beta čestice sa energijama iznad 2 mev, tako da usled toga maksimalni mogući domet u vodi iznosi oko 1 cm tj. manje od pola palca. Domet u drvetu je verovatno skoro isti a u betonu je čak i manji. Ljudska bića koja se nalaze u kući bila bi dakle zaštićena od beta zračenja, koje potiče od spoljnog zatrovanja usled produkata cepanja itd., ali ne bi bila dovoljno sigurna od gama zračenja koja ih prate. Zato opasnost od spoljnog beta zračenja u izvesnom smislu nije od prevelike važnosti, jer uopšte, ako nema opasnosti od gama zračenja produkata cepanja ili od radioaktivnosti izazvane neutronima, nema mesta strahovanju ni u pogledu beta čestica. Međutim, u graničnim slučajevima dejstvo beta čestica zajedno sa dejstvom gama zračenja moglo bi biti štetno za lica koja rade na prostoru zatrovaniom produktima cepanja.

8.45 — Trebalo bi spomenuti da materije koje emituju beta čestice nagrizaju kožu (§ 11.78), te se u slučaju potrebe mora voditi računa da se upotreboru zaštitnog odela izbegne direktni dodir sa površinom tela (§ 12.79). Tako bi odelo takođe sprečilo prodiranje spoljnih beta čestica mada bi bilo neefikasno protiv gama zrakova. Uvođenje izvora beta zračenja u organizam putem udisanja, gutanja ili na druge načine mora se, razume se, takođe izbeći.

• ALFA ČESTICE

8.46 — Ukazano je već, ukoliko se tiče spoljnih dejstava, da alfa čestice verovatno ne predstavljaju značajnu opasnost. Ovo zbog toga što imaju kratak domet u vazduhu a još manji u vodi kao što se vidi na slici 8.46. Domet alfa čestica od 5,1 mev energije iz plutonijuma manji je od 4 cm u vazduhu i skoro je beznačajan u vodi. Nije verovatno da bi alfa čestice

radioaktivnog izvora mogle da prođu kroz nepovređenu kožu i sigurno će biti zaustavljene običnim odelom.



Sl. 8.46 — Dometi alfa čestica kao funkcija energije u vodi i vazduhu

8.47 — Naravno, izvor alfa čestica koji se udiše ili unese u organizam na bilo koji drugi način može da ima vrlo ozbiljne posledice. Opasnosti usled gutanja ili udisanja obradiće se podrobije u glavi XI. Slično beta česticama i gama zracima, škodljiva fiziološka dejstva alfa čestica pripisuju se ionizaciji koja prouzrokuje kidanje molekula važnih za živi organizam.

SPONTANO ZRAČENJE

8.48 — U uvodu ove glave rečeno je da ljudska bića mogu bez ikakvih štetnih posledica da podnesu izvesnu količinu zračenja koju prime svakog dana u toku dužeg perioda vremena. Ovo znači da ako se posle atomske eksplozije na

određenom prostoru doziranje zračenja smanji ispod granice tolerancije onda će taj prostor biti potpuno siguran za stanovanje.

8.49 — U vezi sa ovim od značaja je primetiti da su čak i pod normalnim okolnostima i pre nego što je uopšte bilo pomisli o radioaktivnosti, X-zracima ili atomskoj bombi svi živi organizmi bili neprekidno izloženi zračenju. Ovo »spontano zračenje« (»background radiation«) pripisuje se delom česticama velike energije poznate kao kosmički zraci, koji nastaju u vasioni, a delom radijumu i njegovim produktima raspadanja kojih ima u zemlji i u vazduhu. Pored toga, obično se ne shvata da ljudsko telo sadrži ne sasvim beznačajne količine radioizotopa ugljenika i natrijuma. Ovih radioaktivnih atomskih vrsta ima takođe u biljkama i u zemljiji.

8.50 — Procenjeno je da ljudsko biće apsorbuje, u nivou morske površine, od svih ranije spomenutih stalnih izvora, otprilike 0,003 rendgena zračenja nedeljno u toku svoga života. Ovo iznosi oko jedan stoti deo usvojene takozvane dopustive doze koja se smatra neškodljivom (§ 8.4). Na velikim visinama, gde se intenzitet kosmičkih zrakova može mnogostruko povećati, naprimjer trostruko povećanje na visini od 15.000 stopa, ukupno spontano zračenje znatno je veće.

8.51 — U svakom slučaju izgleda da za vreme prosečnog ljudskog veka svaki pojedinac primi od 10 do 15 rendgena i više zračenja po celom telu; ovde se ne uzimaju u račun dodatne količine koje se mogu apsorbovati kao rezultat delovanja X-zrakova ili sličnog. Nesumnjivo da je isto stanje stvari trajalo za vreme celokupnog perioda čovečjeg postojanja na zemlji, mada se ukupno apsorbovano zračenje tokom života povećalo jer se povećala i prosečna dužina života.

ZATROVANJE SVETA RADIOAKTIVNOŠĆU

8.52 — U nekim krugovima izraženo je strahovanje u pogledu opasnosti od zatrovanja sveta radioaktivnošću koja proističe iz atomskih eksplozija. Da su takva strahovanja bez osnove može se pokazati procenom broja bombi koje bi morale da eksplodiraju da bi se proizvelo dovoljno aktivnosti da obuhvati celu zemlju. Takvi se proračuni mogu, sa jedne strane, izvršiti za spoljno gama zračenje od produkata cepanja i, sa

druge strane, za unutrašnju¹¹⁾ opasnost usled plutonijuma koji je izbegao cepanje.

8.53 — Ako bi trebalo zatrovati celokupnu površinu zemlje minimalnim brojem bombi, onda bi ove morale da eksplodiraju u vrlo kratkom vremenskom periodu. Dalje, pošto bi trovanje (kontaminacija) od produkata cepanja nastalo, uglavnom, usled taloženja aktivnog materijala iz radioaktivnog oblaka, mora proći dovoljno vremena da se sve čestice slegnu. Na bazi ovih postavki sračunato je da bi za izazivanje svetske opasnosti moralo da eksplodira otprilike milion atomskih bombi nominalne veličine ili, grubo rečeno, po jedna bomba na svakih 200 kvadratnih milja zemljine površine. Jasnno je da ovo pretstavlja veoma neverovatnu situaciju.

8.54 — Procena o mogućnosti zatrovaniosti cele zemlje pomoću plutonijama još je teža zbog neizvesnosti u pogledu veličine dela koji izbegne cepanje. Radi uzimanja ekstremnog slučaja pretpostavlja se da je celokupna, u atomskoj bombi prvobitno prisutna, količina plutonijama ravnomerno raspodeljena u sloju zemlje od 1 cm. Može se tada pretpostaviti da biljke apsorbuju ovaj plutonijum i da on tako dolazi u ljudsko telo u obliku hrane. Udisanje prašine pretstavlja drugu mogućnost koja je uzeta u razmatranje. Iz proračuna izlazi da bi bilo potrebno da eksplodiraju milioni atomskih bombi, da bi plutonijum pretstavljaо svetsku opasnost.

8.55 — Radioaktivna zatrovaniost cele zemlje izgledala bi, dakle, usled toga krajnje neverovatna, ali bi lokalna kontaminacija na prostranoj površini usled relativno malog broja bombi mogla da pretstavlja ozbiljan problem. Činjenica da se aktivni materijal koji se taloži može široko da rasprostre, znači da će se radioaktivne čestice taložiti stotine i hiljade milja od mesta detonacije. Mada ne moraju izazvati fiziološku povredu, čestice bi ipak mogle da prouzrokuju neprilike. Ilustracije radi služi slučaj iznesen u § 8.73, gde se radioaktivna prašina od eksplozije u Alamogordou pojavila u kartonu koji je izrađen preko 1.000 milja daleko. Kao posledica toga pokvario se osetljiv fotografски film koji je bio uvijen u ovaj materijal.

8.56 — Važno je da se po ovom pitanju učini jasna razlika između opšte i lokalne zatrovaniosti. Da bi pretstavljala ozbiljnu opasnost, prva bi zahtevala, kao što se gore videlo, eksploziju velikog broja bombi, ali eksplozija jedne jedine

¹¹⁾ Vidi dodatak E.

bombe mogla bi pod odgovarajućim okolnostima da prouzrokuje opasnost na ograničenoj prostoriji. U sledećim odeljcima razmotriće se ovaj drugi oblik problema naknadnog nuklearnog zračenja od različnih vrsta atomskih eksplozija.

C. RADIOAKTIVNO ZATROVANJE (KONTAMINACIJA) USLED EKSPLOZIJE U VAZDUHU

UZROCI ZATROVANJA (KONTAMINACIJE)

8.57 — U slučaju eksplozije atomske bombe u vazduhu radioaktivnost na površini zemlje zavisila bi stvarno od dva faktora, naime od aktivnosti koju izazivaju neutroni i taloženja aktivnog materijala iz radioaktivnog oblaka, pošto je neposredno taloženje produkata cepanja neznatno. Postojalo bi takođe i trovanje vazduha radioaktivnim oblakom, što bi pretstavljalo opasnost za avione. Što se tiče izazvane aktivnosti, ova bi verovatno bila ograničenog karaktera i značajna samo na zemlji blizu nulte tačke. Postoji, razume se, mogućnost da radioaktivni materijal koji se obrazovao blizu mesta eksplozije može da se raznese na dosta veliku površinu sekundarnim vetrovima koji se stvaraju dizanjem oblaka. Poseban slučaj pretstavlja eksplozija u vazduhu iznad slane vode zbog prisustva relativno velikih količina natrijum hlorida (§ 8.25) i zbog dosta brzog rasprostiranja aktivnosti u vodi.

8.58 — Relativan značaj izvora radioaktivnog zatrovavanja koja prate eksplozije u vazduhu zavisiće od mnogo okolnosti, kao, naprimjer, od prirode zemljišta i meteoroloških uslova. Sa opšte tačke gledišta međutim visina eksplozije je možda najznačajnija, pošto ova ima znatnog uticaja kako na veće ili manje lokalno zatrovanje tako i na taloženja aktivnog materijala iz radioaktivnog oblaka. Iz praktičnih razloga visine eksplozije mogu se opisati kao visoke ili niske. Mada nije moguće povući oštru granicu, uzeće se da se ona nalazi na oko 500 stopa. Ova je vrednost usvojena pošto pretstavlja približno maksimalni poluprečnik vatrene lopte (§ 2.12), tako da pri atomskoj eksploziji iznad ove visine vatrena lopta neće dodirnuti zemlju. Tako će visoka eksplozija u vazduhu obuhvatiti detonaciju na većoj visini od 500 stopa, a niska eksplozija odnosiće se na manje visine.

DEJSTVO VISOKE EKSPLOZIJE U VAZDUHU

8.59 — Tipični primeri visokih eksplozija atomskih bombi bile su one iznad Hirošime i Nagasakija na visinama od oko 2.000 stopa. Nema mnogo sumnje da je visina detonacije bila suviše velika da bi se stvorio primetan fluks neutrona na zemljinoj površini. Prema tome je iznos izazvane aktivnosti bio mali. Pošto vatrena lopta nije dotakla zemlju, a većina produkata cepanja bila je odnesena uvis u stubu dima koji se brzo dizao, opseg lokalnog zatrovanja bio je mali. U Nagasakiju ostalo je oko 0,02% produkata cepanja na zemlji u krugu poluprečnika od nekih 2.000 stopa od nulte tačke; međutim, već nekoliko minuta posle eksplozije prostorija nije više pre-stavljala opasnost od zračenja.

8.60 — U glavi II bilo je spomenuto da taloženje aktivnog materijala iz radioaktivnog oblaka zavisi od parčadi ruševina različnih vrsta, usisanih sa zemljine površine posle atomske eksplozije. Verovalo se da će za dovoljno visoke eksplozije relativno malo stranog materijala biti povučeno u oblak i da će doći do neznatnog taloženja aktivnog materijala iz radioaktivnog obla-ka. Ovo se uglavnom slaže sa iskustvom iz atomskih eksplozija nad Japanom. Budući da je taloženje aktivnog materijala iz radioaktivnog oblaka značajnije za niske eksplozije, to će se o njemu niže opet govoriti.

8.61 — Ako se eksplozija u vazduhu desila na takvoj vi-sini da ne nastupi usisavanje u oblak značajnih količina par-čadi od ruševina, produkti cepanja bi ostali dugo vremena u fino isitnjrenom stanju i raspali bi se. Za vreme tog perioda čestice bi se rasturile na tako širokom prostoru i njihova ak-tivnost bi toliko opala da bi se mogle zanemariti u pogledu opasnosti po zdravlje. Svakako da posebni meteorološki uslovi, kao što su nenormalni vetrovi ili možda kišni oblaci, mogu prouzrokovati veliko taloženje radioaktivnog materijala na izvesnom prostoru, ali je neverovatno da bi to bio opšti slučaj.

8.62 — Kao što je već nagovešteno, ne previšoka eksplo-
zija u vazduhu iznad mora završila bi se stvaranjem neutro-nima izazvane aktivnosti u vodi, uglavnom usled prisustva na-trijuma 24. Dokaz iz detonacije »Able« na Bikiniju, koja je nastala više stotina stopa iznad nivoa laguna, pokazuje da su skoro svi produkti cepanja bili odneseni uvis u atomski oblak. Takva aktivnost koja je ostala iznad površine vode a koja je oko dva sata posle eksplozije dostizala maksimalnu vrednost od 25 rendgena na dan, pripisivala se uglavnom gama zracima

iz radioaktivnog natrijuma. Ova brzina doziranja, koja dosta brzo opada usled dužine vremena poluraspada od 14,8 časova za natrijum 24, ne bi nikad postala smrtonosna doza.

8.63 — Opšti zaključak koji se može izvući jeste da je opasnost od radioaktivnosti na zemlji posle eksplozije mala ako atomska bomba eksplodira na velikoj visini, tako da u jednom gradu prouzrokuje maksimum oštećenja usled eksplozivnog udara.

DEJSTVO NISKE EKSPLOZIJE U VAZDUHU

8.64 — Eksplozije atomskih bombi u Alamogordou i u Eniwetok-u izazvane su radi opita na malim visinama. Radioaktivno zatrovanje zemlje bilo je mnogo puta veće nego za visoke eksplozije u vazduhu usled činjenice da je vatrena lopata dodirnula površinu zemlje. Radioaktivnost blizu centra eksplozije nastala je delom kondenzacijom produkata cepanja po dodiru sa zemljom a delom aktivnošću koju su izazvali neutroni. Približna brzina doziranja zračenja u rendgenima na čas, merena na zemlji u Alamogordou, jedan sat posle detonacije koja je nastupila na visini od 100 stopa, data je u tablici 8.64 za različna otstojanja od nulte tačke na zemlji.

TABLICA 8.64

Brzina doziranja zračenja na zemlji jedan sat posle eksplozije

Otstojanje od nulte tačke na zemlji	Brzina doziranja (rendgena na čas)
0	8.000
300	5.000
600	600
900	150
1.200	30
1.500	10
2.250	5
3.000	0,3
3.750	0,07

8.65 — Iz ovih je brojeva očigledno da bi blizu centra eksplozije usled opasnosti zračenja posle eksplozije u vazduhu na maloj visini, bila nenastanjiva jedna površina mala u poređenju sa onom na kojoj je izazvano oštećenje usled bom-

be. Pa ipak proračuni pokazuju da bi oko 15 minuta posle eksplozije kroz zatrovano zemljište moglo da prođe vozilo koje vozi umerenom brzinom a da putnici u njemu ne budu jače povređeni. Verovatno bi trebalo 6 ili više časova pre nego što bi se moglo bez opasnosti prelaziti preko tog prostora ali boravak za ma koji duži period bio bi zaista nemoguć, ukoliko se ne raspolaže dobrom zaštitom. Velika količina radioaktivne prašine koja ostaje u vazduhu posle eksplozije na maloj visini zahtevala bi posebne mere opreznosti, da bi se sprečilo prodiranje aktivnog materijala u organizam.¹²⁾

8.66 — Poremećaj velikih količina zemlje i drugog materijala pri obrazovanju kratera, koji prati eksploziju u vazduhu na maloj visini, ima za posledicu taloženje zatrovanih komada na izvesnom udaljenju. Pored toga, izdiže se mnogo prašine u atomski oblak, ali postoji mogućnost vraćanja iste na zemlju u vidu taloženja aktivnog materijala iz radioaktivnog oblaka, pošto preuzme čestice produkata cepanja (§ 2.23), te bi se tako zatrovale prostorije koje se nalaze mnogo dalje od centra eksplozije. Posle opita Alamogordo otkrivene su naprimer visoke koncentracije radioaktivnosti na zemlji više milja severno i istočno od mesta eksplozije. Ukupna doza međutim, nije bila opasna po ljudski život.¹³⁾

8.67 — Većina čestica prašine zatrovanih produktima cepanja u radioaktivnom oblaku dižu se na znatnu visinu pre nego što počnu da padaju. Taloženje aktivnog materijala iz radioaktivnog oblaka traje znatno vreme posle eksplozije. Prema Stokesovom zakonu, koji je naročito primenljiv na čestice od 5 do 300 mikrona tj. 5×10^{-4} do 3×10^{-2} u prečniku, brzina padanja čestice u vazduhu pod uticajem zemljine teže jednaka je $0,35 d^2 \rho$ stopa na čas, gde je d prečnik čestice u mikronima a ρ njena gustina.

¹²⁾ Pogodne su u ovu svrhu maske kao što se upotrebljavaju za zaštitu od bojnih otrova.

¹³⁾ Izvestan broj stoke, oko 10 do 15 milja od mesta eksplozije »Trinitit« u Alamogordou, Novi Meksiko, bio je nepažnjom izložen radioaktivnoj prašini pri taloženju aktivnog materijala iz radioaktivnog oblaka. U toku od nekoliko nedelja pokazalo se opadanje dlake i rane nalik na plikove. Poslednje su ubrzano izlečene, a dlaka koja je prvo bitno bila crvena, ponovo je porasla mada je bila bela ili siva. Nastavljeno posmatranje stoke pokazalo je da su se krave normalno telile bez obzira na to da li su se parile sa bikovima koji su bili izloženi radioaktivnoj prašini. Do kraja 1949 godine nije bilo znakova bilo kakvog dejstva zračenja, sem što je dlaka postala siva.

TABLICA 8.67

Vreme padanja čestica sa 40.000 stopa

Prečnik čestice (mikrona)	Vreme padanja (časova)	Prečnik čestice (mikrona)	Vreme padanja (časova)
840	0,37	33	40
250	0,69	16	170
150	1,95	8	680
75	7,90	5	1.700

U tablici 8.67 data su proračunata vremena, koja se zasnivaju na ovom odnosu, potrebna da čestice prašine različnih veličina padnu sa 40.000 stopa, tj. sa visine za koju se smatra da je atomski oblak dostiže. Pretpostavlja se da je gustina čestica ista kao kod kvarca (peska). Na čestice sa prečnicima ispod 5 mikrona ozbiljno utiče Brownian-ovo kretanje i one ostaju u vazduhu za vrlo dugi period.

8.68 — Opitom se našlo da je raspodela krupnoće zrnaca prašine koju podigne vetar približno ista bez obzira na materijal. Prema tome može se pretpostaviti u svrhe proračunavanja da je raspodela čestica po veličini u atomskom oblaku ista kao ona koja je zapažena kod opita »Triniti« u Alamogordou a koja je bila slična sastavu prašine iznad pustinje Sahare. Ako se usvoji da se ova raspodela čestica po veličini može primeniti na taloženje aktivnog materijala iz radioaktivnog oblaka, moguće je proračunati odnose težina produkata cepanja koji padaju u toku izvesnih vremenskih intervala posle atomske eksplozije. Koristeći rezultate u tablici 8.67 i pretpostavljajući da se čestice dižu na 40.000 stopa pre nego što počnu da padaju, dobijaju se vrednosti u tablici 8.68. Ove brojke važe za 49% aktivnosti koja se nalazi u talogu aktivnog materijala iz atomskog oblaka. Ostalih 51% ostaje u vazduhu i lebdi vrlo dugo.

TABLICA 8.68

Količina aktivnog materijala staloženog iz atomskog oblaka

Period (minuta)	Prečnik čestica prašine (mikrona)	Količina taloženja (u %)
Prvih 22	840	3,8
22—42	840—250	12,6
42—117	250—150	14,5
117—480	150— 75	18,1

8.69 — Sa gledišta radioaktivnog trovanja (kontaminacije) važan je faktor površina omotača čestica prašine. Fino isitnjeni produkti cepanja talože se po površini ovih čestica te otuda količina ukupne radioaktivnosti koju nose čestice prašine jedne određene veličine zavisi od procenta ukupne površine koja pripada grupi čestica te veličine. Rezultati u trećoj koloni tablice 8.68 daju stvarno sračunate procente od ukupne površine u različnim granicama po veličini, a usvojeno je da ovi rezultati pretstavljaju početne aktivnosti produkata cepanja koji se talože u toku različnih vremenskih perioda.

8.70 — Trebalo bi primetiti da pri dobivanju ovih rezultata nije uzeto u obzir prirodno raspadanje produkata cepanja za vreme njihovog dizanja sa atomskim oblakom i njihovog padanja, pri taloženju aktivnog materijala iz radioaktivnog oblaka. Međutim, usled ovog raspadanja materijal koji se taloži biće sve manje i manje aktivan ukoliko raste vremenski interval između taloženja i vremena eksplozije. Dakle, tablica 8.68 pokazuje da će u periodu od 117 do 480 minuta posle atomske eksplozije oko 18% produkata cepanja dostići površinu zemlje. Ako se uzme u obzir prirodno radioaktivno raspadanje, onda je verovatno da ovo taloženje ne bi pretstavljalo više od oko 0,1 procenta početne radioaktivnosti atomskog oblaka.

8.71 — Dok čestice padaju podvrgnute su delovanju jačih vetrova i difuziji, koja teži da ih raspe preko velike prostorije. Očigledno je da bi, čak i za tako malu brzinu vetra kao što su 10 milja na čas, mnoge čestice iz radioaktivnog oblaka doštile zemlju na izvesnom udaljenju od eksplozije, uprkos promeni pravca vetra sa vremenom i visinom. Čak i najveće pomenuće čestice u tablici, koje imaju skoro 1 mm u prečniku, padale bi na udaljenju od skoro 4 milje od izvora ako bi brzina vetra 10 milja na čas ostala konstantna. Veliki broj manjih čestica otišao bi stvarno mnogo dalje pre nego što bi se spustio na zemlju.

8.72 — Za velika udaljenja koja pređu čestice prašine dobivena je potvrda u mnogim slučajevima od kojih je najistaknutiji primer erupcije vulkana Krakatao.¹⁴⁾ Prašina posle ove erupcije pronađena je na hiljadu milja daleko. Ustvari, zaostali vulkanski pepeo lebdeo je u atmosferi približno 3 go-

¹⁴⁾ Ova je erupcija stvarno obuhvatila znatno veće količine energije, a podignute su i mnoge veće količine parčadi nego prilikom eksplozije atomske bombe.

dine. Dalje, februara 1936 zapažen je u Novoj Engleskoj mrko obojeni sneg i to se pripisivalo zemlji koju je oko dva dana ranije podigla peščana oluja u Teksasu.

8.73 — Od neposrednjeg interesa je činjenica da je radioaktivna prašina stvorena pri opitu atomskom bombom (»Trinity«) u Alamogordou (Novi Meksiko) 16. jula 1945 godine otkrivena u kartonu koji je proizveden u Vinceni-u, u državi Indiana 6. avgusta 1945 god.¹⁵⁾ Izvor kontaminacije bila je nesumnjivo voda iz reke Wabash čiji je sliv veliki. Pored činjenice da je slama apsorbovala aktivnost iz velikih količina vode upotrebljene za pranje, ukupna radioaktivnost bila je stvarno vrlo mala i nesumnjivo ne bi bila uopšte zapažena da karton koji je bio izrađen od te slame nije upotrebljen za pakovanje vrlo osetljivih filmova za X-zrake. Na filmu su nađene zamagljene mrlje koje su nastale usled delovanja zračenja. Može se spomenuti da je pri opitu »Triniti« bomba eksplodirala na kuli od oko 100 stopa iznad zemlje, tako da je bila usisana velika količina sitnih sastojaka u atomski oblak. (Vidi sliku 2.11).

8.74 — Mada će usled dejstva vetrova nastati raznošenje ustranu većine čestica pri taloženju aktivnog materijala iz radioaktivnog oblaka, jedan deo će se razneti difuzijom vrtloga. Izgleda da je ovaj faktor značajan samo na najnižim nivoima atmosfere te tada naboranost zemljišta može da dovede do nejednakog taloženja čestica. Ako postoji neka vrlo stabilna termička slojevitost najnižih slojeva vazduha, nastaje veća koncentracija aktivnosti u dolini nego na većim visinama. Čak i pod uslovima vrtloga moguće je da se kao posledica vrtložnog rasturanja aktivni materijal nataloži na jednom prostoru a da ga na susednim uopšte nema.

8.75 — Prethodna razmatranja teže da potkrepe opšti zaključak da u najviše slučajeva taloženje aktivnog materijala iz radioaktivnog oblaka od eksplozije u vazduhu neće pretstavljati ozbiljnu radiološku opasnost. Mogao bi se možda desiti načrtiti slučaj ako bi vazduh bio vlažan; u tom slučaju će se radioaktivni metalni oksidi (produkt cepanja) vezati za kapljice vode koje mogu kasnije da padaju kao radioaktivna kiša. Kod

¹⁵⁾ J. H. Webb, *Phys. Rev.*, 76, 375 (1949).

slučaja toplog talasa¹⁶⁾) kišnog fronta, što se često dešava na umerenim širinama, oblaci koji nose kišu mogu imati debljinu od 20 hiljada stopa. Radioaktivne čestice od eksplozije atomske bombe, koja nastupi nekoliko stotina stopa iznad zemljine površine, mogu se popeti u oblak u oblaku koji nosi kišu. Za kratko vreme atomski će oblak u oblaku koji nosi kišu moći verovatno da postigne stvarnu ravnotežu sa poslednjim i da tako postane sastavni deo sistema koji izaziva kišu. Moglo bi se tada očekivati da se radioaktivni materijal staloži sa kišom na nekoj površini u zavisnosti od vetrova koji dejstvuju u visini oblaka.

8.76 — Prema opravdanom mišljenju mnogih koji su posmatrali atomske eksplozije, taloženje aktivnog materijala iz radioaktivnih oblaka u slučaju niske eksplozije u vazduhu moglo bi pretstavljati nezgodu, ali uglavnom ne bi pretstavljalo stvarnu opasnost. Verovatno da bi ono retko kad bilo dovoljno da spreči prelaz preko nekog prostora, mada bi moglo na tom prostoru da izazove odlaganje operacije za nekoliko dana.

8.77 — Razume se da mogu iskrasnuti naročite okolnosti, kao što je gore pokazano, a koje bi imale za posledicu prekomerno zatrovanje na izvesnim lokalizovanim prostorima. Ako, naprimer, duva stalni vetar u određenom pravcu ustanovilo bi se verovatno da bi u predelu niz vetar bio utvrđen veliki deo aktivnosti. Analizom meteorološke trajektorije¹⁷⁾ bilo bi čak i moguće predvideti mesto (lokaciju) ovih površina pod pretpostavkom da se raspolaže dovoljnim podacima o pravcima i brzinama vetra.

EKSPOZIJA NA POVRŠINI ZEMLJE

8.78 — Ekstremni slučaj atomske eksplozije na maloj visini pretstavlja bi eksplozija nastala na površini zemlje. Pošto nije bilo ni jedne takve detonacije, moguće je samo da se nagađaju rezultati koji bi se dobili. Dosta je sigurno da bi zatrovanje izazvano neutronima u blizini eksplozije bilo vrlo veliko. Dalje, verovatno obrazovanje velikog kratera bilo bi besumnje praćeno znatnim količinama prašine zatrovane produktima cepanja i radioaktivnim izotopima formiranih zahvatom neutrona. Ova aktivnost u vazduhu, koja bi proizvela

¹⁶⁾ Pljusak tipa toplog fronta vezan je sa gustim oblacima koji se pružaju iznad prostorije od nekoliko stotina ili hiljada kvadratnih milja. Kiša je obično blaga ali nastavlja da pada stalno za izvesno vreme.

¹⁷⁾ Vidi dodatak F.

znatno taloženje aktivnog materijala, mogla bi da bude ozbiljna opasnost na prostorima koji se nalaze na izvesnom udaljenju od eksplozije u pravcu niz vетар.

8.79 — Treba očekivati da će u slučaju eksplozije na površini zemlje veći deo produkata cepanja ostati na tlu ili blizu tla nego u slučaju eksplozije nastale u vazduhu. Uvezši u celini, može se možda zbog toga predvideti da bi eksplozija na površini zemlje, mada manje razorna po ostalim dejstvima, imala za posledicu veću radioaktivnu kontaminaciju, naročito na manjim udaljenjima od nulte tačke, nego što bi to bio slučaj kod drugih vrsta detonacije koje su već razmotrene.

RADIOAKTIVNI OBLAK

8.80 — Jedan drugi problem atomske eksplozije u vazduhu može da se spomene, naime, pitanje kolikom bi zračenju bila izložena posada aviona koji leti kroz radioaktivni oblak. Izvršeni su izvesni proračuni uz korišćenje nekih uprošćenih uslova. Učinjena je pretpostavka da je kabina hermetički zatvorena i da je dovod vazduha zatvoren, tako da nijedan aktivan produkt cepanja ne može da uđe u avion. Ustvari, ne bi se mogla potpuno izbeći unutrašnja kontaminacija, tako da će procene biti neizbežno suviše niske. Ovo je u skladu sa rezultatima izvršenih zapažanja za vreme atomskih eksplozija.

8.81 — U slučaju koji se razmatra avion leti u jednom smeru kroz centar radioaktivnog oblaka za koji se pretpostavlja da je sfernog oblika. Ovaj smer leta daje maksimum prikupljenog doziranja zračenja. Dopunske postavke su da je kretanje atomskog oblaka pri dizanju i širenju malo u poređenju sa brzinom aviona, da radioaktivnost oblaka ostaje konstantna za vreme prolaska aviona i da se oblak podigao do visine gde je njegova gustina skoro jednak gusto atmosfere.

8.82 — U tablici 8.82¹⁸⁾ dati su rezultati proračuna za avion koji leti brzinom od 300 milja na sat uz pretpostavku da se zračenje sastoji samo od gama zrakova koji nastaju iz produkata cepanja i da doziranje nastaje usled spoljašnje izloženosti a ne direktnim dodirom ili udisanjem produkata cepanja. Zbog neophodnog uprošćavanja, koje je gore spomenuto, treba date vrednosti smatrati samo kao vrlo približne. Visina u prvom stupcu pretstavlja visinu oblaka (centra) u različna vremena posle eksplozije koja su data u drugom stupcu. Dozi-

¹⁸⁾ Zasnovano na proračunima M. S. Plesset-a i S. T. Cohen-a.

ranje u rendgenima potiče skoro potpuno iz unutrašnjosti oblaka, jer doprinos sa spoljne strane na 15.000 stopa iznosi samo 5 rendgena, a iznad 25.000 stopa doprinos je u suštini beznačajan.

TABLICA 8.82

Procenjeno doziranje zračenja kod aviona koji se kreće brzinom od 300 milja na čas u radioaktivnom oblaku

Visina (stopa)	Vreme posle eksplozije (sekundi)	Poluprečnik oblaka (stopa)	Doziranje (r)	Brzina dozi- ranja (rendge- na na čas)
15.000	90	3.100	550	140.000
20.000	140	3.800	260	55.000
25.000	200	4.500	130	24.000
30.000	300	5.300	70	11.000
35.000	430	6.100	40	5.600
40.000	600	7.100	25	3.000

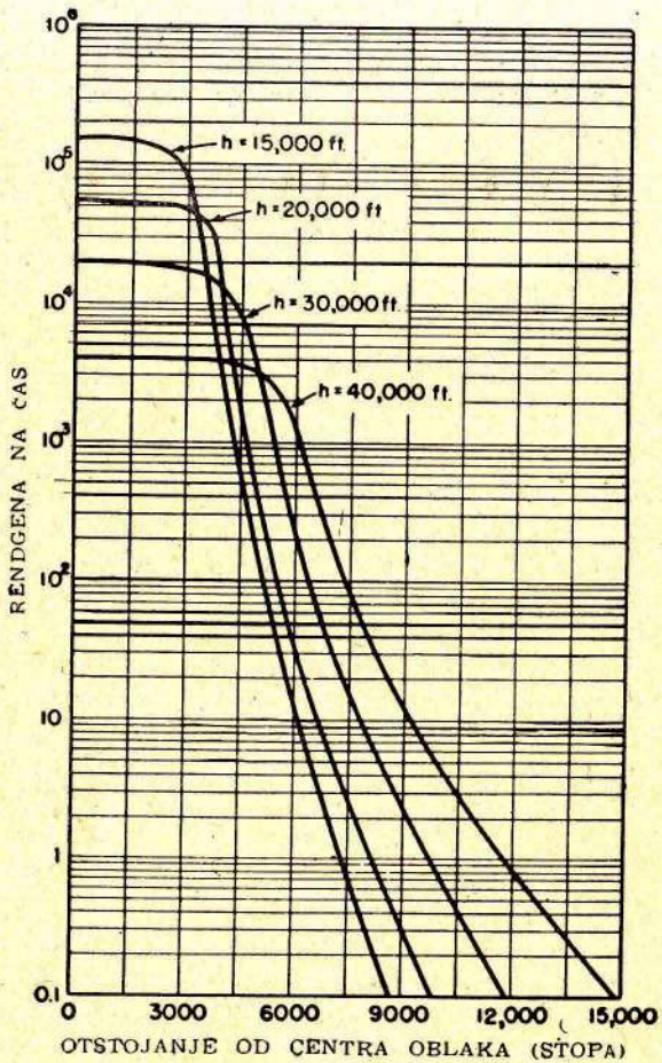
8.83 — Proračunate brzine doziranja u rendgenima na čas ucrtane su na slici 8.83 kao funkcija otstojanja od centra oblaka za različne visine oblaka. Trebalo bi naglasiti da su, kao što je gore rečeno, rezultati približni; stvarno akumulirani iznosi doziranja biće verovatno veći. Vidi se da sa spoljne strane oblaka doziranje gama zrakova brzo opada sa porastom udaljenja od centra. Dalje, odmicanjem vremena, tj. sa porastom visine oblaka, aktivnost se proteže na sve veći prostor od tačke eksplozije.

D. RADIOAKTIVNO ZATROVANJE OD PODVODNE EKSPLOZIJE

UZROCI ZATROVANJA

8.84 — Za podvodnu eksploziju na umerenim dubinama može se zanemariti početno gama zračenje i zračenje neutrona, pošto se oni skoro potpuno apsorbuju u nekoliko jardi vode. Kao posledica neutronske reakcije može se proizvesti nešto radioaktivnog natrijuma 24 i hlora 38, ali izgleda da će najveći deo neutrona uhvatiti vodonik iz vode da bi obrazovao neradioaktivni izotop deuterijum. Aktivnost koju su izazvali neutroni relativno malo doprinosi naknadnom zračenju te ovo uglavnom nastaje usled produkata cepanja koji ne mogu da umaknu tako lako kao što čine u slučaju eksplozije u vazduhu.

8.85 — Od tipova atomske eksplozije podvodna eksplozija na Bikiniju, tj. opit »Baker« proizvela je najveći stepen radioaktivne zatrovanosti. Procenjeno je da skoro sva aktivnost produkata cepanja ostaje u vodi odmah posle eksplozije



Sl. 8.83 — Brzine doziranja u atomskom oblaku kao funkcija otstojanja od centra na različnim visinama.

ili pada u lagun u obliku velikog radioaktivnog talasa u podnožju velikog stuba i u obliku kiše (§ 2.45 i dalje). Obim i stepen kontaminacije, koja prati podvodnu atomsku eksploziju, me-

njaće se verovatno u velikoj meri prema okolnostima kao što su: veliki talas u podnožju vodenog stuba, koji sa svoje strane dosta zavisi od dubine eksplozije, meteorološki uslovi, naprimjer, brzina i pravac vetra, kišni oblaci, topografija mesta detonacije itd.

VELIKI TALAS U PODNOŽJU VODENOG STUBA I TALOŽENJE AKTIVNOG MATERIJALA IZ RADIOAKTIVNOG OBLAKA

8.86 — Pojave kao što su obrazovanje vodenog stuba, veliki talas u podnožju vodenog stuba i oblak oblika pečurke (ili karfiola), koje su vezane sa podvodnom atomskom eksplozijom opisani su u glavama II i IV. Zbog toga će ovo razmatranje biti ograničeno na radioaktivno zatrovanje koje može nastati iz ovih pojava. Delom zbog velike težine izbačene vode u vodenom stubu, delom zbog nižih temperatura, oblak se ne diže na takve visine kao što je slučaj kod eksplozije u vazduhu. Usled toga taloženje aktivnog materijala iz radioaktivnog oblaka, koje sada ustvari pretstavlja radioaktivnu kišu, počeće da se spušta vrlo brzo posle eksplozije. Na Bikiniju je, naprimjer, prvo taloženje aktivnog materijala iz radioaktivnog oblaka dostiglo površinu mora oko jedan minut posle detonacije. Prema tome, umesto da se raspe, kao što je slučaj kod eksplozije u vazduhu, veliki deo aktivnosti produkata cepanja, pored toga što ostaje u vodi, staloži se za vrlo kratko vreme u poluprečniku od nekoliko hiljada jardi od mesta detonacije.

8.87 — Pri opitu »Baker« na Bikiniju, veliki talas u podnožju vodenog stuba, koji se sastojao od zatrovanih oblaka ili magle sitnih vodenih kapljica, a koji se obrazovao 10 do 12 sekundi posle eksplozije i onda brzo krenuo upolje, nesumnjivo je dosta doprineo radioaktivnosti nataloženoj na brodovima u lagunu. Sumnjivo je da je do sada dato bilo kakvo potpuno objašnjenje velikog talasa u podnožju vodenog stuba i, mada je predloženo više teorija, predmet je još uvek sporan. Svakako da jedna od teškoća leži u tome što je pojava zapažena samo jednom prilikom, a eksperimentalna ispitivanja različnih teorija ne mogu se lako izvršiti. Mada razvoj velikog talasa na podnožju vodenog stuba u masu oblaka u kasnijim stadijima može da zavisi od meteoroloških uslova, kao što je naznačeno u § 4.80 i dalje, verovatno da je početno stvaranje i naglo kretanje talasa upolje određeno jedino prirodnom podvodne eksplozije.

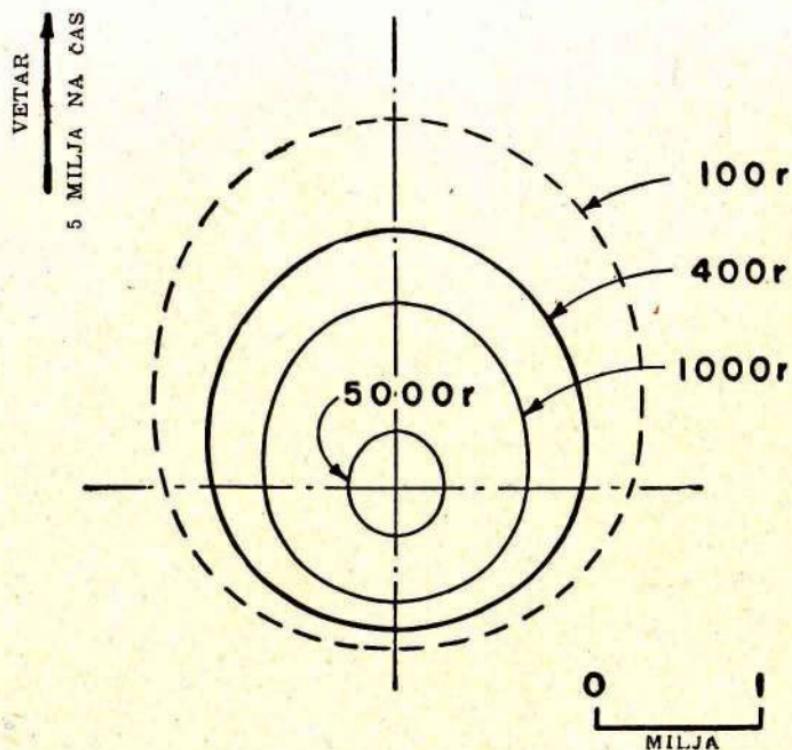
8.88 — Bilo je takođe izvesne diskusije o uticaju dubine vode u kojoj eksplozija nastupa i izgleda da je moguće da bi relativno duboka voda, ili voda i mulj, bili potrebni za stvaranje velikog talasa u podnožju vodenog stuba. Međutim, po ovom pitanju ne postoji nikakva izvesnost, te tako, dok ne bude postojao određeni dokaz bilo u ovom ili onom pravcu, mora se pretpostaviti da će kao posledica podvodne eksplozije atomske bombe nastupiti obrazovanje radioaktivno zatrovane izmaglice nazvane velikim talasom u podnožju vodenog stuba.

8.89 — Veliki talas u podnožju vodenog stuba sastoji se od oblaka vodenih kapljica različnih veličina, koje se kreću velikom brzinom ustranu od tačke eksplozije. Kako veliki talas u podnožju vodenog stuba prelazi preko neke površine, tako ona prima izvesnu dozu zračenja u kratkom vremenskom intervalu dok oblak prolazi. Pored toga, za vreme ovog perioda paše izvesna količina radioaktivne kiše iz velikog talasa u podnožju velikog stuba, dovodeći do taloženja kontaminacije. Međutim ovo čini relativno mali deo ukupne doze.

8.90 — Osim dejstva velikog talasa u podnožju vodenog stuba radioaktivna zatrovanošta nastupiće iz kiše izazvane taloženjem aktivnog materijala iz radioaktivnog oblaka. Postoji izvesna razlika mišljenja u pogledu relativnih doprinosa velikog talasa u podnožju vodenog stuba i taloženja aktivnog materijala iz radioaktivnog oblaka prema ukupnoj dozi zračenja. Pitanje je od praktičnog značaja, pošto je na otvorenom prostoru moguća izvesna zaštita ljudstva od obične kiše kao i od taloženja aktivnog materijala iz radioaktivnog oblaka. Ali pošto veliki talas u podnožju vodenog stuba pretstavlja oblak koji se bočno kreće, to zaštita od njegovog zračenja nije tako jednostavna. Nema sumnje da je na Bikiniju veliki talas u podnožju vodenog stuba bio vrlo značajan, te izgleda da će uglavnom veliki talas i taloženje aktivnog materijala iz radioaktivnog oblaka doprineti dozi zračenja čiji će relativni iznosi zavisiti od dubine eksplozije, dubine vode i drugih uslova.

8.91 — Iz merenja izvršenih za vreme opita »Baker« na Bikiniju bilo je moguće izvući izvesne opšte zaključke u pogledu zbirne ili ukupne doze zračenja primljene na različnim otstojanjima od nulte površine. Stvarno oko 90% ove doze dostignuto je u toku 30 minuta od momenta eksplozije. Rezultati su pretstavljeni na slici 8.91a, b i c u obliku kontura doza zračenja. Doziranje usled izmaglice velikog talasa u podnožju

vodenog stuba, pri prelaženju ovoga iznad neke površine ili kroz nju, pokazano je na slici 8.91a. Otstupanje od simetrije pripisuje se činjenici što je na površini i blizu površine laguna



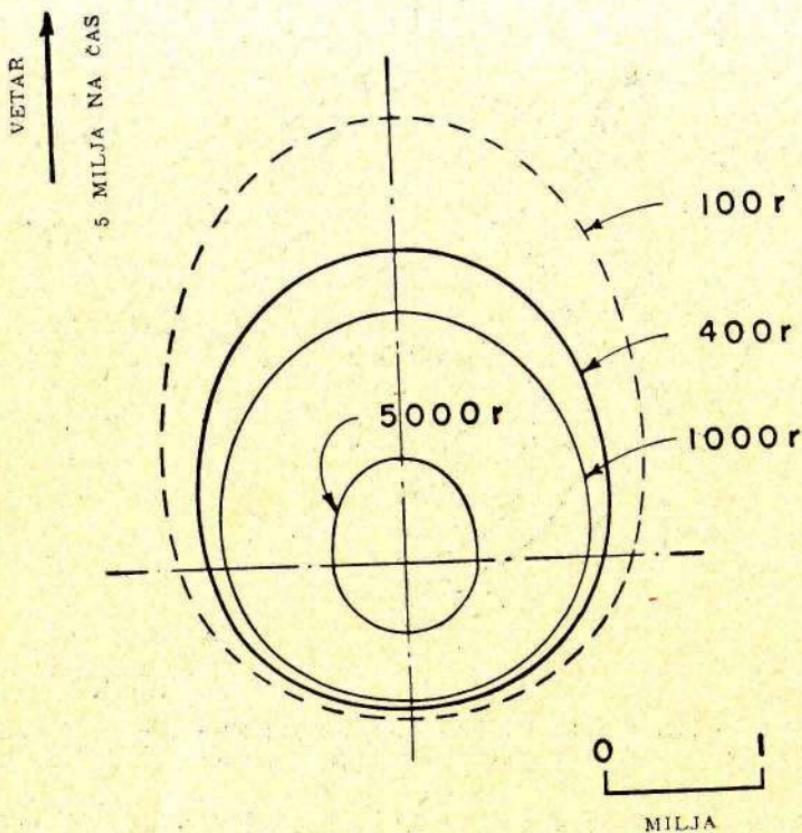
Sl. 8.91a — Konture za različne zbirne doze zračenja usled velikog talasa u podnožju vodenog stuba od podvodne eksplozije.

u vreme detonacije duvao vetar brzine od oko 5 milja na sat. Ovo je zaista imalo za posledicu širenje radioaktivne kontaminacije na mnogo veću daljinu niz vetar nego uz vetar.¹⁹⁾

8.92 — Konture zbirne doze, koja nastaje kontaminacijom usled kiše i od velikog talasa u podnožju vodenog stuba i od taloženja aktivnog materijala iz radioaktivnog atomskog oblaka, date su na slici 8.91b, dok slika 8.91c pokazuje konture za ukupnu dozu, tj. zbir doze od velikog talasa u podnožju vodenog stuba i doze kontaminacije od podvodne eksplozije. Verovalno da podaci na slici 8.91b, te otuda takođe i na slici 8.91c,

¹⁹⁾ Za dejstvo vetra na površini, itd., velikog talasa u podnožju vodenog stuba vidi § 4.79.

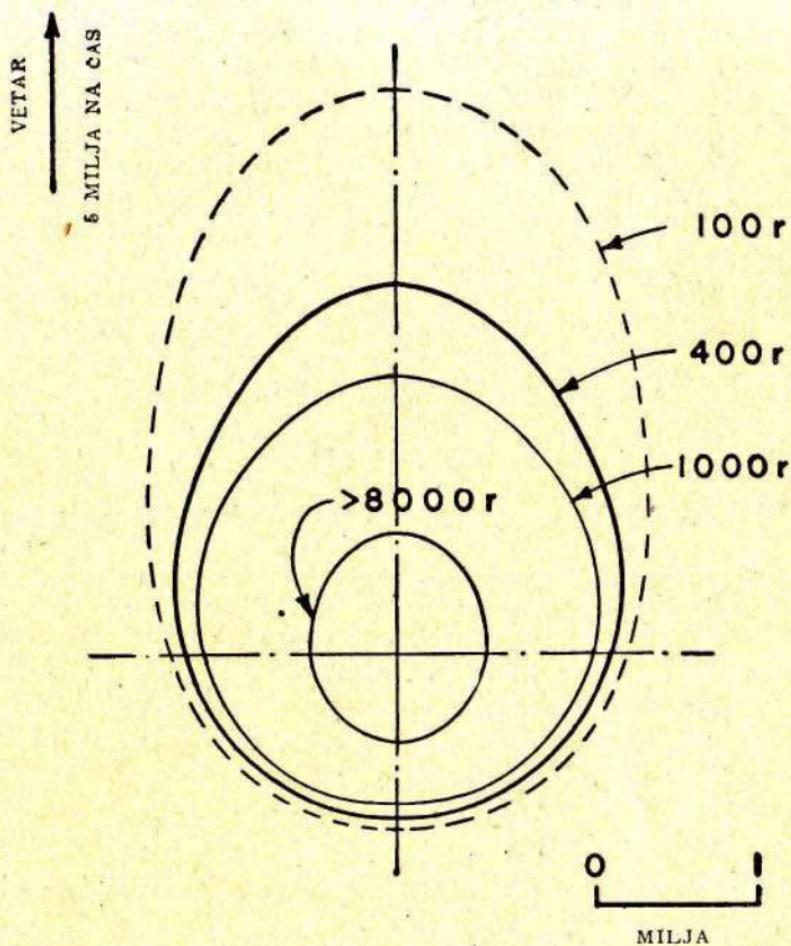
prestavljaju vrednost koja je nešto manja od stvarne, pošto izvestan deo zatrovane vode, koja pada u obliku kiše, otiće sa paluba brodova i vraća se nazad u lagun, tako da njena aktivnost nije obuhvaćena u merenoj dozi.



Sl. 8.91b — Konture za različne zbirne doze zračenja usled zatrovanosti od podvodne eksplozije.

8.93 — Može se spomenuti da je radioaktivna izmaglica od velikog talasa u podnožju vodenog stuba najopasnija u prvih nekoliko minuta od svoga stvaranja. Njena aktivnost opada brzo u vrlo kratkom vremenu usled delovanja tri faktora, i to: razređivanje koje nastaje povećanjem zapremine usled mešanja sa vazduhom, padanje aktivnog materijala sa kapljicama kiše, ukoliko kapljice rastu po veličini, i prirodno radioaktivno raspadanje. Proračuni koji verovatno daju pravi odnos veličine ukazuju u najmanju ruku na to da brzina dozi-

ranja u velikom talasu u podnožju vodenog stuba opada sa faktorom od oko 400 u razmaku između 1 i 4 minuta posle podvodne eksplozije. Ovo brzo opadanje ukazuje na korisnost zaštite od izmaglice velikog talasa u podnožju vodenog stuba



Sl. 8.91c — Konture za ukupne doze usled velikog talasa u podnožju vodenog stuba i zatrovanosti od podvodne eksplozije.

za vreme od 3 ili 4 minuta neposredno posle atomske eksplozije. Na Bikiniju je zatvaranjem otvora na palubi i zaustavljanjem uređaja za ventilaciju kontaminacija unutrašnjosti brodova usled velikog talasa u podnožju vodenog stuba bila smanjena na minimum. Obraćanje pažnje u ovom pogledu,

naročito u prvim stadijima, pokazalo bi se očigledno vrlo korisnim.

RADIOAKTIVNOST VODE

8.94 — Ranije je zabeleženo da se kod podvodne eksplozije atomske bombe na kraju najveći deo radioaktivnosti produkata cepanja pojavljuje u vodi. Zbog velike zapremine u kojoj su ove supstance rasturene aktivnost u vodi nije tako velika kao što bi se moglo očekivati, izuzev u neposrednoj blizini centra eksplozije i to za vrlo kratko vreme posle detonacije. Kao posledica difuzije radioaktivnog materijala koji se meša sa vodom van zatrovanih prostora kao i prirodnog raspadanja radioaktivnosti, doziranje se smanjuje za kratko vreme priličnom brzinom. U tablici 8.94 date su površina i srednji prečnik zatrovanih dela laguna posle opita »Baker« na Bikiniju zajedno sa najvećim zapaženim brzinama doziranja u različnim vremenskim razmacima posle eksplozije.

TABLICA 8.94

**Mere i najveća brzina doziranja zatrovane vode
u bikinskem lagunu**

Vreme posle eksplozije (časova)	Zatrovana po- vršina (kva- dratnih milja)	Srednji preč- nik (milja)	Najveća br- zina doziranja (r po danu)
4	16,6	4,6	75
38	18,4	4,8	10
62	48,6	7,9	5
86	61,8	8,9	1
100	70,6	9,5	0,6
130	107	11,7	0,2
200	160	14,3	0,01

8.95 — Jasno je da plovidba kroz vodu ne bi pretstavljala veliku opasnost, mada ne bi bilo poželjno da brod ostane u zatrovanim prostorima za duže vreme ubrzo posle eksplozije. Svakako se podrazumeva da cevi za hlađenje i otvori za izlazak pare moraju biti zatvoreni dok se brod nalazi u zatrovanim vodama. Dalje, usled opadanja aktivnosti sa vremenom ne izgleda verovatno da bi podvodna eksplozija atomske bombe spričila rad pristaništa za duže vreme, bar ukoliko se tiče kontaminacije vode. Međutim, trebalo bi imati na umu da će

na rezultate u tablici 8.94, mada su verovatno dosta tačni, uticati geofizički uslovi pristaništa.

8.96 — Drugi faktor koji je doprineo gubitku aktivnosti vode na Bikiniju jeste taloženje produkata cepanja na dno laguna. Sudeći prema primercima materijala sa dna, koji su prikupljeni 7 i 16 dana posle eksplozije, znatan deo aktivnog materijala mora da se najzad otstranio na ovaj način. Rezultati ukazuju da je najveće taloženje nastalo u toku jedne nedelje i da je pokrilo prostoriju od preko 60 kvadratnih milja. Uz pretpostavku da su produkti cepanja prodri na dubinu od jedne stope, može se proceniti da je ukupna masa materijala dna, na kojoj se radioaktivnost raspodelila, iznosila oko $1,4 \times 10^8$ tona. Prema tome, čak i ako je ukupna početna aktivnost produkata cepanja bila velika, oko 2×10^6 kirija mereno nedelju dana posle eksplozije, njena bi široka raspodela na dnu laguna značila da ona ne pretstavlja veliku opasnost po život u moru. Posmatranja izvršena više meseci posle eksplozije pokazala su takođe da nije bilo tendencije širenja zatrovanih materijala.

8.97 — Od interesa je u vezi sa ovim proračunati iznos zračenja u morskoj vodi usled radioaktivnog izotopa kalijuma masenog broja 40. Ovog izotopa ima do 0,012% u svim oblicima kalijuma bez obzira na njegov izvor. On emituje beta čestice sa maksimalnom energijom od 1,3 mev i gama foton energije 1,5 mev. Zbog svog dugog vremena poluraspada, koje iznosi oko $1,5 \times 10^9$ godina, aktivnost je normalno od malog značaja, mada znatno doprinosi ukupnoj spontanoj radioaktivnosti tela (§ 8.49). Pošto morska voda sadrži 0,4 grama kalijuma po litru, procenjeno je da ukupna težina radiokalijuma 40 u bikinskem lagunu iznosi $1,4 \times 10^9$ grama ili $2,1 \times 10^{31}$ atoma. Iz poznavanja vremena poluraspada može se proračunati da će biti ukupno oko 4×10^{14} raspadanja u sekundu, što je ekvivalentno aktivnosti od 10^4 kirija samo usled kalijuma 40. Drugim rečima, normalna spontana aktivnost bikinskog laguna pre eksplozije atomske bombe iznosila je najmanje 10^4 kirija. Ovo se ne razlikuje mnogo od aktivnosti produkata cepanja prikupljenih sa dna oko 18 meseci posle detonacije.

8.98 — Postoji mogućnost da se posle podvodne eksplozije atomske bombe radioaktivnost proširi na veliku površinu usled delovanja života u moru. Dobro je poznato da kopnene biljke apsorbuju i tako koncentrišu mineralne elemente iz zemlje i da se ovi dalje koncentrišu u životinjama koje se hrane biljkama. Slične prilike nastaju i u sredini kao što je voda;

proste biljke, tj. fotoplanktoni i alge apsorbuju hranljive soli iz vode te se one tada akumuliraju u višim vodenim vrstama, naprimjer, ribama koje neposredno ili posredno troše proste biljke.

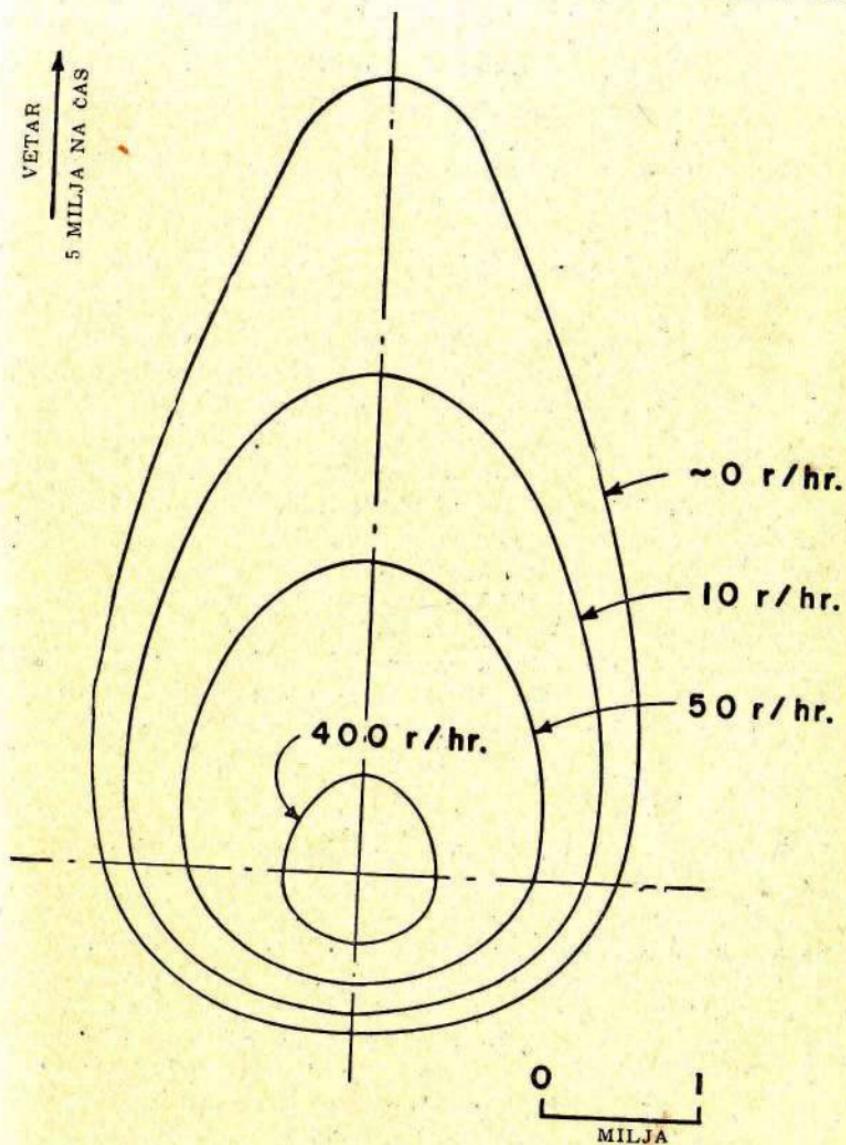
8.99 — U vodi koja sadrži radioaktivne materijale oni se koncentrišu u ribama na isti način i za isto vreme kao i stabilni oblici odgovarajućih elemenata. Ako riba ugine radioaktivni izotopi se ne gube već se vraćaju u vodu kao što čine stabilni izotopi, da bi još jedanput učestvovali u tom ciklusu života. Usled toga što je bikinski lagun opkoljen kopnom očigledno je da ima malo ili nimalo kretanja većih vodenih organizama van laguna tako da, kao što je gore spomenuto, ne postoji veća težnja za širenjem radioaktivnosti. Međutim, usled ponašanja riba selica, naprimjer, lososa, čepa itd., koje se hrane u moru a onda odlaze uz reku da uginu, ili ptica koje koncentrišu mineralne iz mora u izmetu, može da bude u nekim slučajevima izvesnog proširenja radioaktivnosti posle podvodne atomske eksplozije. Razmara takvog rasturanja i njegovo dejstvo zavisi bi uveliko od okolnosti i teško ih je proceniti.

RADIOAKTIVNO ZATROVANJE KOPNENIH POVRŠINA

8.100 — Podvodna eksplozija na Bikiniju dogodila se dosta daleko od obale da ne bi došlo do znatnijeg zatrovanja kopna. Nešto radioaktivne kiše palo je na velikim udaljenjima od centra eksplozije (§ 2.36), ali aktivnost nije bila značajna. Mora se međutim razmotriti mogućnost podvodne atomske eksplozije toliko blizu obale da znatne količine taloženja aktivnog materijala iz radioaktivnog oblaka i velikog talasa u podnožju vodenog stuba zahvate susedne površine kopna, kao i mogućnost dejstva na dokovska postrojenja, magacine itd. Kao što je ranije naznačeno, pošto je izvesna količina zatrovane vode otekla sa brodova na Bikiniju, vrednosti u slikama 8.91b i 8.91c mogu da predstavljaju procenu nešto manju od stvarne ako se primene na obalu. Međutim, može biti i ublažujućih faktora zbog taloženja aktivnog materijala na krovove ili isturene delove zgrada a takođe i usled dejstva zaklanjanja različnih postrojenja.

8.101 — Grubi pokušaj da se proceni kontaminacija, izražena brzinama doziranja zračenja obližnjih kopnenih površina od podvodne eksplozije nominalne atomske bombe 1 sat posle eksplozije, učinjen je u crtežu sl. 8.101. Ovi rezultati zasnovani su na pretpostavci da je aktivnost nastala usled pro-

dukata cepanja sa srednjom energijom gama zrakova od 0,7 mev (§ 8.11). Četiri prikazane konture predstavljaju brzine doziranja zračenja od 400, 50, 10 i približno nula rendgena na čas. U oblasti izvan poslednje konture opasnost usled radio-



Sl. 8.101 — Konture brzine doziranja zračenja na 1 čas posle eksplozije usled produkata cepanja od podvodne eksplozije.

aktivnosti može se uglavnom zanemariti, mada verovatno ne uvek. Trebalo bi zapamtiti da su rezultati zasnovani na pretpostavci da duva vetar brzinom od 5 milja na čas, kao što je to bio slučaj na Bikiniju. Razlika u brzini vетра i promena u pravcu ili brzini za kratko vreme posle eksplozije naravno bi znatno promenile sliku.

8.102 — Kombinovanjem rezultata slike 8.101 sa rezultatima u slikama 8.16 i 8.17 mogu se dobiti izvesni podaci koji se odnose na apsorbovane iznose doziranja i ukupnog doziranja u različnim vremenskim razmacima posle eksplozije. Opšti metod je isti kao što je pokazan u § 8.18.

E. ZATROVANJE ZRAČENJEM OD PODZEMNE EKSPLOZIJE

8.103 — Mada nema nikakvih raspoloživih podataka za dejstva podzemne eksplozije atomske bombe, moguće je izvršiti izvesna kvalitetna izlaganja koja se odnose na veličinu radioaktivnog zatrovanja. Ono zavisi u znatnoj meri od dubine na kojoj je bomba eksplodirala jer će ova odrediti deo produkata cepanja koji će biti uslovljen i stepen do kojeg će se ovi proizvodi izmešati sa izbačenom zemljom. Obrazovanje kratera i količina parčadi izbačene u vazduh pretstavljuju faktore koji utiču na veličinu radioaktivnog zatrovanja u neposrednoj blizini i na izvesnom udaljenju od eksplozije. Kod dosta plitke podzemne eksplozije, gde se materijal podloge sastoji od debljeg sloja peska ili mulja ali ne stene, može da dođe do pojave slične velikom talasu u podnožju vodenog stuba. Verovatno bi se stub sastojao od vrlo sitnih čestica zemlje zatrovanih produktima cepanja.

8.104 — Ekstrapolacija rezultata dobivenih iz proučavanja sa običnim bombama²⁰⁾ punjenim brizantnim eksplozivom pokazuje da bi kod eksplozije nominalne atomske bombe na dubini od 50 stopa prečnik kratera iznosio oko 800 stopa a dubina 100 stopa. Zapremina takvog kratera iznosila bi 10^8 kubnih jardi a njegova masa preko pola miliona tona. Ako bi aktivnost produkata cepanja bombe jednoliko zatrovala materijal iz ovog kratera, aktivnost bi posle jednoga sata od momenta eksplozije iznosila oko 6×10^3 kirija po kubnom jardu. Verovatno da bi veliki deo ovog zatrovanih materijala pao blizu kratera i da bi pretstavlja ozbiljnu opasnost.

²⁰⁾ Dodatak B.

8.105 — Verovatno da bi sam krater takođe bio zatrovani, pretpostavljajući da je jedna šestina aktivnosti produkata cepanja ostala u krateru, gustina kontaminacije bi jedan sat posle eksplozije iznosila 50.000 megakirija po kvadratnoj milji. Uzevši srednju energiju gama zraka od 0,7 mev, brzina doziranja bi iznosila 5×10^5 rendgena na sat u tački koja bi se nalazila oko 3 stope iznad zemlje. Intenzitet zračenja ove veličine ne bi samo činio prostor kratera nenastanjivim za duže vreme, već bi bio neprohodan čak i u brzom vozilu uz najmanji postotak sigurnosti. Prednji proračuni ne uzimaju u obzir aktivnost izazvanu neutronima kod elemenata kao što su silicijum i natrijum kojih ima u zemlji. Ovi bi nesumnjivo znatno doprineli radioaktivnosti u oblasti kratera.

8.106 — Sada vlada opšte mišljenje da bi jako zatrovani prostor usled podzemne eksplozije bio manji nego u slučaju podvodne eksplozije. Jedan od razloga je veća gustina zemlje od gustine vode tako da bi manja masa bila izbačena u vazduh i pala na izvesnom udaljenju od eksplozije. Međutim, mada zahvaćena površina može da bude manja, intenzitet zračenja može biti utoliko veći na malim otstojanjima od eksplozije bombe.

F. RADIOLOŠKI RAT IZVORI ZRAČENJA

8.107 — Ekstremni slučaj kontaminacije radioaktivnim izotopima iskrasao bi ako bi se takve supstance namerno upotrebile kao ofanzivno oružje. Ova mogućnost nosi opšti naziv *radiološki rat*, kojim se izrazom označava upotreba radioaktivnog materijala u ratne svrhe sa ciljem da se zatruju ljudi, objekti ili prostorije. Atomska bomba može se smatrati kao indirektno oružje radiološkog rata, jer je njena glavna namena da prouzrokuje fizičko razaranje, dok je radioaktivna kontaminacija sekundarnog značaja. Od značaja je da se ispituju razni vidovi upotrebe radioaktivnosti kao oružja, nezavisno od njene pojave kao rezultat cepanja u atomskej bombi.

8.108 — Kvantitativno mogu se radioaktivni materijali dobiti na dva načina. Prvo, produkti cepanja stvaraju se uvek u nuklearnim reaktorima (ili pećima) upotrebljenim za proizvodnju plutonijuma za atomske bombe (§ 1.47) ili za atomsku energiju. Znatne količine radioaktivnog materijala mogu se, razumljivo, tako dobiti kao sporedni produkt fabrikacije atomskeih bombi. Složena mešavina produkata cepanja može

se upotrebiti neposredno, ili se izvesni sastojci mogu izvući hemiskim postupcima.

8.109 — Drugo, zračenje mnogih stabilnih elemenata intenzivnim fluksom neutrona nuklearnog reaktora dovodi do obrazovanja radioaktivnih izotopa kao rezultat reakcije radijativnog hvatanja (§ 1.25). Izgleda da je za isti nivo snage nuklearnog reaktora moguće proizvesti veće količine radioaktivnog materijala, izraženo aktivnošću, putem hvatanja neutrona nego putem cepanja. U poslednjem slučaju produkt je složena mešavina sa raznim brzinama raspadanja, ali bi se u prvom slučaju mogao stvoriti, ukoliko se želi, određeni izotop koji bi bio tako izabran da bude pogodan kao sredstvo radiološkog rata. Međutim mora se imati na umu da stvaranje radioizotopa u nuklearnom reaktoru, kao rezultat hvatanja neutrona, znači da će se zatrovati istovetna količina materijala sposobnog za cepanje a koji se može upotrebiti u atomsкој bombi.

8.110 — Trebalo bi ukazati na to, da ne bi bilo ni u kom slučaju lako proizvesti velike količine radioaktivnih izotopa za radiološki rat. Pod povoljnim uslovima nuklearni reaktor radeći otprilike 100 dana sa proizvodnom energijom od milion vati, proizveo bi aktivnost od jednog megakirija. Ako bi se ova ravnomerno raširila preko ravne površine od jedne kvadratne milje, brzina doziranja bila bi na tri stope iznad površine samo 200 rendgena po danu za gama zrak od 1,5 mev (slika 8.33). Svakako da bi ova brzina opala sa vremenom u zavisnosti od vremena poluraspada materijala kojim se vrši kontaminiranje.

8.111 — Kao što se već videlo, štetna fiziološka dejstva proizvode četiri vrste nuklearnih zračenja, naime, neutroni, alfa čestice, beta čestice i gama zraci. Pored atomske bombe ne izgleda da postoji bilo koji praktičan način oslobođanja i rasipanja jakih izvora neutrona, te ih ne treba smatrati kao moguća sredstva radiološkog rata. Zbog svog kratkog dometa alfa i beta čestice bi imale malo dejstva izvan tela, ali izvesni materijali koji emituju alfa i beta čestice, kada se unesu gutanjem u telo, mogu da budu smrtonosni u relativno malim količinama. Morala bi da se sproveđe vrlo visoka koncentracija alfa ili beta aktivnog materijala na izvesnoj prostoriji da bi se obezbedilo da dovoljne količine uđu u tela stanovnika. Zaštita bi bila slična zaštiti usvojenoj protiv sredstava hemi-

skog rata, te izgleda neverovatno da bi se isplatio ovaj vid radiološkog rata.

8.112 — Jetko dejstvo materijala koji emituje beta čestice (§ 11.78) na kožu može pretstavljati značajnu opasnost, ali bi samo ovo teško moglo opravdati upotrebu čiste beta aktivne supstance kao ofanzivnog oružja. Ipak bi upotreba materijala koji emituje gama zračenje pretstavljala dodatni izvor povrede.

8.113 — Sve u svemu može se zaključiti da ako se radio-loški rat upotrebni kao oružje, onda bi to bilo u obliku materijala koji emituje prodorno gama zračenje za koje bi zaštitno odelo i gasmaske bili neefikasni. Sa takvim bi supstancama bilo lakše nego u drugim slučajevima postići stepen zračenja koji bi bio smrtonosan u slučaju dužeg delovanja. Međutim, izgledalo bi da je na velikoj površini teško ostvariti takvu koncentraciju materijala koji emituje gama zračenje da bi se prouzrokovala ozbiljna povreda u toku kratke izloženosti.

MOGUĆE PREDNOSTI VOĐENJA RADILOŠKOG RATA

8.114 — Pošto fiziološke posledice nuklearnih zračenja nisu uočljive za izvesno vreme posle apsorpcije, mogao bi se radiološki rat koristiti da se spriči zauzimanje određene prostorije bez nanošenja neposrednih gubitaka i razaranja. Kontaminacija nekog grada, naprimjer, mogla bi možda da onemogući njegovu upotrebu za stanovanje i da obustavi njegovu industriju bez prouzrokovanja ogromnog pustošenja eksplozivnim i zapaljivim bombama. Sumnjivo je međutim, sem kod izuzetno jako zatrovanih prostorija, da bi takvo onemogućavanje bilo potpuno efikasno. Smenjivanjem ljudstva, tako da ni jedna jedinka ne primi preveliku dozu zračenja, mogu se održavati postrojenja grada pa i u smanjenom obimu. U svakom slučaju prirodno raspadanje radioaktivnosti znači da bi se opasnost smanjila sa vremenom, sem ako ne bi došlo na istom mestu do ponovnog taloženja dodatnog materijala.

8.115 — Druga osobina radiološkog rata koju treba ubrati u prednost jeste njegova sažetost. Nekoliko funti izvesnih radioizotopa mogle bi da proizvedu aktivnost od nekoliko miliona megakirija. Produkti cepanja atomske bombe pružaju nam primer za to; ovde početna aktivnost od oko dve funte materijala iznosi milion megakirija. Ako bi se ovaj materijal mogao rasprostrti jednoliko na ograničenoj prostoriji, izazvao bi ozbiljne povrede. Međutim, kao što se može videti iz tablice

8.10, aktivnost opada brzo sa vremenom, smanjujući se faktorom od blizu 10.000 krajem prvog dana.

8.116 — Možda bi najznačajnija primena radiološkog rata bilo njegovo psihološko dejstvo kao misterioznog oružja, slično kao u početku upotrebe bojnih otrova i tenkova u Prvom svetskom ratu. Najbolji metod borbe protiv radiološkog rata jeste u ovom slučaju shvatiti ga i pripremiti se za borbu protiv njega. Mada se nuklearna zračenja ne mogu neposredno čulima otkriti, postoje instrumenti koji su vrlo osjetljivi na takva zračenja (vidi glavu IX). Upotrebom odgovarajućih sprava njihovo se prisustvo može učiniti uočljivim za oči i uši. Tada bi bilo potrebno preduzeti odgovarajuće korake da se zatrovana prostorija evakuiše prema opisu u glavi XII.

NEDOSTACI VOĐENJA RADIOLOŠKOG RATA

8.117 — Prirodno raspadanje radioaktivnog materijala znači da se opasnost kontaminacije smanjuje sa vremenom. Ova činjenica pretstavlja nedostatak radiološkog rata u drugom smislu, naime nije moguće stvoriti rezerve materijala za kasniju upotrebu kao što se to može činiti sa drugim oružjem, pošto postoji neprekidan gubitak aktivnosti. Prema tome aktivne se supstance moraju fabrikovati neprekidno da bi se održavala rezerva čak i kad oružje nije u upotrebi.

8.118 — Moglo bi se pomisliti da teškoća raspadanja može da se prebrodi upotrebom radioizotopa sa dugim vremenom poluraspada. Ovo nije naročito praktično pošto je aktivnost date mase radioizotopa u kirijima obrnuto proporcionalna njegovom vremenu poluraspada i njegovoj atomskoj težini. Morale bi se upotrebiti srazmerno velike količine materijala, a bilo bi teže postići visoki stepen aktivnosti u nekoj tački na zemlji. Razume se, ako bi radioaktivni izotop sa dugim vremenom poluraspada mogao da se upotrebi za proizvođenje znatne aktivnosti, to bi značilo da bi prostorija ostala zatrovana za duže vreme.

8.119 — Ako se upotrebe materijali koji emituju gama zrake kao sredstva radiološkog rata, a izgleda da su ovi jedini koji bi verovatno bili efikasni, iskrsoao bi problem zaštite ljudstva od zračenja za vreme produkcije, čuvanja i isporuke oružja. Upotreba odgovarajućih štitova, verovatno od betona, gvožđa ili olova, umnogome bi povećala težinu municije i komplikovala način rasturanja materijala na cilj. Jednolika raspodela relativno male količine materijala na velikoj pro-

istoriji pretstavljala bi sama po sebi težak problem čije bi rešenje moglo da svede na nulu prednost kompaktnosti.

8.120 — Pošto bi bila usporena fiziološka dejstva takvog sredstva, to se radiološki rat ne bi mogao da koristi kao taktičko oružje u vojničkom smislu ove reči. Operacije bi se mogle nastaviti na zatrovanoj prostoriji ako bi sile koje zauzimaju tu prostoriju bile ili voljne da rizikuju verovatne buduće gubitke, ili ako bi postojalo periodično smenjivanje ljudstva da se izbegne prekomerna izloženost zračenju.

8.121 — Pošto je nemoguće pretkazati, kao i u slučaju hemiskog rata, da li će se radiološki rat koristiti ili ne, to je potrebno razumeti ga i biti spreman za njega. Samo u slučaju nespremnosti posledice će verovatno biti isto toliko ozbiljne kao i razaranje prouzrokovano atomskom bombom.

GLAVA IX¹

MERENJE NUKLEARNIH ZRAČENJA

A. OSOBINE I DEJSTVA ZRAČENJA ZRAČENJA KOJA IZAZIVAJU JONIZACIJU

9.1 — Predmet merenja nuklearnih zračenja različnih vrsta vrlo je obiman. Otuda će se obrada u ovom izlaganju ograničiti uglavnom na one pojave koje su od značaja za otkrivanje radioaktivne zatrovanosti posle atomske eksplozije. Pri razmatranju merenja nuklearnih zračenja pogodno je podeliti ih u dve kategorije, naime, zračenja sa električnim nabojem i neutralna zračenja. Prva se sastoje od beta čestica (elektrona), alfa čestica i fragmenata cepanja koji prvo bitno nose relativno velike električne naboje. Neutralna nuklearna zračenja su gama zraci i neutroni; ova su uglavnom prodornija od zračenja sa električnim nabojem, te su prema tome značajnija sa gledišta ovog izlaganja. Međutim, radi jasnoće izlaganja razmotriće se najpre čestice sa električnim nabojem.

9.2 — Pri svom prolazu kroz gas električno nabijena čestica će se dovoljno približiti nekom atomu ili molekulu tako da će električna sila kojom ona deluje biti dovoljna da otrgne elektron iz njih. Ostatak atoma ili molekula posle gubitka elektrona je pozitivno nabijeni jon; izdvojeni elektron i tako obrazovani jon stvaraju *jonski par*. Dakle, električno nabijene čestice pretstavljaju čestice koje izazivaju ionizaciju i pošto prolaze kroz neki gas ostavljaju na svojoj putanji za sobom izvestan broj jonskih parova. Kod nabijenih čestica iste mase čestice koje nose veći naboј prouzrokovajuće bržu ionizaciju. Dalje, kod čestica iste energije one čestice koje imaju veću masu imaće veće dejstvo na stvaranje ionizacije, pošto se kreću sporije, sile interakcije (uzajamnog delovanja) koje nastaju pri ionizaciji deluju za izvesno duže vreme na datom otstojanju.

¹⁾ Materijal stavili na raspolaganje F. R. Shonka, H. L. Wyckoff.

9.3 — Energija interakcije između električno nabijene čestice i elektrona nekog atoma ili molekula može da bude nedovoljna za prouzrokovanje ionizacije atoma ili molekula, ali se može preneti dovoljno energije da bi se on podigao na viši nivo energije, tako da se atom ili molekul nalazi u pobuđenom stanju (8.38). Prema tome, kada se električno nabijena čestica kreće kroz neki gas ona gubi energiju uglavnom putem procesa ionizacije i pobuđivanja atoma ili molekula duž svoje putanje. Ove dve vrste interakcije mogu se upotrebiti kao baza metoda za merenje zračenja sa električnim nabojem. Na prvom mestu postoji mogućnost da se odredi ukupan naboj proizvedenih jonskih parova pre nego što se kombinuju da bi obrazovali neutralne atome ili molekule. Na drugom mestu, može se proučiti karakteristično zračenje (fluorescencija) koje emituje pobuđeni atom ili molekul pri vraćanju na svoje normalno stanje energije.

9.4 — Dok električno nabijene čestice izazivaju ionizaciju i pobuđivanje neposredno, neutralna zračenja, tj. gama zračenja i neutroni čine to posredno. Međutim, pošto su krajnja dejstva u suštini ista u svim slučajevima, to nisu u pitanju nikakva nova načela u vezi sa merenjima takozvanih neutralnih nuklearnih zračenja. Kao što se videlo u glavi VIII, interakcija gama zračenja sa materijom praćena je izbacivanjem elektrona velike energije. Merenje gama zrakova svodi se, dakle na studiju elektrona koje oni proizvode.

9.5 — Kada se brzi neutron sudari sa atomom vodonika, koji može da bude deo nekog jedinjenja, naprimjer, vode ili parafina, neutron može da prenese znatnu količinu energije na atom, koji se izbacuje kao pozitivno nabijeni vodonični jon ili proton. Tako obrazovani izbačeni proton izaziva ionizaciju na svojoj putanji, omogućavajući na taj način svoje otkrivanje. Spore neutrone hvata izotop bora uz obrazovanje jona litijuma i jedne alfa čestice od kojih su oboje u stanju da izazovu ionizaciju. Na taj način mogu se vršiti merenja neutrona posmatranjem dejstava izazvanih električno nabijenim zračenjem koje nastaje iz njihove interakcije sa odgovarajućim supstancama. Upotrebljene su i druge metode za merenje neutrona, ali njih ne treba ovde naročito razmatrati zato što otkrivanje neutrona verovatno neće biti od značaja u vezi sa radioaktivnom kontaminacijom koja nastaje od atomske bombe ili čak kod namerne upotrebe radioizotopa kao oružja.

9.6 — Prema gore rečenom, obim ili gustina ionizacije proizvedena zračenjem koje izaziva ionizaciju pri prolazu kroz neki gas, zavisiće od njegove mase, energije i veličine električnog naboja. Priroda gasa je takođe značajna, jer je energija koja je potrebna da proizvede jonski par različna za razne gasove. Za vazduh, naprimjer, električno nabijena čestica gubi prosečno oko 33 elektron-volti energije za svaki proizvedeni jonski par (§ 7.41). Ova se vrednost menja unekoliko sa identitetom i energijom čestice koja izaziva ionizaciju, ali cifra 33 može da se usvoji kao zadovoljavajuća aproksimacija.

9.7 — Gustina ionizacije se izražava obično *specifičnom jonizacijom*, tj. brojem jonskih parova po santimetru putanje. Specifična ionizacija beta čestica u vazduhu pri normalnom atmosferskom pritisku menja se od oko 30 do 300 prema početnoj energiji čestice. Za alfa čestice radioaktivnog porekla gustina ionizacije iznosi približno 40.000 do 100.000 jonskih parova po santimetru putanje. Pošto alfa čestice koje su izbačene iz radioaktivnih jezgra brže gube svoju energiju na tom putu, to imaju i mnogo kraći domet nego beta čestice slične energije (vidi glavu VIII). Jedan nabijeni fragment cepanja ima mnogo veću specifičnu ionizaciju nego fragment alfa čestice, ali gustina ionizacije opada duž putanje pošto fragmenti cepanja primaju elektrone, te tako postepeno gube svoj naboј.

9.8 — U slučaju tečnih i čvrstih tela procesi su nešto složeniji ali slični pobuđivanju i ionizaciji. Zbog toga, ako su takve supstance izložene nuklearnom zračenju, one mogu da fluoresciraјu, tj. da emituju svetlost i mogu se načiniti provodljivim usled razdvajanja naboja u njima. Kao i u slučaju gasova, isto tako i kod tečnosti i čvrstih tela, obe se osobine, naime fluorescencija i provodljivost, mogu koristiti za otkrivanje električno nabijenog zračenja.

9.9 — Neki kristali imaju srazmerno visoku fluorescenciju, sem toga dužine putanja električno nabijenih zračenja u kristalima su veoma kratke. Obe ove činjenice omogućavaju da se fluorescentno zračenje koncentriše na malu osetljivu spravu za otkrivanje svetlosti kao što je fotomultiplikatorska cev. Na ovaj način mogu se kristali koristiti kao sredstva za otkrivanje zračenja. Interesantna osobina nekih kristala je činjenica da se oni ne vraćaju u svoja normalna stanja odmah posle interakcije sa električno nabijenim zračenjem. Tako dobivena energija je, u izvesnom smislu, uhvaćena u kristalu

i može se oslobođiti nešto kasnije pomoću nekog spoljnijeg činioca kao, naprimjer, svetlošću koja osvetljava kristal.

9.10 — Kristali, kao što su hlorid srebra, kalijum jodid, dijamant kalcijum volframat, natrijum jodid, naftalin, antranacen i drugi, upotrebljavaju se, sada, uglavnom kao sredstva za istraživanje, za proučavanje merenja zračenja. Mada nisu još upotrebljeni u velikoj meri u radu oko istraživanja zaštite od zračenja, ipak je učinjen korak u ovome pravcu i u budućnosti se mogu očekivati važna otkrića.

9.11 — Pored gore spomenutih posledica pobuđivanja i ionizacije, postoje i druga dejstva koja se stvaraju i koja se mogu koristiti za merenje zračenja sa električnim nabojem. Tako pobuđivanje i ionizacija mogu da izazovu hemiske promene od kojih je najznačajnija obrazovanje latentne slike na fotografskoj emulziji. Po razvijanju ploče ili filma zapažena je pocrnelost ili zamagljenost koja je nastala usled indirektnog delovanja električno nabijenog zračenja. Otkriće X-zrakova i radioaktivnosti bilo je ustvari posledica dejstva zračenja na fotografске ploče a metod je još uvek u širokoj upotrebi kod mnogih oblika merenja zračenja.

9.12 — Trebalo bi primetiti da je upotreba fotografskih emulzija za kvantitativna merenja nuklearnih zračenja zasnovana na pretpostavci da iznos fotohemiskog delovanja zavisi samo od ukupne apsorbovane energije i da ne zavisi od brzine apsorpcije. Ova postavka, poznata kao zakon reciprociteta za fotohemiske reakcije, proverena je opitima za alfa i beta čestice i za gama zrake.

9.13 — Druga značajna mogućnost za merenje nuklearnih zračenja koja se ispituje je da hemiska dejstva proizvedena takvim zračenjima mogu da imaju za posledicu promenu boje kod izvesnih supstanci. Proste sprave za otkrivanje mogle bi se konstruisati ako bi se mogao koristiti ovaj princip, ali su dosada u ovome pravcu postignuti samo ograničeni uspesi.

B. INSTRUMENTI NA PRINCIPU JONIZACIJE GASOVA JONIZACIONE KOMORE

9.14 — Zamislimo dve provodljive elektrode izolovane jedna od druge, smeštene u zatvorenom sudu u kome se nalazi vazduh. Vezivanjem ovih elektroda za bateriju može se jedna napuniti pozitivnim elektricitetom a druga negativnim. Potencijal između elektroda proporcionalan je njihovom naboju, a ove dve veličine povezane su kapacitetom ili odnosom naboja

prema potencijalu sistema (kapacitancom), koji se definiše kao naboј potreban da se izazove potencijalna razlika od jednog volta između elektroda. Ako su elektrode dobro izolovane one će zadržati svoj naboј čak i kada se baterija isključi. Uređaj ovakve vrste pretstavlja u načelu ionizacionu komoru.

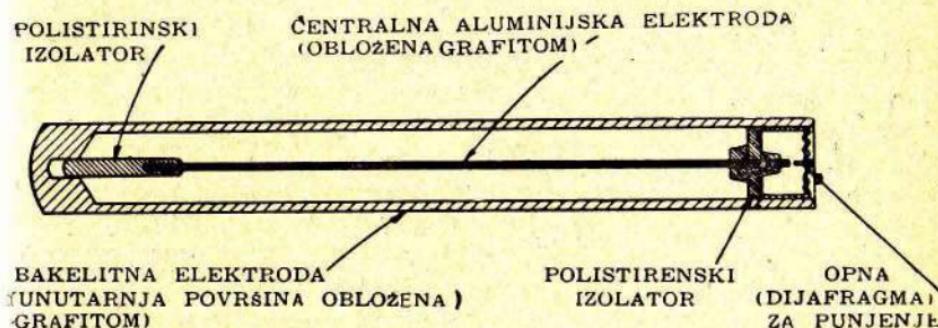
9.15 — Pretpostavimo sada da je gore opisani uređaj izložen zračenju koje je u stanju da proizvede ionizaciju u vazduhu. Čim joni dođu u električno polje između nabijenih elektroda na njih deluje sila koja izaziva da se oni sa pozitivnim znakom skupljaju na negativnoj elektrodi i obrnuto. Naboј sakupljen ovim načinom isprazniće delimično elektrode, smanjujući tako potencijal između njih. Iz promene u potencijalu i poznatog odnosa naboјa može se odrediti količina prikupljenog naboјa na elektrodama. Prikupljeni naboј biće nezavisan od stvarnog potencijala između elektroda, pod uslovom da se ovaj potencijal održava dovoljno visokim da bi osigurao da svi proizvedeni joni budu stvarno prikupljeni. Ova količina naboјa je tada mera doze zračenja koja je ušla u ionizacionu komoru.

9.16 — Poznat i jednostavan oblik ionizacione komore je elektroskop sa zlatnim listićem. Sud ili kutija u kojoj je smešten listić deluje kao jedna elektroda a metalna šipka po sredini, izolovana od kutije, deluje kao druga elektroda; blizu kraja središne elektrode privezan je zlatan listić. Potencijalna razlika stvorena je između kutije i izolovane šipke pomoću baterije; usled ove zlatan listić otstupa od šipke. Zapaženo otstupanje je mera potencijala između elektroda i ukoliko je potencijal veći utoliko je i otstupanje veće. Ako se joni proizvedu u sudu usled izloženosti zračenju električni naboјi suprotnih znakova skupljaju se na elektrodama, potencijal opada a otstupanje zlatnog listića se smanjuje. U načelu bilo bi moguće izvršiti kalibraciju elektroskopa sa zlatnim listićem tako da se prikupljeni naboј, a otuda i doza zračenja, može da proceni iz kretanja zlatnog listića.

9.17 — Za praktično merenje zračenja upotrebljavaju se razne usavršenije vrste ionizacione komore. Jedan oblik lične džepne komore (slika 9.17) koja nalazi široku upotrebu za uporavovanje ljudstva zaposlenog oko instalacija Komisije za atomsku energiju Sjedinjenih Američkih Država, tj. koja služi za utvrđivanje izloženosti ljudstva zračenju, slična je džepnom nalivperu po veličini i obliku. Ona se sastoji od središnje elektrode u vidu žice izolovane od kutije, obložene sa unu-

trašnje strane grafitom, koji deluje kao druga elektroda. Elektrode su nabijene do poznatog potencijala i uređaj se nosi u džepu za vreme rada. Ako nije bilo izloženosti zračenju koje izaziva ionizaciju i ako nije bilo nikakvog oticanja naboja, potencijal će ostati nepromenjen. Međutim, ako nastupi izloženost zračenju, vazduh u komori će postati jonizovan; joni suprotnih naboja kreću se tada ka dvema elektrodama i smanjuju potencijal između njih. Na kraju radnog dana džepna komora se stavlja na elektrometar za merenje potencijala. Iz razlike između ove i početne vrednosti može se odrediti prikupljeni naboј, a otuda i doza zračenja.

9.18 — Džepna komora je prosta i pouzdana, ali joj je rđava strana što se mora radi čitanja potencijala doneti do elektrometra. Kod džepnog dozimetra sa neposrednim čitanjem (slika 9.18), koji je sličnog oblika i veličine a pretstavlja, takođe, komoru za ionizaciju, uključena je sprava sa podelama tako da se doziranje može neposredno odrediti u svako doba.



Sl. 9.17 — Džepna komora za ličnu upotrebu.

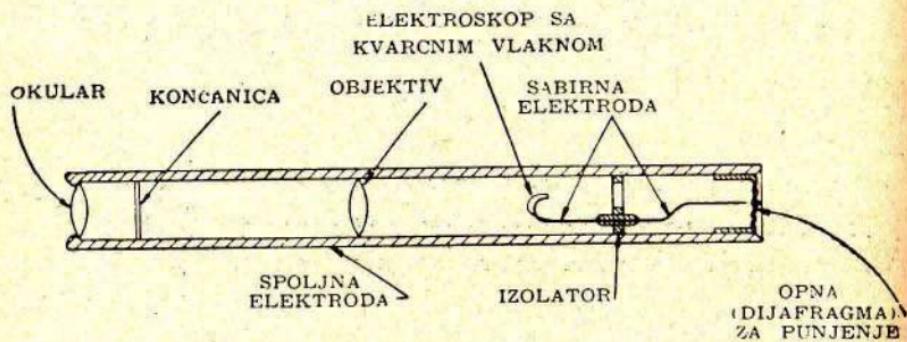
TIP INSTRUMENTA ZA LIČNU UPOTREBU

Džepna komora

Zračenje koje se otkriva	— —	Gama
Ukupni opseg merenja	— — —	0,2 r, 10 r, 50 r, 100 r.
Zahvaćena površina ili zapremina komore	— — — —	5 cm ²
Vrsta detektora	— — — —	Ionizaciona komora
Vrsta konverzije (uređaja za pretvaranje)	— — — —	Elektroskop u posebnoj kutiji za punjenje i čitanje
Pokazivač	— — — —	Elektrometarsko vlakno koje se projektuje na skali ili slika vlakna na končanici mikroskopa.

Težina	— — — — —	Jedna unca (28,34 gr ili $\frac{1}{16}$ deo funte).
Zapremina ili dimenzije	— — — — —	0,5 × 5 palaca
Izgled	— — — — —	Slično džepnom nalivperu
Život baterije	— — — — —	—
Glavni uzroci kvara	— — — — —	Pražnjenje kroz izolator elektrode
Primedbe	— — — — —	Vrlo prosta pouzdana sprava

Kao i pre, razlika potencijala primenjuje se između kutije, kao jedne elektrode, i središne žice koja ima metalom obloženo kvarcno vlakno koje deluje kao zlatni listić kod elektroskopa. Kada se dozimetar napuni, kvarcno vlakno otstupa od žice, ali ako se prikupe joni kao posledica izloženosti zračenju, otstupanje se smanjuje. Položaj kvarcnog vlakna na skali sa podelama, koja se osmatra kroz mali mikroskop postavljen na jedan kraj komore, daje u svako doba dozu zračenja primljenu do toga vremena.



Sl. 9.18 — Džepni dozimetar sa neposrednim očitavanjem.

TIP INSTRUMENTA ZA LIČNU UPOTREBU

Džepni dozimetar sa automatskim očitavanjem

Zračenje koje otkriva	— — —	Gama
Ukupni opseg merenja	— — —	0,2 r, 10 r, 50 r.
Zahvaćena površina ili zapremitina komore	— — — — —	2,5 cm ³
Vrsta konverzije (uređaja za pretvaranje)	— — — — —	Elektroskop sa prevučenim kvarcnim vlaknom.
Pokazivač	— — — — —	Slika elektroskopskog vlakna na končanici mikroskopa.
Težina	— — — — —	1 unca
Zapremina ili dimenzije	— — — — —	0,5 × 5 palaca
Izgled	— — — — —	Slično džepnom nalivperu
Glavni uzroci kvara	— — — — —	Pražnjenje kroz izolator elektrode
Život baterije	— — — — —	—
Primedbe	— — — — —	Vrlo prosta pouzdana sprava

9.19 — Isto se načelo koristi u većoj razmeri kod instrumenta za ispitivanje sa kvarcnim vlaknom (slika 9.19). Ovo je prost instrument koji se upotrebljava za upozorenje u prostorijama gde može doći do radioaktivne zatrovanosti. Ovaj instrument ima ionizacionu komoru zapremine od oko 300 cm^3 . Pored elektroda, kvarcnog vlakna i mikroskopa poseduje još i spravu za određivanje vremena (štopericu). Skala instrumenta je tako podjeljena da pokazuje, pomoću štoperice, neposredno brzinu doziranja tj. dozu u rendgenima u jedinici vremena.

9.20 — Prethodni primeri spadaju u red elektrostatičkih instrumenata za merenje zračenja. Međutim, ako baterija za napajanje ostane vezana sa ionizacionom komorom, kao što je šematski naznačeno u sl. 9.20a, voltaža između elektroda ostaće konstantna, pošto baterija napaja komoru istom brzinom kojom se komora prazni usled sakupljanja jona. Jačina struje napajanja u bateriskom kolu zove se *ionizaciona struja* i predstavlja meru vrednosti doze zračenja. Ova ionizaciona struja je uopšte

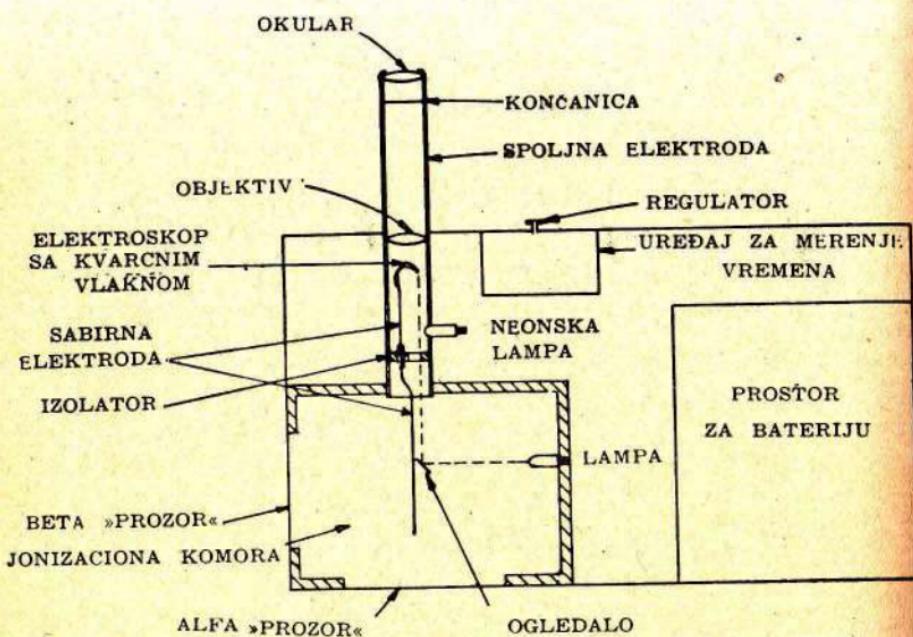
TIP INSTRUMENTA ZA ISPITIVANJE TERENA

Sprava za ispitivanje sa kvarcnim vlaknom

Zračenje koje otkriva	— — —	Beta i gama
Ukupni opseg merenja	— — —	{ 0—100 mr/čas } gama
Zahvaćena površina ili zapremina na komore	— — —	300 cm ³
Vrsta detektora (uredaja za otkrivanje)	— — —	Ionizaciona komora
Vrsta konverzije (uredaja za pretvaranje)	— — —	Elektroskop sa kvarcnim vlaknom
Pokazivač	— — —	Brzina pomeranja vlakna elektronskoga na končanici u mikroskopu
Težina	— — —	5 funti
Zapremina ili dimenzije	— —	4 × 7 × 6 palaca
Izgled	— — —	Pravougaona kutija sa isturenom mikroskopskom cevi
Zivot baterije	— — —	100 časova za veštačko osvetljenje
Glavni uzroci kvara	— — —	—
Primedbe	— — —	Prosta, održava svoju skalu, inače se upotrebljava kao drugostepe na vrsta

vrlo mala. Naprimjer, maksimalna dopustiva doza zračenja za radni dan od 8 časova proizvela bi prosečnu struju od 1×10^{-11} ampera u jednom litru vazduha pri atmosferskom pritisku. Međutim, takve male struje mogu se odmah meriti pomoću

pojačivača sa elektronskim cevima. Neki od ovih instrumenata upotrebljavaju često na komorama promenljive zaklone za apsorbovanje, tako da postoji mogućnost za razlikovanje različ-



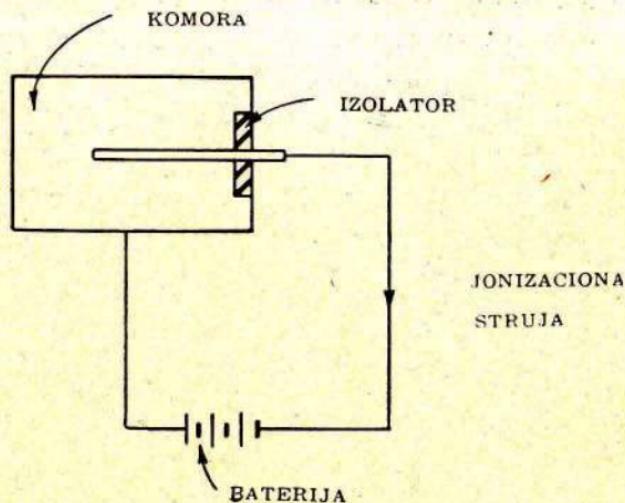
Sl. 9.19 — Instrument za nadzor sa kvarcnim vlaknom.

nih vrsta zračenja usled njihove različne prodrobe moći (slika 9.20b).

9.21 — Jonizaciona komora je jedan od najprilagodljivijih instrumenata za merenje zračenja. Njene se karakteristike mogu menjati sa promenom bilo koga od sledećih faktora: materijala zida i prirode gasa, pritiska gasa, veličine komore, osetljivosti uređaja za pretvaranje i pokazivača. Ukupna osetljivost koja se može postići sa stabilnim instrumentom ograničena je samo statističkom fluktuacijom spontanog zračenja.

9.22 — Zbog svoje velike specifične ionizacije alfa i druge čestice, koje izazivaju jako ionizovanje, proizvode osetne impulse u jonizacionoj struji; ovo je podloga za jonizacionu komoru za brojanje impulsa. Impulsi se mogu elektronski pojačati da bi pokretali mehanički registar. U slučajevima gde se želi brzo brojanje, impulsi se proporcionalno razređuju elektronskim putem, naprimjer, brojanjem samo svakog desetog ili

stotog impulsa, čime se omogućava brojanje brzinom daleko iznad granične brzine brojanja mehaničkog registra. Impulsne



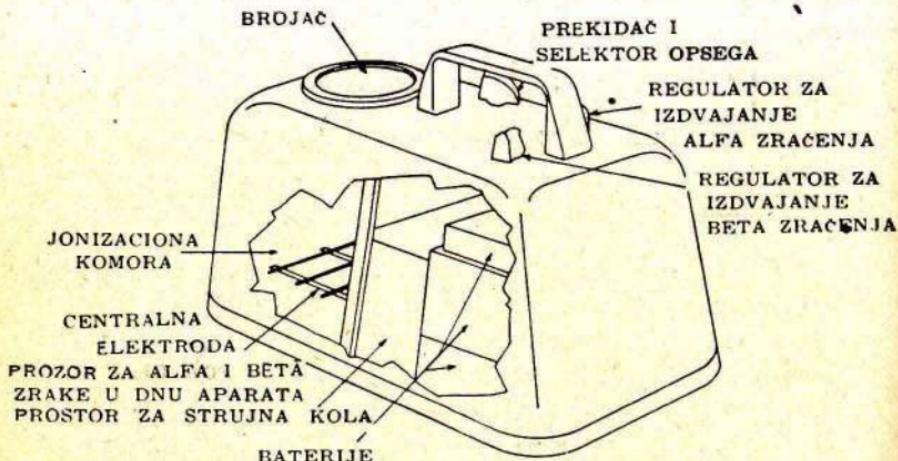
Sl. 9.20a — Šematski prikaz ionizacione komore koja se upotrebljava za merenje brzine doziranja.

TIP INSTRUMENTA ZA ISPITIVANJE TERENA

Merač za alfa, beta i gama ispitivanje

Zraćenje koje otkriva	— — —	Alfa, beta, gama
Veličina pune skale	— — —	0—25mr/č za gama (neki su instrumenti konstruisani za čitanje do 500 r/č) 0—40.000 raspada/minut za alfa.
Zahvaćena površina ili zapremina komora	— — — —	Komora od 100 cm^3 sa »prozorom« od 100 cm^2 .
Vrsta detektora	— — — —	Jonizaciona komora
Vrsta konverzije (uredaja za pretvaranje)	— — — —	Elektrometar sa amplifikatorom
Pokazivač	— — — —	Merač za merenje proizvedene struje
Težina	— — — —	9 funti
Zapremina ili dimenzije	— — —	$5 \times 6 \times 12$ palaca
Izgled	— — — —	Pravougaona kutija sa promenljivim filterima sa donje strane ionizacione komore.
Život baterije	— — — —	1.000 časova
Glavni uzrok kvara	— — — —	Obične teškoće amplifikatora jednosmerne struje, kao što su izolacija, pomeranje i fluktuacije volatže baterije.
Primedbe	— — — —	Vrlo koristan kao merač za opšta ispitivanja.

komore su vrlo korisne u laboratoriji ali se ne mogu upotrebiti kod konstrukcije prenosnih instrumenata usled potrebnog



Sl. 9.20b — Instrument po principu ionizacione komore sa apsorbujućim zastorom.

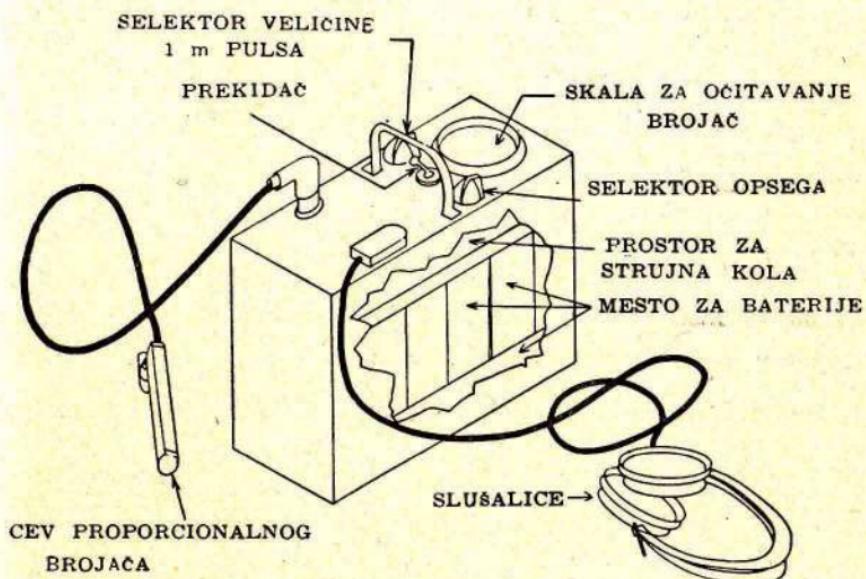
velikog pojačanja elektronskog kola. Važno je primetiti da kod opisanog oblika komora za brojanje impulsa broji slučajevе jonizovanja a ne meri ukupnu izazvanu ionizaciju u gasu.

KOMORA ZA PROPORCIONALNO BROJANJE

9.23 — Kod različnih oblika ionizacione komore upotrebljavaju se relativno slaba sabirna polja. Međutim, ako je električno polje dovoljno jako, elektron iz jonskog para može da stekne dovoljno energije na udaljenju srednje slobodne putanje da bi jonizovao atome ili molekule sa kojima se suda ra; tako obrazovani elektroni proizvode još više jona itd. Ovaj proces množenja ionizacije naziva se gasna amplifikacija, a odnos ukupnog broja proizvedenih jona prema broju jona, obrazovanih prvobitnom česticom koja izaziva ionizovanje ulazeći u komoru, naziva se faktor *gasne amplifikacije*. Gasna amplifikacija može da se postigne bilo povećanjem jačine električnog polja, smanjujući energiju koja je potrebna za prouzrokovanje ionizacije pogodnim izborom gasa za komoru, ili smanjenjem pritiska gasa. Smanjenje pritiska gasa ustvari povećava dužinu srednje slobodne putanje.

9.24 — Jedan metod koji se upotrebljava za postizanje jakih električnih polja uz umerenu voltažu jeste korišćenje

dva koaksijalna cilindra kao elektrode, od kojih unutrašnji cilindar treba da bude vrlo tanka žica. Centralna žica ima pozitivni naboј i u blizini ove žice postoje jaka električna polja. Usled gasne amplifikacije može ukupno sakupljeni naboј da bude mnogo puta veći, iako je on uvek srazmeran naboju usled prvobitne početne ionizacije; otuda ova naprava nosi naziv *proporcionalni brojač*. Običan faktor amplifikacije može



Sl. 9.24a — Proporcionalni brojač za alfa čestice.

se nalaziti negde između 100 i 100.000. Ova vrsta brojača može se upotrebiti samo za alfa čestice (slika 9.24a) ili samo za beta čestice u prisustvu gama zračenja. Impuls struje primećen je uglavnom usled skupljanja elektrona pomoću centralne žice. Zahvaljujući velikoj pokretljivosti elektrona impulsi su vrlo kratkotrajni te se brojač može upotrebiti za velike brzine brojanja. Proporcionalni brojači sa velikim »prozorima«, tj. površinom kroz koju zračenje ulazi u komoru, mogu se izraditi ako se upotrebi izvestan broj paralelnih žica. Brojači sa tako velikim osetljivim površinama su onda pogodni za merenje alfa zatrovanih na rukama i odelu, zatrovane prašine koja se skupila na filter papiru (slika 9.24b) i kontaminacije na stolovima i drugim površinama.

GAJGER-MILEROVI BROJAČI

9.25 — Kod proporcionalnog brojača faktor gasne amplifikacije ne može se beskonačno povećavati, pošto nastaje nova pojava, pri kojoj se množenje jona širi duž cele osetljive površine brojača, te nastupa pražnjenje koje se samo od sebe nastavlja. Kada se instrument upotrebi na ovaj način onda se naziva *Gajger-Milerov brojač* (ili *cev*); veličina impulsa ne zavisi od broja elektrona koji su ga izazvali, pošto čak jedan jedini elektron može da izazove pražnjenje u cevi. Gajger-Mi-

TIP INSTRUMENTA ZA ISPITIVANJE TERENA

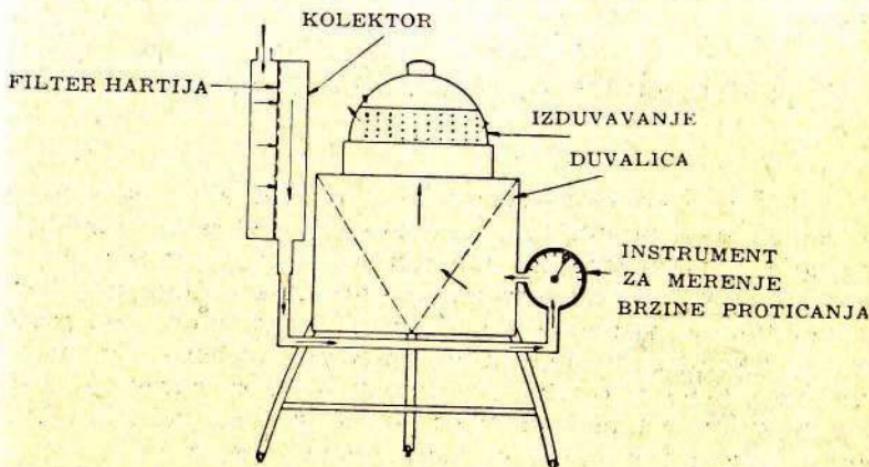
Prenosni proporcionalni brojač

Zračenje koje otkriva	— — —	Samo alfa
Veličina pune skale	— — —	{ 0—2.000 raspada/minut 0—20.000 raspada/minut
Zahvaćena površina ili zapremina komore	— — — —	100 cm ²
Vrsta detektora	— — — —	Komora za proporcionalno brojanje sa 4 žice
Vrsta konverzije (uredaja za pretvaranje)	— — — — —	Amplifikator impulsa velike osetljivosti.
Pokazivač	— — — — —	Brzina brojanja na strujomeru ili slušalicama.
Težina	— — — — —	16 funti
Zapremina ili dimenzije	— — — —	5 × 8 × 12 palaca
Izgled	— — — — —	Pravougaona kutija sa alfa prozorom na dnu.
Život baterije	— — — —	80 časova
Glavni uzroci kvara	— — — —	Pražnjenje visoke voltaže usled vlažnosti.
Primedbe	— — — — —	Koristi napunjeni kondenzator za visoku voltažu uz komoru za brojanje.

lerovi brojači će zbog toga brojati svako zračenje koje će provesti najmanje jedan jonski par u unutrašnjosti cevi. Beta zraci koji prođu kroz zidove cevi brojaće se sa skoro stoprocentnom mogućnošću, dok će se brojati samo oni gama zraci koji proizvedu ionizaciju u cevi ili sekundarne fotoelektrone sa unutrašnje površine cevi. Efikasnost brojanja za ovo zračenje obično je manja od jednog procenta.

9.26 — Pre nego što brojač može da se odazove na drugi slučaj ionizovanja potrebno je prekinuti pražnjenje. Ovo se vrši organskim parama u cevi brojača ili spoljnim elektronskim metodama. Veličina impulsa zavisiće od konstrukcije samog

brojača kao i od spoljnog kola. Ovi impulsi mogu iznositi mnogo volti, tako da mogu proizvesti čujne zvuke u slušalica-
ma bez dopunskog spoljnog pojačanja. Gajger-Milerovi brojači



Sl. 9.24b — Uredaj za filtriranje vazduha.

TIP INSTRUMENTA ZA ISPITIVANJE TERENA

Filterska ćelija

Zračenje koje otkriva — — — Alfa kontaminaciju na prašini sa-
kupljenoj uvlačenjem vazduha
kroz filtersku hartiju.

Ukupni opseg registrovanja — — — Zahvaćena površina ili zapremina komore — — — — — Veličina filterske hartije $5,2 \times 9,5$ inča.

Vrsta detektora	— — — — —	Filterska hartija analizirana za ak- tivnost sa prenosnim ili propor- cionalnim brojačem naizmenične struje.
Vrsta konverzije (uredaja za pret- varanje)	— — — — —	
Pokazivač	— — — — —	

Težina	— — — — —	35 funti
Zapremina ili dimenzije	— — — — —	$12 \times 12 \times 20$ palaca
Izgled	— — — — —	Ventilator na principu vakuum apa- rata za usisavanje prašine sa meraćem brzine protoka i drža- ćem filter hartije.
Zivot baterije	— — — — —	—
Glavni uzroci kvara	— — — — —	—
Primedbe	— — — — —	—

naročito su korisni kao laki, prenosni, osetljivi instrumenti za detekciju. Ovde bi trebalo takođe primetiti da Gajger-Milerovi brojači registruju pojedinačne slučajeve ionizacije, a da ne mere količinu proizvedene ionizacije zračenjem u gasu brojača.

C. INSTRUMENTI ZA UPOZORENJE NA ZRAČENJA

UVOD

9.27 — Kod instrumenata za upozorenje na opasnost od zračenja upotrebljavaju se, uglavnom, 4 metode za otkrivanje zračenja i rukovanje instrumentima, naime, ionizaciona komora, komora za proporcionalno brojanje i Gajger-Milerovi brojači koji su zasnovani na ionizaciji u gasovima i fotografiski proces zasnovan na hemiskim dejstvima zračenja. Prema već iznetom glavna naknadna zračenja koja će se verovatno sresti kod atomske bombe i radiološkog ratovanja jesu gama zraci, beta i alfa čestice. Prema tome razmotriće se istim redom reagovanje ova četiri tipa detektora prema ovim zračenjima pošto on pretstavlja njihov relativni značaj za sadašnju svrhu.

MERENJE GAMA ZRAČENJA

9.28 — Zbog svoje velike prodorne moći gama zraci pretstavljaju verovatno zračenja koja se mogu najlakše otkriti. Ona su takođe najvažnija zračenja za tačno merenje, jer spoljna izloženost velikoj dozi gama zračenja može da ima štetna fiziološka dejstva. Jedinica koja se upotrebljava pri merenju doze gama zrakova je rendgen, kao što je već objašnjeno (§ 7.41). Brzina doziranja određena je obično u rendgenima apsorbovanim po jedinici vremena, tj. r po minutu ili r na čas.²⁾

9.29 — Kod ionizacione komore postoji znatna sloboda u pogledu veličine, oblika, materijala i debljine zida, sastava i pritiska gasa (§ 9.21); usled toga može se ovaj detektor konstruisati da bude osetljiv za različne stupnjeve zračenja. Najveća osetljivost nije, međutim, u skladu sa prenosljivošću. Najvažnija činjenica kod instrumenta za ispitivanje sa ionizacionom komorom je da postoji obično mogućnost da se konstruiše za čitanje sa dovoljnom tačnošću, u svrhe ispitivanja

²⁾ Diskusija o rendgenu, njegovom merenju i reagovanju različnih vrsta detektora za gama zrake različnih energija data je u dodatu C.

u rendgenima ili u rendgenima na čas za gama zrake u širokom domenu energije. Pravilno konstruisan merač za ispitivanje s ionizacionom komorom biće dosta nezavisan od energije gama zrakova u granicama od 0,05 mev do 3 mev (slika 9.29).

9.30 — Džepna komora i džepni dozimetar, opisan u § 9.17 i § 9.18, sa samostalnim čitanjem, pretstavljaju prema ranije rečenom oblike ionizacionih komora. One su naročito korisne za merenje doze gama zračenja koju je apsorbovalo osoblje.

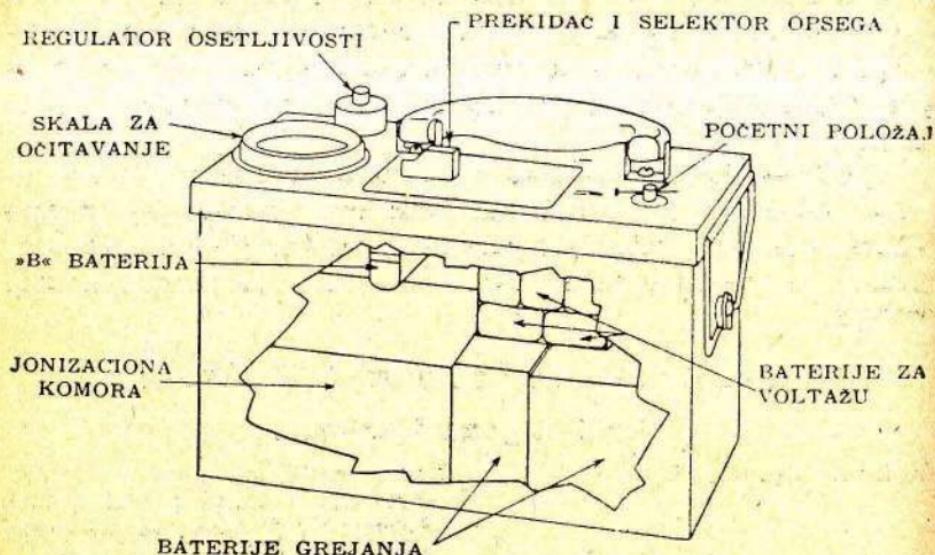
TIP INSTRUMENTA ZA ISPITIVANJE TERENA

Merač za gama ispitivanje

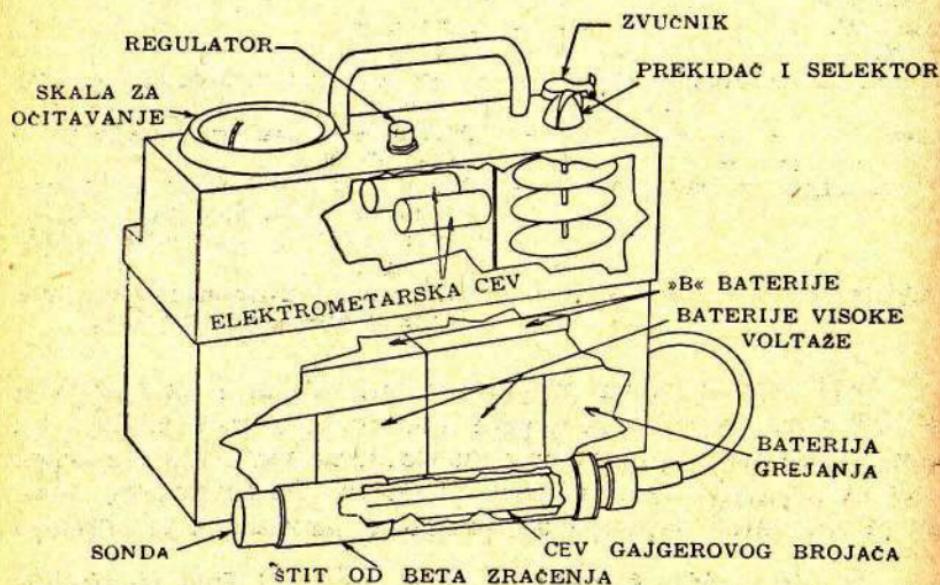
Zračenje koje otkriva	— — —	Gama (samo nešto beta)
Granice opsega registrovanja	—	Većina sprava imaju 3 ili 4 opsega. Najosetljiviji opseg je od 0—2,5 mili-rendgen/čas Najneosetljiviji je od 0—5 r/č (neki su instrumenti konstruisani za čitanje do 250 r/č)
Zahvaćena površina ili zapremina komore	— — —	500—1.500 cm ³
Vrsta detektora	— — —	Ionizaciona komora
Vrsta konverzije (uredaja za pretvaranje)	— — —	Elektrometar sa amplifikatorom
Pokazivač	— — —	Strujomer
Težina	— — —	5—20 funti
Zapremina ili dimenzije	— —	Kreće se prema veličini od 4 × 5 × 9 palaca do 7 × 10 × 14 palaca.
Izgled	— — —	Obično je oblika pravougaonika
Život baterije	— — —	200—1.000 časova.
Glavni uzroci kvara	— — —	Obično teškoće pojačivača jednosmerne struje kao što su izolacija, drift* i fluktuacije volataže baterije.
Primedbe	— — —	Najpodesniji instrument za mereњe brzine gama doziranja.

9.31 — Komora za proporcionalno brojanje upotrebljava se vrlo retko, ukoliko se uopšte upotrebljava, kao detektor za gama zrake pri bilo kakvom radu oko ispitivanja koje je skopčano sa premeštanjem komore. Međutim Gajger-Milerov brojač je verovatno najpogodniji prenosni instrument za otkriva-

*) drift — pojava pomeranja nulte tačke pri radu sa amplifikatorima.



Sl. 9.29 — Jonizaciona komora za gama (i beta) zračenje.



Sl. 9.31 — Gajger-Milerov brojač za gama (i beta) zračenje.

TIP INSTRUMENTA ZA ISPITIVANJE TERENA

Prenosni detektor

Zračenje koje otkriva — — —	Beta i gama.
Granice opsega registrovanja —	Uobičajene granice brojanja po minuti 0—1.500, 15.000—150.000 koje odgovaraju 0—0,2, 2 i 20 mr/č za gama zračenje radijuma.
Zahvaćena površina ili zapremina komore — — — — —	Cilindrična, prečnika 2×13 cm dužine. Debljina zida 3 mg/cm^2 (miligramma po cm^2).
Vrsta detektora — — — — —	Gajger-Milerova cev — brojač.
Vrsta konverzije (uređaja za utvrđivanje)	Pojačivač impulsa male osetljivosti.
Pokazivač — — — — —	Brzina brojanja na strujomeru ili slušalicama.
Težina — — — — —	4—15 funti.
Zapremina ili dimenzije — — —	$5 \times 6 \times 10$ palaca.
Izgled — — — — —	Pravougaona kutija za baterije i strujno kolo sa Gajger-Milerovim brojačem u sondi. Cev brojača ima pokretni filter od približno $0,5 \text{ g/cm}^2$.
Život baterije — — — — —	200—800 časova.
Glavni uzroci kvara — — —	Lomljenje i ograničen život Gajger-Milerove cevi.
Primedbe — — — — —	Najpovoljniji prenosni detektor za beta i gama zračenje. Ponekad se može naći kao brojač sa tankim prorezom za otkrivanje alfa i mekih beta zrakova.

nje gama zrakova (slika 9.31). Izuvez za određeni spektar energije, nema mogućnosti izraditi skalu izraženu brzinom doziranja. Ovo je zbog toga što brojač broji pre samu pojavu ionizovanja a ne jonizacije izazvane u vazduhu kao i zato što ne postoji veliki izbor oblika i materijala za zidove brojača. Gajger-Milerov brojač može ipak da se koristi za upoređivanje intenziteta snopova gama zrakova istog kvaliteta zračenja a može imati i skalu kalibrисану u rendgenima po času za određenu raspodelu energije gama zrakova kao što su gama zraci od standardnog uzorka radijuma ili možda od produkata cijelog panjpa. Usled zavisnosti od energije Gajger-Milerovog brojača i činjenice da je njegova efikasnost najmanje sto puta veća za izvesne beta čestice nego za gama zrake, nije pametno upotrebiti ovaj instrument kao kvantitativnu spravu pri ispitivanju u cilju upozorenja na opasnost po zdravlje.

9.32 — Često se uotrebljavaju fotografски filmovi za merenje doze gama zrakova a naročito su dragoceni merač u obliku značke za ličnu upotrebu za permanentna beleženja (slika 9.32). Ove filmske značke sastoje se obično od jednog paketa koji sadrži više emulzija, veličine zubarskog rendgen filma, pakovanih u tanak materijal koji je neprozračan za svetlost ali propušta lako gama zrake. Posle razvijanja i sušenja gustina filma se čita na denzitometru na kome se intenzitet slabog difuznog zraka svetlosti može čitati pomoću detektora kao što je fotoelektrična celija. Intenziteti se čitaju sa i bez obrađene emulzije u snopu svetlosti, gustina pocrnelosti određena je kao logaritam odnosa ovih intenziteta, a ispravka se vrši sa neizloženog čistog filma.

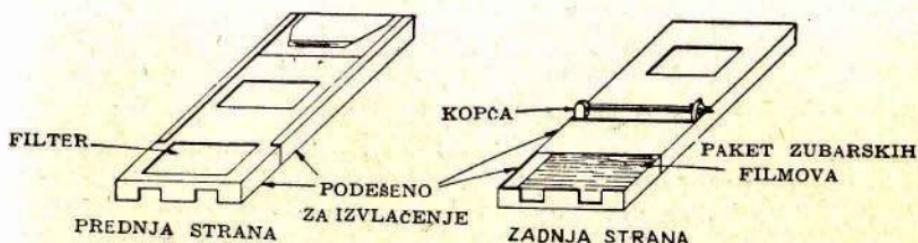
9.33 — Kao standardi služe emulzije poznate izloženosti koje su kao i neizložene čiste emulzije obrađivane zajedno sa emulzijama merača u obliku značke. Potrebna je brižljiva kontrola metoda, temperature, jačine rastvora za razvijanje i fiksiranje upotrebljenih za filmove ako se žele dobiti pouzданi podaci o izloženosti. O filmovima se mora pre razvijanja voditi računa pošto je dobro poznato da su filmovi osjetljivi prema topotli, svetlosti, vlazi, pritisku itd. Pri sadašnjim dostignućima mogu izvesne emulzije koje se uotrebljavaju sa korekcionim filterima dati dozu gama zračenja u rendgenima prilično nezavisno od energije od oko 0,05 do 2 mev.

MERENJE BETA ČESTICA

9.34 — Pošto beta čestice duž svoje putanje izazivaju znatnu jonizaciju, merenja se obično vrše jonizacionim komorama ili Gajger-Milerovim brojačima (slika 9.29 i 9.31). Komora za proporcionalno brojanje upotrebljava se ređe, jer ako je građena da reaguje na beta čestice velike energije (tvrdi) reagovaće takođe na gama zrake, izgubivši tako svoju glavnu prednost.

9.35 — Ako je izvor beta čestica male energije (meki) u gasovitom obliku, i ako se taj gas pušta u jonizacionu komoru onda je moguće da se sva energija beta čestica apsorbuje u komori. Specifična jonizacija duž njihovih putanja biće uglavnom konstantna a svaka će beta čestica približno podjednako doprineti ukupnoj jonizaciji. Pod ovim uslovima moguće je podesiti jonizacionu komoru za čitanje, izraženo kako brojem raspadanja tako i ukupnom jonizacijom. Beta čestice (tvrdi) velike energije mere se kako stepenom jonizacije koju one

proizvode u vazduhu ionizacione komore tako i brzinom raspadanja primerka, kao što je zapaženo kod Gajger-Milerovog brojača.



Sl. 9.32 — Filmska značka za ličnu upotrebu.

TIP INSTRUMENTA ZA LIČNU UPOTREBU (OSOBLJE)

Filmska značka

Zračenje koje otkriva	— — —	Beta i gama
Granica registrovanja	— —	0,05—10.000 r (u višestrukom filmskom paketu).
Zahvaćena površina ili zapremina komore	— — — —	2 × 2 cm za gama 1 × 2 cm za beta
Vrsta detektora	— — — —	Fotografski proces
Vrsta konverzije (uređaja za pretvaranje)	— — — —	Razvijanje latentne slike
Pokazivač	— — — —	Gustina emulzije merena denzitometrom.
Težina	— — — —	Jedna unca
Zapremina ili dimenzije	— —	3,5 cm × 4,5 cm × 0,5 cm
Izgled	— — — —	Pravougaoni omotač sa kopčom
Život baterije	— — — —	—
Glavni uzroci kvara	— — —	Ograničenja prema u tekstu izloženom za fotografski film.
Primedbe	— — — —	Naročito koristan za permanentna beleženja ukupne doze.

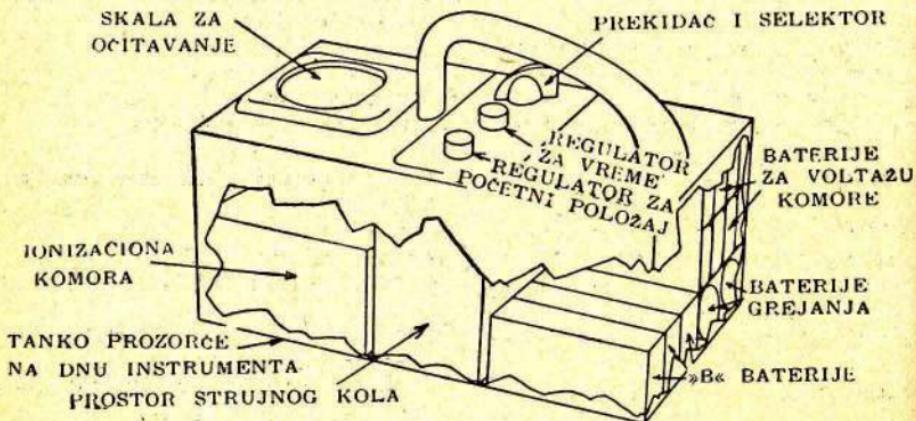
9.36 — Tragovi na fotografskoj emulziji usled beta čestica neće se obično pokazati kao pojedinačne pruge, već će dati opštu počnelost, čija će se gustina menjati prema ukupnom broju ovih čestica koje je apsorbovao film. Tako merači opisanog tipa značke sa filmskom trakom za gama zračenje mogu da se upotrebe za lično upozorenje o prisustvu beta čestica.

MERENJE ALFA ČESTICA

9.37 — Alfa čestice mada imaju znatnu energiju ipak se teško mere zbog njihovog kratkog dometa. Korisnost instru-

menata osetljivih prema alfa zracima leži uglavnom u radu na dekontaminaciji a aktivnost je određena u alfa raspadanju u jedinici vremena po jedinici površine osnove, naprimjer raspadanje po cm^2 u minutu.

9.38 — Jonizaciona komora može, međutim, da meri ukupnu jonizaciju izazvanu u komori a ne samo broj alfa raspadanja. Ako se u jonizacionoj komori upotrebni vrlo tanak »prozor«, kao što je najlon rastegnut na približno 0,4 miligrama po kvadratnom santimetru alfa čestice će izgubiti samo mali deo svoje energije pri ulasku u komoru. Dalje, ako je komora plitka u poređenju sa dometom alfa čestica, specifična jonizacija duž njihovih putanja biće u komori približno konstantna i svaka alfa čestica doprineće otprilike podjednako ukupnoj jonizaciji u komori. Otuda je, kao što je gore opisano za beta čestice, moguće podesiti jonizacionu komoru tako da bez suviše velike greške da ukupnu jonizaciju izraženu brojem raspadanja (slika 9.38).



Sl. 9.38 — Jonizaciona komora za alfa čestice.

9.39 — Mora se imati na umu da će svaka postojeća beta i gama aktivnost doprineti nešto čitanju. Međutim, u prisustvu beta i gama zračenja, koja ne izazivaju izuzetno velike jonizacione struje u odnosu na struje koje proizvode alfa čestice, moguće je proceniti doprinos samo usled alfa čestica čitanjem sa i bez zaklona za apsorbovanje ispred prozora. Ovaj zaklon mora biti dovoljne debljine da bi apsorbovao sve alfa čestice, ali samo neznatan deo beta i gama zračenja. Posle atomske eksplozije beta i gama aktivnost daleko prelazi onu od materijala koji emituju alfa zračenje. Poslednje će dakle tako malo

doprineti ukupnoj ionizaciji, da će biti nepouzdana ova opisana metoda izdvajanja.

9.40 — Komora za proporcionalno brojanje (slika 9.24a) koja sadrži vazduh na normalnom atmosferskom pritisku, može da se prilagodi tako da reaguje samo na slučajeve jake ionizacije. Tako alfa čestice mogu da se broje u prisustvu gama i

TIP INSTRUMENTA ZA ISPITIVANJE TERENA

Prenosni uredaj za alfa ispitivanje

Zračenje koje otkriva	— — —	Alfa
Granice registrovanja	— — —	0 — 5.000 rasp/min. 0 — 50.000 rasp/min.
Zahvaćena površina ili zapremina komore	— — — —	100 cm ²
Vrsta detektora	— — — —	Ionizaciona komora
Vrsta konverzije (uredaja za pretvaranje)	— — — —	Elektrometar sa amplifikatorom
Pokazivač	— — — —	Strujomer
Težina	— — — —	8 funti
Zapremina ili dimenzije	— —	5 × 6 × 9 palaca
Izgled	— — — —	Pravougli omotač sa prozorom pri dnu od najlona 0,4 mg/cm ² .
Život baterije	— — — —	900 časova
Glavni uzroci kvara	— — — —	Obične teškoće pojačivača jednosmislene struje kao što su izolacija, drift i opadanje baterijskog napona.
Primedbe	— — — —	Odgovara beta i gama zracima. Razdvajanje je moguće upotrebom zastora za apsorbovanje alfa čestica.

beta zračenja a podela skale može se izraziti brojem alfa raspadanja. Ovaj je instrument u stanju da broji vrlo velikim brzinama. Glavno njegovo ograničenje je gubitak visoke volatila kroz izolatore komore pri vlažnom vremenu.

9.41 — Gajger-Milerov brojač se retko upotrebljava za brojanje alfa čestica pošto zahteva hermetički zatvoren tanak prozor velike površine, koji je vrlo lomljiv te prema tome težak za izradu. Kao i u slučaju ionizacione komore ovaj brojač bi takođe reagovao na beta i gama zračenja.

9.42 — Ako podesna fotografска emulzija apsorbuje alfa česticu rezultat će posle razvijanja biti debela pruga koja se vidi kad se gleda kroz vrlo jak mikroskop. Pojedine pruge alfa čestica jasno se vide ako se upotrebni naročiti debeli film. Ovaj metod merenja alfa zatrovanih zahteva specijalne metode i retko se upotrebljava u radu kod ispitivanja, uglavnom zbog potrebnog vremena za analizu filma.

GLAVA X

UKLANJANJE ZATROVANOSTI (DEKONTAMINACIJA)¹⁾

A. UVOD

RUKOVANJE ZATROVANIM MATERIJALOM

10.1 — U glavi VIII video se da se radioaktivna zatrovost (kontaminacija) može izazvati produktima cepanja koji se stvaraju pri detonaciji atomske bombe, aktivnošću koju su izazvali neutroni u zemlji i vodi i namernom upotrebom specifičnih radioizotopa, nezavisno od atomske bombe, kao sredstva radiološkog ratovanja. Pobrojani izvori bili bi, uglavnom, nosioci spoljne zatrovosti. Pored toga, za zatrovanje postoji mogućnost od delovanja plutonijuma koji je izbegao cepanje a koji pretstavlja unutrašnju opasnost. Ovo nameće sada potrebu da se ispita problem rukovanja raznim predmetima koji su zatrovani na jedan ili drugi način.

10.2 — Postoje, uglavnom, tri načina za smanjenje opasnosti u vezi sa radioaktivnim zatrovanjem: prvi, potpuno ukloniti materijal dubokim ukopavanjem u zemlju ili u more; drugi, držati materijal dovoljno dugo na izvesnom udaljenju da bi se omogućilo opadanje radioaktivnosti na dovoljno bezopasnu meru, i treći, pokušati otklanjanje materijala koji prouzrokuje zatrovavanje, tj. izvršiti uklanjanje zatrovosti (dekontaminaciju) materijala. Ova tri postupka bila su upotrebljena na jedan ili drugi način, u vezi sa radioaktivnim zatrovanjem koje su pretrpeli brodovi i njihova oprema posle opita »Baker« na Bikiniju.

10.3 — Koji će od ovih načina biti usvojen u pojedinom slučaju zavisiće od okolnosti. Veliki objekti ne bi se mogli lako koristiti i uklanjanje zatrovosti bi se moglo pokušati tek pošto aktivnost opadne do izvesne mere. Kod manjih objekata

¹⁾ Materijal stavili na raspolaganje E. S. Gilfillan, S. Glasstone, C. R. Schwob, W. E. Strope, W. H. Sullivan.

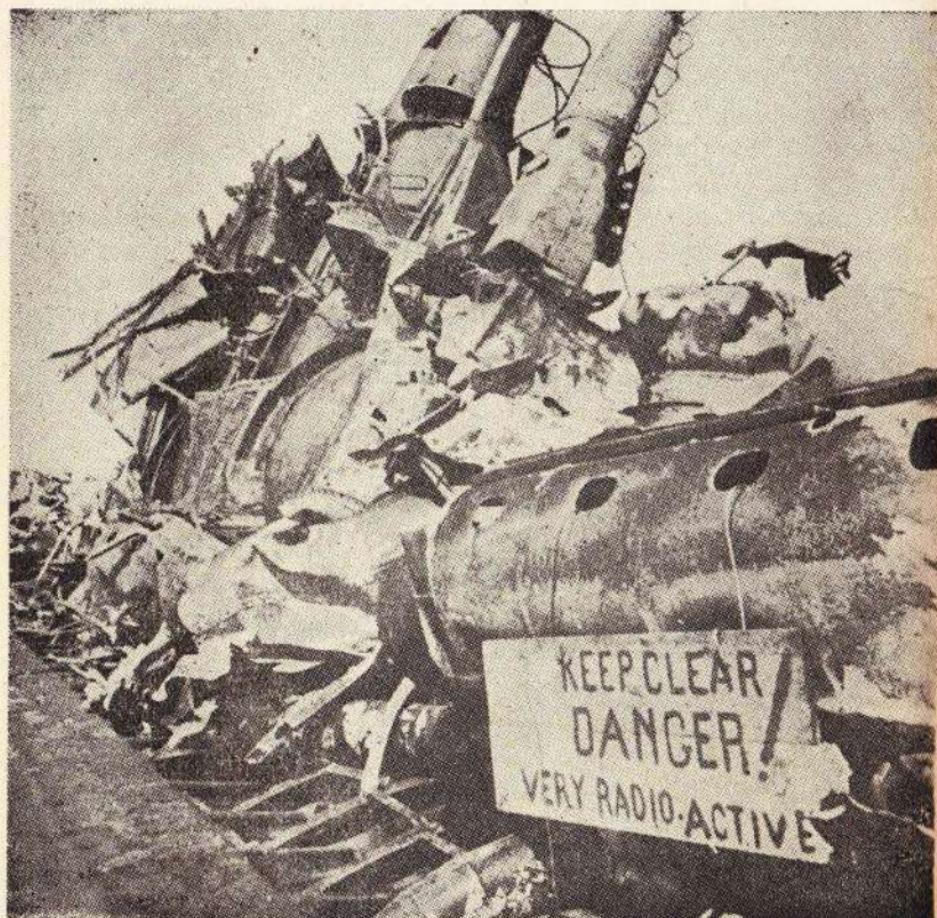
može se pokazati da je uklanjanje zatrovanosti suviše skupo, ako je aktivnost velika, tako da je ukopavanje najekonomičniji način. Međutim, ako radioaktivna zatrovanost ne bi bila suviše velika, uklanjanje zatrovanosti bi se moglo pokušati skoro odmah. Sa druge strane, u izvesnim slučajevima može se pokazati kao korisnije da se predmeti uklone dok aktivnost ne opadne.

10.4 — Na Bikiniju je brod Sjedinjenih Država *Independence*, mali nosač aviona, primio tako veliku dozu zračenja kome bi ljudi podlegli, da su se nalazili na palubi za uzletanje za vreme eksplozije, zbog spoljašnjeg zračenja, bez obzira na dejstvo eksplozivnog udara. Još dve nedelje posle eksplozije brzina doziranja iznosila je oko 3 rendgена na dan, što je ljudima dozvoljavale samo kratkotrajni pristup. Otprilike godinu dana kasnije prosečna brzina doziranja iznosila je samo 0,3 rendgena na dan i tri godine posle prvobitne zatrovanosti. *Independence* se nalazio u upotrebi u brodogradilištu San Franciska, i u njemu je bila nastanjena inženjerska grupa Laboratorije pomorske radiološke odbrane koja je vršila opite. U to vreme bilo je vrlo teško naći bilo kakvu površinu na brodu gde bi doziranje zračenja prelazilo granicu od 0,3 rendgena redeljno, što je dozvoljeno odredbama Komisije za atomsku energiju (§ 8.4).

10.5 — Trebalo bi primetiti da nije pokušano nikakvo uklanjanje zatrovanosti sa broda *Independence*, u prvom redu zbog toga što je brod bio prilično oštećen (vidi sliku 5.79a), te je izgledalo neverovatno da bi se mogao vratiti u službu kao nosač aviona. Međutim, neki drugi brodovi na Bikiniju bili su dekontaminisani i vraćeni u službu mnogo ranije. Dve podmornice sa kojih je tako uklonjena zatrovanost (slika 10.5) upotrebljavane su uskoro u pomorskoj rezervi bez opasnosti za posadu. Većina ostalih brodova, koji su služili kao meta, uništeni su ne zbog toga što se sumnjalo u uspeh uklanjanja zatrovanosti, već uglavnom zato što su bili oštećeni na druge načine te bi uklanjanje zatrovanosti bilo neekonomično.

10.6 — Uklanjanje zatrovanosti će se, uglavnom, ograničiti na površine materijala, objekata i postrojenja, izuzev tamo gde su se radioaktivni rastvori, kao što su bili oni posle podvodne eksplozije na Bikiniju, upili u porozne materijale kao što su užad, tkanine, neobojeno ili nelakovano drvo itd., ili tamo gde su neutroni prodrli i izazvali aktivnost do izvesne dubine. Značajan izuzetak bi svakako bilo radioaktivno zatro-

vanje uređaja vode za piće. Problem uklanjanja zatrovanosti je, dakle, do znatnog stepena problem otklanjanja dovoljne količine površinskog materijala, da bi se aktivnost smanjila do te mere da više ne pretstavlja opasnost. Metode površinskog otklanjanja mogu se podeliti u dve glavne kategorije, naime u hemisku i fizičku. U prvom slučaju zatrovanost se eliminiše



Sl. 10.5 — Oštećena i radioaktivna podmornica SAD »Skate« posle eksplozije »Able« u Bikiniju.

korišćenjem hemiskih reagensa koji će, ako su dovoljno blagi, imati manje dejstvo na podlogu. U drugom slučaju međutim, otklanja se znatna debljina spoljne površine.

10.7 — Trebalo bi shvatiti da se aktivnost određenog radioizotopa hemiskom reakcijom uopšte ne menja. Sve što hemiska reakcija može da učini jeste da pretvori aktivni izotop u rastvorljivo jedinjenje, tako da se može odvojiti i oprati kao rastvor. Izvesni postupci uklanjanja zatrovaniosti, obuhvatajući i upotrebu sredstava za čišćenje, predstavljaju kategoriju koja se nalazi između hemiske i fizičke.

B. PRIRODA RADIOAKTIVNE ZATROVANOSTI (KONTAMINACIJE)

IDENTIFIKACIJA MATERIJALA KOJI PROUZROKUJU ZATROVANOST

10.8 — Da bi se pronašli odgovarajući postupci za hemijsko uklanjanje zatrovaniosti potrebno je znati nešto o prirodi radioaktivnog materijala koji prouzrokuje zatrovost. Sastav produkata cepanja u razno doba posle atomske eksplozije, kao što će se niže videti, dosta je dobro poznat. Prema tome, ako je sigurno da je zatrovost nastala usled produkata cepanja, mogu se upotrebiti odgovarajuće hemiske metode. Jedan relativno prost opit za mešavinu produkata cepanja jeste određivanje ukupne vrednosti radioaktivnog raspadanja u različno vreme posle eksplozije, koristeći pri tom pogodan instrument (glava IX). Grafički prikaz logaritma brzine raspadanja prema logaritmu vremena dao bi pravu sa približnim nagibom — 1,2 (uporedi sliku 8.16).

10.9 — Pošto su produkti cepanja tako složena mešavina, otkrivanje prisustva radioaktivnih izotopa nastalih usled dejstva neutrona može da bude teško. Ako ukupna brzina raspadanja zadovoljava uslov koji je gore dat, izgleda da se aktivnost koju su izazvali neutroni može zanemariti. No ako to nije slučaj, treba pokušati da se utvrdi izotop koji izaziva naknadnu aktivnost. Ovo neće biti laka stvar i u tom slučaju je najbolje tražiti najverovatniji izotop, naprimjer, natrijum 24.

10.10 — Ako bi se mešavina produkata cepanja upotrebila kao oružje za vođenje radiološkog rata, odvojeno od atomske bombe, problemi uklanjanja zatrovaniosti bili bi uglavnom isti kao oni koji bi iskrslji u slučaju upotrebe atomske bombe. Međutim, ako se za ovu svrhu upotrebi određeni radioizotop ili relativno prosta mešavina takvih izotopa ekstrahiranih iz produkata cepanja, onda bi se morala utvrditi priroda elemenata. U najprostijim slučajevima ovo bi se moglo izvršiti na dva načina. Prvo, prepostavljajući da je izotop jedan od ra-

nije poznatih i da su njegove osobine unesene u tablicu za identifikovanje, verovatno da bi bila dovoljna merenja njegove brzine raspadanja, tako da se dobije njegovo vreme polura-spada i domet emitovanih čestica koji se odnosi na energiju izotopa. Drugo, mogao bi se upotrebiti hemiski postupak zasnovan na činjenici da radioizotop ima za sve praktične svrhe iste hemiske osobine kao stabilan izotop istog elementa.

10.11 — Ovaj drugi metod obuhvata principe hemije radioaktivnih tresera (*tracer chemistry*) koja je, mada odavno poznata, tek poslednjih godina dostigla visoki stupanj razvoja. Ovaj metod omogućava identifikaciju toliko malih količina radioizotopa koji se inače ni najboljim optičkim mikroskopima ne mogu videti. Prema tome, mogle bi se podvrći analizi vrlo male količine zatrovanih materijala.

10.12 — U glavnim crtama proces obuhvata rastvaranje materijala koji sadrži radioizotop i dodavanje rastvoru znatne količine običnog, stabilnog oblika elementa na čiji se izotop sumnja. Naprimjer, ako se sumnja u radioaktivni izotop cinka, rastvoru bi se dodala dovoljna količina obične soli cinka, kao što je cink-sulfat. Cink se tada taloži pomoću odgovarajućeg reagensa i ako talog sadrži svu aktivnost koja je prвobitno postojala onda je potpuno sigurno da je aktivnost nastala usled radioaktivnog izotopa cinka. Međutim moguće je da se putem zajedničkog taloženja ili putem adsorpcije sa cinkom taloži i neki sasvim drugi radioelement. Ova se mogućnost može eliminisati dodavanjem sredstva poznatog kao »zadrživač« (hold-back carrier) koje će zadržati strani element, ili pak taloženjem cinka sa više različnih reagensa.

10.13 — Ako u talogu nema nikakve aktivnosti, već sva ostane u rastvoru, onda je sigurno da to nije cink te se pokušaj ponavlja sa drugim elementom. Ako bi talog nosio deo aktivnosti, dok bi se drugi deo zadržao u rastvoru onda se pored drugog radioelementa može nalaziti i cink. Sa druge strane, moguće je da je cink jednostavno pri taloženju povukao deo aktivnosti drugog elementa pomoću adsorpcije, kao što je gore ukazano, te se mogu izvršiti odgovarajući opiti da bi se stvar ispitala. Ovo je uglavnom način na koji se analiziraju vrlo složene mešavine izotopa koje sačinjavaju produkte cepanja. Postupak se može primeniti na naročite radioizotope koji bi se mogli upotrebiti kao oružja za vođenje radiološkog rata.

PRODUKTI CEPANJA KAO IZAZIVACI ZATROVANOSTI

10.14 — Pošto je priroda produkata cepanja poznata, dok su drugi materijali koji izazivaju zatrovanost neodređeni, i pošto zatrovanost produktima cepanja usled atomske bombe izgleda najverovatnija mogućnost, to će se ovi produkti dalje razmotriti. Zbog radioaktivnog raspadanja jednog izotopa u drugi (§ 1.52), sastav produkata cepanja, u pogledu radioizotopa i prisutnih elemenata, neprekidno se menja. U različno vreme posle cepanja uranijuma 235 sporim neutronima nađeno je oko 200 radioaktivnih vrsta od 34 različna elementa sa rednim brojevima od 30 (cink) do 63 (evropijum). Svakako da je sastav produkata atomske eksplozije nešto različan, ali verovatno ne u značajnijoj meri.

10.15 — Sa gledišta hemiskog uklanjanja zatrovanosti nije toliko važno znati stvarnu količinu svakog prisutnog elemenata, već je važnije da se zna ideo koji on doprinosi ukupnoj aktivnosti. Potpuno otklanjanje toga elementa smanjiće dakle aktivnost u istom odnosu. U tablici 10.15 data su imena elemenata koji najviše doprinose radioaktivnosti produkata cepanja u različno vreme posle početka cepanja.²⁾

Zbog svoje sličnosti po hemiskim osobinama elementi retkih zemalja i itrijum grupisani su zajedno. Različni elementi poređani su redom prema opadanju njihovog doprinosa ukupnoj aktivnosti.

10.16 — Zanimljiva je i važna činjenica da se od jednog sata do jedne godine, a verovatno i duže, posle nastanka cepanja bar 30% aktivnosti produkata cepanja pripisuje radioizotopima elemenata retkih zemalja i itrijuma. Uklanjanje samo ovih elemenata smanjilo bi, dakle, stepene zatrovanosti za oko jednu trećinu ili više. Ovo se postiže upotreboru različnih materijala koji sa elementima retkih zemalja obrazuju rastvorljive kompleksne jone (§ 10.51).

²⁾ Podaci u tablici 10.15 procenjeni su iz proračuna potpunih dezintegracija za razne elemente u razna vremena posle cepanja (H. F. Hunter i N. E. Ballou, »Simultaneous Slow Neutron Fission of U²³⁵ Atoms« — »Jednovremeno cepanje sporim neutronima atoma U²³⁵«, deo I, Naval Radiological Defense Laboratory — Pomorska laboratorija za radioološku odbranu —, ADC-65 — 1949). Nije se vodilo računa o različnim energijama beta čestica i gama zrakova (ako ih uopšte ima), ali je pretpostavljeno da će prosečno uzev, brzina radioaktivnog doziranja, što je važno, biti približno srazmerna brzini dezintegracije.

TABLICA 10.15

Najradioaktivniji sastojci produkata u razno doba posle cepanja

1 sat	1 dan	1 nedelja	1 mesec	6 meseci — 1 godina
Retke zemlje*	Retke zemlje	Retke zemlje	Retke zemlje	Retke zemlje
Telur	Jod	Jod	Barijum	Kolumbijum
Barijum	Cirkonijum	Telur	Cirkonijum	Cirkonijum
Jod	Kolumbijum	Barijum	Stroncijum	Stroncijum
Rubidijum	Ksenon	Molibden	Rutenijum	Rutenijum
Kripton	Stroncijum	Ksenon	Rodijum	Rodijum
Stroncijum	Molibden	Cirkonijum	Kolumbijum	Barijum
Ksenon	Telur	Stroncijum	Jod	
Molibden	Rodijum	Rutenijum	Ksenon	

10.17 — Svaka materija koja je u stanju da na ovaj način obrazuje kompleksne jone naziva se često *stvaralac kompleksa*. Dok su soli limunske kiseline i drugih organskih kiselina možda najznačajniji agensi u opštoj upotrebi za svrhe uklanjanja zatrovanoosti, moguće je da se koncentrisani rastvor hlorida pokaže kao stvaralac kompleksa za rutenijum, rodijum i možda za izvesne druge važne proizvode cepanja.

10.18 — Pošto je jedan od ciljeva uklanjanja zatrovanoosti sprečavanje unutrašnje apsorpcije radioaktivnih materijala, daće se kratak osvrt na opasnosti usled gutanja izvesnih produkata cepanja. Predmet će se, međutim, potpunije razmotriti u glavi XI. Neki se elementi, naročito jod, stroncijum, barijum, cirkonijum i cerijum, jako vežu u telu, i ako se apsorbuju kao radioizotopi mogu da izazovu posledice ozbiljnije nego što bi se za postojeće količine pretpostavljalo. Pored toga, plutonijum koji je izbegao cepanje može da pretstavlja unutrašnju opasnost, mada su, kao što je izneto u § 8.30, koncentracije koje bi se verovatno našle posle atomske eksplozije relativno male.

C. POSTUPCI UKLANJANJA ZATROVANOSTI (DEKONTAMINACIJE)

VREMENSKI FAKTOR

10.19 — Problem uklanjanja zatrovanih sastojki se iz izvesnog broja složenih činilaca, naročito što se tiče okolnosti

*) Zbog svoje hemiske sličnosti obuhvaćen je itrijum sa elementima retkih vrsta zemalja.

pod kojima bi trebalo pokušati sa postupkom i do koje bi ga mere trebalo izvoditi. Verovatno je tačna tvrdnja da se uglavnom može bar delimično ukloniti zatrovanošć sa nekog postrojenja ili opreme, sem ako se ne sastoje od veoma poroznih materijala, ako im se posveti dovoljno vremena i napora. Pitanje je da li se to isplati, što zavisi od: a) značaja postrojenja ili opreme, b) mogućnosti u datim okolnostima i c) od opasnosti koja je s time skopčana. Ako bi postojala preka potreba za spasavanje života ili materijala, ili za zaštitu zdravlja, što se na drugi način ne može postići, i ako vreme kao elemenat zahteva hitnu akciju, onda je rad na uklanjanju zatrovanošć opravдан. Mogućnost zavisi od karakteristika zatrovanošć, dekontaminacije materijala koji je u pitanju i prikupljanja, prenošenja i otklanjanja radioaktivnih ostataka. Najzad, stepen opasnosti određen je prvenstveno dozom zračenja koja bi se primila za vreme vršenja uklanjanja zatrovanošć (dekontaminacije).

10.20 — Značajan problem pri određivanju mogućnosti izvođenja uklanjanja zatrovanošć i opasnosti od toga sastoji se u tome kako da se sproveđe uklanjanje zatrovanošć a da se izbegne izlaganje zaposlenog ljudstva preteranom doziranju zračenja. Ovo će uglavnom značiti da se svakom pojedincu može dozvoliti da radi na zatrovanošć prostoru vrlo kratko vreme, možda samo nekoliko minuta nedeljno.

10.21 — U glavi VIII objašnjeno je kako se mogu koristiti slike 8.16 i 8.17 za proračunavanje brzine doziranja primjenog na zatrovanošć području u roku jednog određenog vremenskog intervala, pod uslovom da je brzina doziranja izmerena u poznato vreme posle atomske eksplozije. Postupak se, međutim, može uprostiti pomoću dijagrama na slici 10.21a i b. U prvom, brzina doziranja u rendgenima na čas, merena u bilo koje vreme t časova posle atomske eksplozije pretstavlja apscisu, dok je ordinata odgovarajuća brzina doziranja na istom području jedan sat posle eksplozije; različne vrednosti vremena t su parametri za različne prave. U dijagramu na slici 10.21b apscisa je vreme kad neko lice stupa na područje posle eksplozije, a ordinata je ukupno doziranje koje ono primi za različno vreme bavljenja označenog parametrima pojedinih krivih, podeljeno sa brzinom doziranja jedan sat posle eksplozije kao što je gore određeno. Trebalo bi primetiti da vreme stupanja na područje radi bavljenja, tj. apscisa na slici

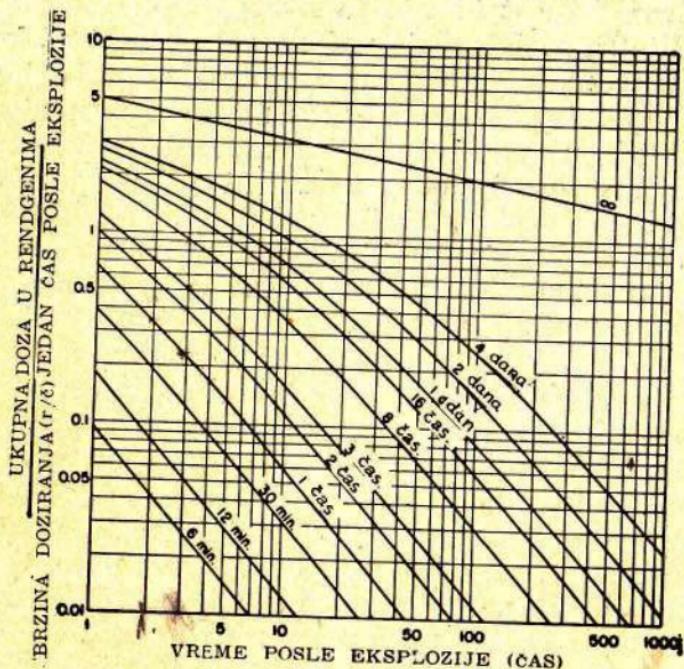
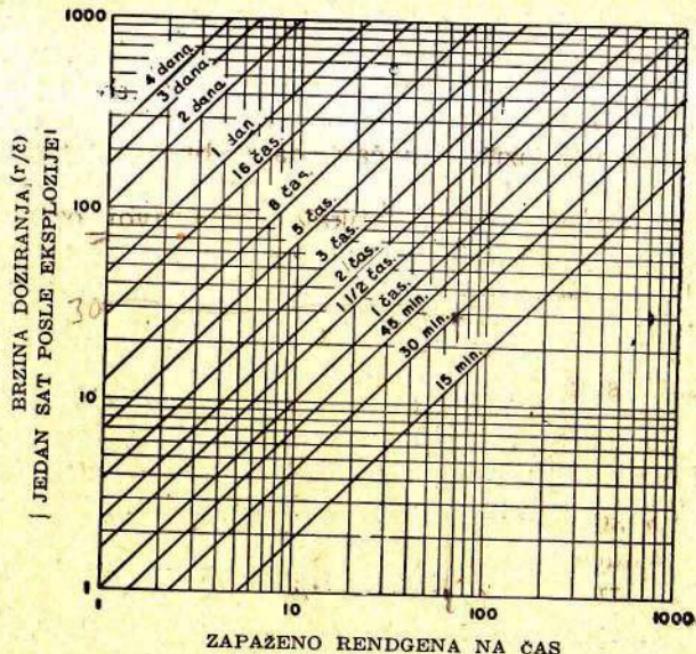
10.21b, može, ali ne mora, da bude isto kao vreme t u kome se merenje vršilo, tj. parametri slike 10.21a.³⁾

10.22 — Radi objašnjenja upotrebe ovih dijagrama pretpostavimo da izvršeno merenje na datom području 30 minuta posle atomske eksplozije označava da je brzina doziranja tada bila 70 rendgena na čas. Uvezši poslednju cifru kao apscisu na slici 10.21a i idući naviše vertikalno ka pravoj označenoj sa 30 minuta, ordinata pokazuje da bi brzina doziranja 1 sat posle eksplozije iznosila oko 30 rendgena na sat. Pretpostavimo da treba naći ukupno doziranja koje neko lice primi ulazeći u ovo područje dva sata posle eksplozije i boraveći na njemu jedan čas. Iz slike 10.21b apscisa od dva časa i parametar od jednog sata označavaju ukupno doziranje podeljeno vrednošću za jedan sat od 0,33 rendgena. Pošto stvarna vrednost za jedan sat iznosi 30 rendgena na čas, to je potrebno pomnožiti 0,33 rendgena sa 30 da bi se dobilo stvarno ukupno doziranje u određenom slučaju od 9,9 rendgena.

10.23 — U vezi sa postupcima uklanjanja zatrovanosti bilo bi od koristi da se zna iznos zatrovanosti koji bi se mogao očekivati u određeno vreme posle detonacije. Nemoguće je međutim predvideti kakvi će uslovi vladati. To će zavisiti od mnogo faktora kao što je, naprimjer, vrsta eksplozije (u vazduhu, na zemlji, pod vodom). Posle eksplozije u vazduhu i naknadna i izazvana (inducirana) zračenja biće minimalna. Posle eksplozije na zemlji to će zavisiti od vrste zemljišta. U Eniwetok-u, gde su korali zasićeni natrijumom inducirano zračenje bilo bi značajno. Na drugim mestima ovo ne bi bio slučaj. Prvac i brzina vetra pretstavljavaju izvestan faktor — jak veter prouzrokuje široko rasturanje te tako smanjuje koncentraciju.

10.24 — Prema tome, situacija će morati da se procenjuje na licu mesta i da se razradi plan za rešenje problema. Ako područje nije važno, biće dovoljno ispitati radioaktivno raspadanje. Ako je potrebno da se prostor odmah zauzme, biće potreban izvestan plan za smenjivanje pojedinaca ili za uklanjanje zatrovanog materijala. Dopustiva granica izloženosti ljudstva zavisiće od hitnosti situacije.

³⁾ Kada se vreme merenja podudara sa vremenom u koje lice stupi na zatrovani prostoriju da bi boravilo na njoj, dve grupe krivih mogu da se spoje u jednu. Rezultat toga dat je u slici 12.77. Međutim slike 10.21a i b imaju opštiju primenu.



Sl. 10.21a i b — Dijagrami za određivanje ukupne doze zračenja na nekoj zatrovanoj prostoriji.

10.25 — S obzirom na činjenicu da će se tokom vremena radioaktivnost svakog zatrovanog tela smanjiti, prema opštem pravilu datom u jednačini (8.14), vreme se može smatrati u izvesnom smislu kao univerzalni činilac koji izaziva uklanjanje zatrovanosti. Ako bi brzina doziranja u svako doba posle eksplozije bila utvrđena, dijagram slike 10.21a može se koristiti za proračunavanje brzine doziranja na istom području u svako drugo vreme. Da bi se to učinilo nalazi se najpre vrednost za jedan sat, prema opisu u § 10.22, i u ovoj se tački na slici 10.21a ucrtava horizontalna linija. Brzina doziranja u svako doba data je tačkom gde parametarska linija za određeno vreme seče horizontalnu liniju. Tako, ako brzina doziranja iznosi 70 rendgena na čas za 30 minuta posle detonacije, jedan sat kasnije ona će iznositi 30 rendgena na čas, 13 rendgena na čas 2 sata kasnije, 7 rendgena na čas 3 sata kasnije, itd.

HITNE MERE

10.26 — Izuvez tamo gde je porozni materijal apsorbovao radioaktivnu tečnost ili gde je radioaktivni materijal prodrio u instalacije za snabdevanje vodom, zatrovanost bi, kao što je ranije rečeno, najvećim delom pretstavljala površinsku pojavu. Materijal koji izaziva zatrovanost može se mehanički držati na površini ili u porama pukotina, može do izvesne mere biti utisnut snagom eksplozionog udara ili ga mogu adsorbovati fizičke ili hemiske sile kao što su joni, atomi, molekuli ili veći agregati. Verovatno je da zatrovanost koja prati atomsku eksploziju može nastati na jedan, dva ili više od ovih načina, a uspešne metode uklanjanja zatrovanosti treba da budu u stanju da se bave sa svima njima. Međutim, kao opšte pravilo, važi da stepen uklanjanja zatrovanosti koji odgovara specifičnim potrebama situacije može da se postigne uklanjanjem radioaktivnog materijala koji se drži samo na jedan ili možda dva od pobrojanih načina.

10.27 — Stvarni postupak uklanjanja zatrovanosti materijala i opreme može da se reši u dve faze: prva, neposredne hitne mere da bi se omogućio neprekidan rad, i druga, konačni potpuniji radovi uklanjanja zatrovanosti. Mada dostignuti stepen uklanjanja zatrovanosti početnim postupkom može da ne bude veliki, on će bar smanjiti fiziološku opasnost do mera koja će omogućiti, verovatno uz menjanje ljudstva, ra-

dove koji bi inače bili neizvodljivi. Potpunije uklanjanje zatrovanosti ako je potrebno ili poželjno može se dakle izvesti kasnije.

10.28 — Uklanjanje zatrovanosti sa ljudstva koje je došlo u dodir sa radioaktivnim materijalom pretstavlja svakako prvenstveni zahtev. Odeło će uglavnom sprečiti pristup materijala do kože. Kada se zatruje, odeło bi trebalo da se ukloni i otstrani, naprimer, ukopavanjem, tako da se spreči širenje radioaktivnosti na nezatrovane prostore, kao što je unutrašnjost zgrada.

10.29 — Radioaktivne supstance, naročito one koje emituju beta zračenje koje nije praćeno gama zračenjem, kada dođu u dodir sa kožom mogu da budu mnogo veća opasnost nego što bi pokazao instrument koji se nalazi na udaljenju od jednog do dva palca (§ 11.78). Prema tome, mora se обратити pažnja na čišćenje svih izloženih površina tela. Priličan stepen uklanjanja zatrovanosti izložene kože može se postići snažnim trljanjem sapunom i vodom, obraćajući naročitu pažnju na kosu, nokte, nabore kože i površine oko otvora na telu i to pažljivo, da se izbegnu ogrebotine. U vezi sa ovim pokazala su se naročito efikasna neka sintetička sredstva za čišćenje, od kojih se sada mnoga nalaze na tržištu, kao naprimer domaća sredstva za čišćenje koja ne sadrže sapun.

10.30 — Ako postupak sa vodom i sapunom ne dovede do željenog smanjenja aktivnosti, mogu se na koži upotrebiti hemski agensi ako ih ima. Jaka izotonična so sa pH 2, sredstva za skidanje dlaka ili keratolitički agensi, kao što je mešavina barijum-sulfida i štirka, dovešće do otklanjanja materijala koji je čvrsto prionuo za kožu. Koristan je razblaženi rastvor natrijum bikarbonata, naročito na sluzokožama, zbog njegovog delovanja kao stvaraoca kompleksa za izvesne produkte cepanja.

10.31 — U slučaju veoma hitne potrebe svaki će čisti nezatrovani materijal koji se nalazi pri ruci, kao što su hartija, slama, trava, lišće ili pesak, otkloniti aktivnost sa kože ako se njime vrši snažno trljanje. Međutim, mora se voditi računa da se ne ogrebe koža, ili da se materijal koji se otstranjuje trljanjem ne unosi u rane, otvore na telu ili u nabore na koži.

10.32 — Za hitnu dekontaminaciju mrtvih objekata korištiće skoro svaki postupak. Smese za čišćenje i struganje u domaćinstvu, sredstva za uklanjanje masti, sredstva za čišće-

nje, sredstva za skidanje boje, suvi rastvarači za čišćenje, benzин, itd. pomoći će da se otklone radioaktivne čestice sa površine. Kod sproveđenja ovih postupaka mora se обратити pažnja da se radioaktivnost ne prenosi. Odela ili druge materijale treba zakopati a ne spaliti, dok se ne izgrade naročiti uređaji za spaljivanje, koji sprečavaju rasturanje aktivnog materijala.

10.33 — Izložene površine, naročito u gradovima, pokrivene su obično »industriskim filmom« — tankom prevlakom masti i prašine. Zapaženo je u mnogim slučajevima da se radioaktivna zatrovanošć prvenstveno zadržava na ovoj tankoj prevlaci i da njeno otklanjanje prema tome predstavlja znatnu meru uklanjanja zatrovanošć. Razvijene su posebne metode čišćenja za uklanjanje industriskih filmova. Primer za to predstavlja upotreba zagrejane pare za čišćenje aviona, kojoj se dodaje koncentrisan rastvor nekog sredstva za čišćenje. Ako nema znakova koji ukazuju na drugo, uklanjanje industriskog filma ako ga ima, treba da bude prvi korak pri uklanjanju zatrovanošć. Pored toga što izaziva izvesno smanjenje radioaktivnosti, uklanjanje filma olakšaće delovanje različnih agensa upotrebljenih za potpunije uklanjanje zatrovanošć.

10.34 — Pri svakom pokušaju uklanjanja zatrovanošć, prethodnom ili završnom, sigurnost ljudstva je od prvostepenog značaja. Neposredne hitne mere moraju se prema tome odložiti, kao što je gore rečeno, dok se aktivnost ne smanji toliko da je moguć rad bez veće opasnosti. Ljudstvo koje radi neposredno na uklanjanju zatrovanošć treba da nosi odgovarajuća zaštitna odela, ako je potrebno od gume, i da bude snabdeveno gumenim čizmama i rukavicama. Ako se prilikom rada stvara magla od čestica vode ili prašine, onda se moraju nositi naočari i maske (§ 12.79 i dalje).

10.35 — Zaklanjanje, bilo udaljenjem ili oblikom zemljišta, zidovima, postrojenjima itd. mora da se koristi kad god je moguće. Naprimjer, uklanjanje zatrovanošć sa neke zgrade ili broda trebalo bi da počne od pogodnog mesta u unutrašnjosti gde će aktivnost biti verovatno manja nego sa spoljne strane. U vezi sa ovim preporučuje se da instalacije strategiskog značaja, u prilici gde može doći do zatrovanošć, budu snabdevene opremom za spiranje kojom se može rukovati iz unutrašnjosti.

10.36 — Nemoguće je dati opšte pravilo u pogledu prostorija od kojih treba da otpočne uklanjanje zatrovanošć. U

nekim bi slučajevima bilo korisnije početi u oblasti gde je aktivnost mala, jer ovo ne samo što će učiniti rad manje opasnim, već će obezbediti i vreme potrebno za opadanje aktivnosti jače zatrovanih delova. S druge strane, u izvesnim okolnostima moglo bi se preporučiti da se najpre izvrši brzo, makar samo prethodno uklanjanje zatrovanih prostorija koja je jako zatrovana da bi se omogućilo slobodno kretanje.

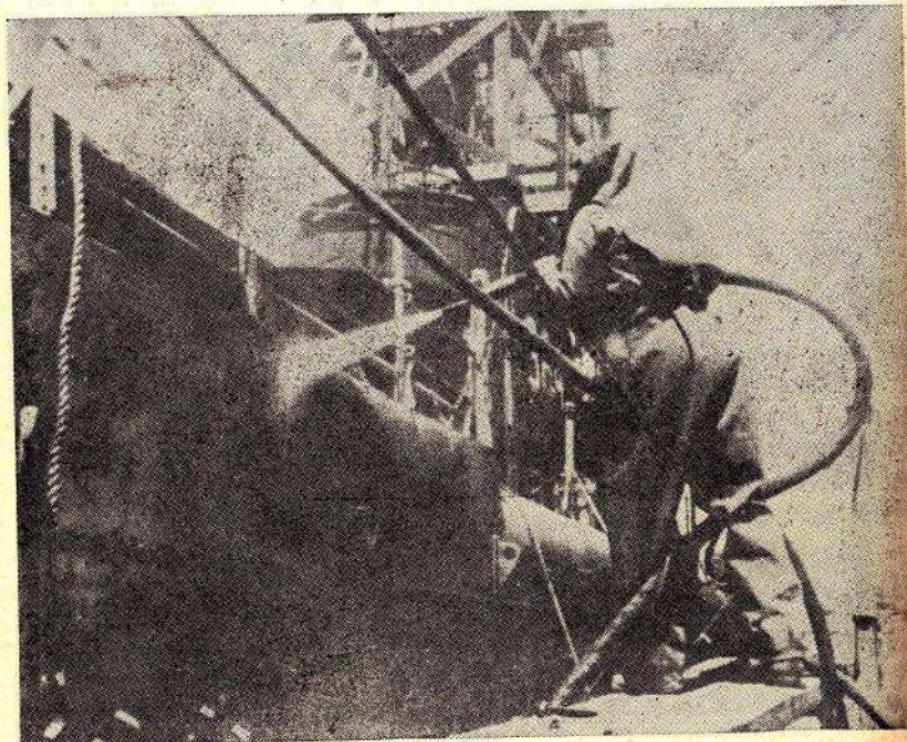
UKLANJANJE POVRŠINE

10.37 — Problemi potpunog uklanjanja zatrovanih (dekontaminacije) toliko su složeni i toliko novi da će biti potrebno veoma mnogo rada dok se ne utvrde najefikasniji postupci. Podaci koji su ovde dati, zasnovani na ograničenom iskustvu, najbolji su sa kojima se sada raspolaze. Ali poboljšane metode za rukovanje materijalima, postrojenjima itd., koji su postali zatrovani radioaktivnošću, nesumnjivo će se razviti u potrebnom pravcu. Mada su očigledni izvesni opšti principi, za sada izgleda nemoguće vršiti predviđanja u pogledu efikasnosti određenog postupka uklanjanja zatrovanih u bilo kojim datim okolnostima. Zbog toga bi bilo potrebno u sadašnjoj praksi koristiti niz metoda dok se ne postigne željeni stepen uklanjanja zatrovanih.

10.38 — Za supstance koje ne apsorbuju, očigledno sredstvo da se obezbedi uklanjanje zatrovanih je uklanjanje celokupne površine materijala. Mada se ne može primeniti na sve površine, to je veoma uspešno, kad god je moguće, izuzev možda tamo gde je zahvat neutrona izazvao aktivnost do izvesne dubine ispod površine. U ovom kao i u svima postupcima uklanjanja zatrovanih potrebno je vršiti strogu kontrolu nad radioaktivnim zaostacima. Ne sme im se dozvoliti da ponovo zatruju novo izložene ili susedne površine, niti da postanu opasnost za udisanje ili gutanje u obliku praštine. Za vreme rada ovi se zahtevi mogu ispuniti kvašenjem površina vodom ili rastvorima izvesnih hemikalija koji rastvaraju čvrste čestice kao što je niže spomenuto.

10.39 — Fizičke metode uklanjanja sa površine često su dosta teške zato što zahtevaju mnogo rada a ponekad i naročitu opremu. Metode koje primenjuju struganje su možda najefikasnije. Prskanje mokrim peskom upotrebljeno je, naprimjer, pri uklanjanju zatrovanih velikih površina brodova koji su služili kao mete na Bikiniju (slika 10.39). Ovde prime-

njena tehnika pretstavlja deo normalnog održavanja brodova. Oprema i obučeno ljudstvo stoje uglavnom na raspolažanju pri vojnim i industriskim ustanovama. Metod prskanja vlažnim peskom može se takođe upotrebiti za uklanjanje zatrovanosti izloženog betona. Ovaj postupak ostavlja velike koli-



Sl 10.39 — Prskanje mokrim peskom radi uklanjanja radioaktivne zatrovanosti (obratiti pažnju na zaštitno odelo radnika).

ćine peska i vode koje sadrže aktivan materijal i, mada njihovo otstranjivanje može da pretstavlja problem, ostaje činjenica da se time znatno razblažuje materijal koji izaziva zatrovanost što pretstavlja izvesnu kompenzaciju.

10.40 — Upotrebljavana su takođe manje radikalna sredstva za struganje nego što je pesak a koja uklanjaju samo tanak površinski sloj. Mekani materijali kao što su strugotine i druge supstance slične prirode predloženi su za uklanjanje zatrovanosti sa osetljivih predmeta, kao što su instrumenti ili površine ležišta koje bi mogle da se oštete peskom. Slično

tome uklanjanje tankog spoljnog sloja može da se vrši četkanjem. Čelična vuna, čelične četke, četke za glaćanje poda ili razne mašine za glaćanje mogu da se prilagode za uklanjanje zatrovanosti pri površinskom uklanjanju aktivnog materijala u različnim okolnostima.

10.41 — Za uklanjanje površinskog sloja a sa njim i radioaktivnosti koja izaziva zatrovanost mogu da se primene takođe i hemiska sredstva. Delovanje je brzo i sigurno a u izvesnim slučajevima jedini praktični metod. Upotrebu veoma nagrizajućih (jetkih) ili drugih opasnih hemikalija, mada one mogu biti efikasne, treba ako je moguće izbegavati. Upotrebljena sredstva moraju biti takva da se mogu čuvati bez opasnosti, da budu raspoloživa u velikim količinama i da im je mala zapremina. Zbog ovih zahteva moraju se prvenstveno uzeti u razmatranje vodeni rastvori. Organski rastvarači su obično upaljivi ili otrovni, ili i jedno i drugo, dok se većina u vodi rastvorljivih hemikalija mogu lako čuvati i po želji brzo rastvoriti. Toplota koja nastaje kada se rastvaraju izvesni materijali, kao što je kaustička soda, često je korisna jer ubrzava hemisko delovanje. Pored toga su, naročito standardna vatrogasna oprema, pumpe, naprave za prevoz i mešanje usvojeni za rad sa vodenim rastvorom.

10.42 — Uklanjanje zatrovanosti hemiskim sredstvima obično izaziva prenošenje aktivnosti na dosta velike zapremine tečnosti, te se sada postavlja problem kako otkloniti tu vodu. Samo kvašenje površine rastvorima hemiskih reagensa skoro je isto toliko efikasno za uklanjanje zatrovanosti kao i polivanje. Ako se upotrebljava samo kvašenje, utrošeni materijal se može ograničiti i kontrolisati, ali će imati relativno visoku aktivnost. Sa druge strane, kod metode polivanja nastali rastvor je razblaženiji a radioaktivnost je raspoređena na veću zapreminu. Oba postupka imaju svoje prednosti i nedostatke, a koji će se metod upotrebiti odrediće se prema okolnostima.

10.43 — Hemiske metode površinskog uklanjanja mogu se primeniti na svaku posebnu vrstu površine. Naprimjer, ustaljeno je da su alkalije efikasne pri uklanjanju zatrovanih slojeva boje. U specijalnim slučajevima drastični postupci upotrebe kiselina, kaustičkih alkalija i drugih nagrizajućih agensa pokazali su se uspešni pri uklanjanju površinskog sloja, ali mogu biti razorni pošto najedaju i stvaraju rupice na osnovnom materijalu za vreme otklanjanja površinskog sloja. Blaga hemiska sredstva za uklanjanje površine kao što je upotreba

stvaraoca kompleksa, koji će se niže spomenuti, upotrebljena su u izvesnim slučajevima, naprimjer, za boju koja sadrži titanijum.

10.44 — Kombinacija fizičkih i hemiskih postupaka zastupljena je kod upotrebe zagrejane pare kao sredstvo za uklanjanje zatrovanosti, naročito u vezi sa nekim sredstvom za čišćenje, kao što je spomenuto u § 10.33. Ovaj postupak se pokazao osobito korisnim za čišćenje jako zatrovanih površina u laboratorijama i na postrojenjima. Izgleda da je naročito efikasan za obojene površine pošto je delovanje zasnovano na delimičnom razaranju boje hidrolizom. Pored toga skida se labava ili mehanički prionula zatrovana površina trpi izvesno raspadanje usled iznenadnog porasta temperature. Verovatno je da se kombinacija zagrejane pare sa nekim sredstvom za čišćenje može da pokaže korisnom pri uklanjanju zatrovanosti mnogih vrsta površina i objekata.

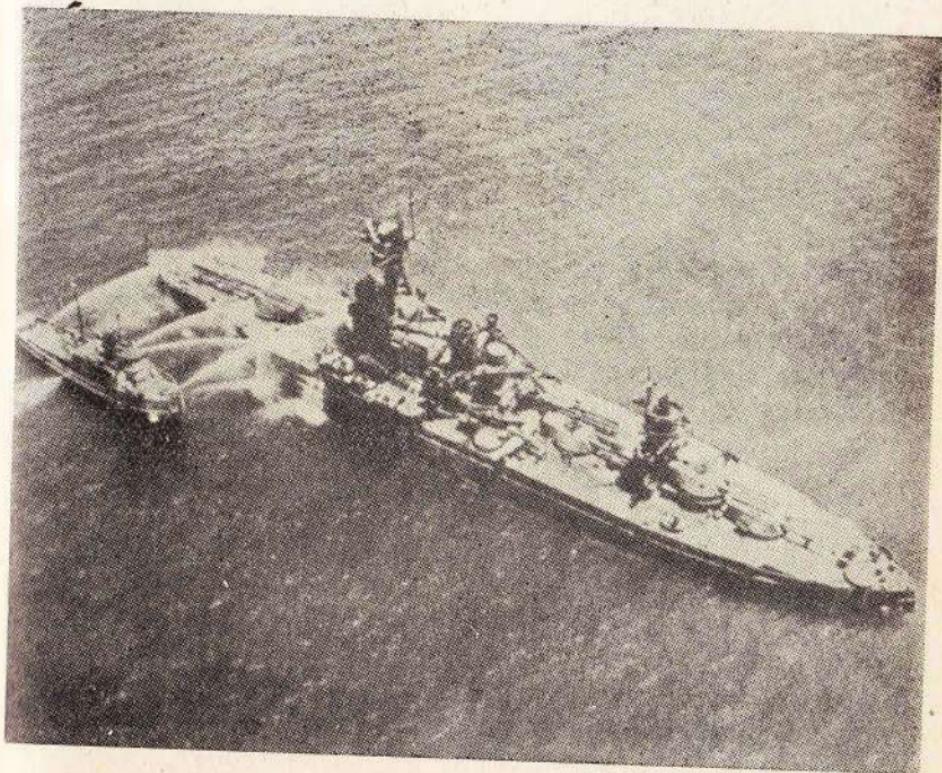
10.45 — Sama toplota deluje na sličan način kao i zagrejana para. Dodir plamena iz ručne lampe za topljenje metala sa zatrovanim obojenom površinom izaziva u delu sekunda upadljivo smanjenje aktivnosti. Ovaj metod uklanjanja zatrovanih površina ne treba pokušavati ako se ne raspolaže odgovarajućom ventilacijom za uklanjanje radioaktivnog dima.

UKLANJANJE SLABO PRIONULOG MATERIJALA

10.46 — Pri ispitivanju ratnih brodova koji su bili zatrovani radioaktivnošću na Bikiniju zapaženo je da je mnogo aktivnosti vezano sa prašinom, zardalim površinama, itd., što se sve moglo otstraniti bez teškoća. U izvesnim okolnostima, do 90% radioaktivnosti koja ostaje na površini brodova 3 godine posle zatrovanih površina mogla se ukloniti vakuum aparatom za čišćenje ili četkanjem.

10.47 — U slučaju zatrovanih površina usled radioaktivno zatrovane vode posle podvodne eksplozije atomske bombe, za uklanjanje slabo prionulih materijala koji izazivaju zatrovanih površina mogla se upotrebiti voda pod velikim pritiskom (slika 10.47). Međutim, postoji izvestan dokaz da radioaktivna prašina, koja je mogla nastati od podzemne eksplozije, taloženja suvog aktivnog materijala iz radioaktivnog oblaka ili materijala koji bi se mogao upotrebiti u vođenju radiološkog rata, teži da prione uz površine usled postupka sa vodom ili vodenim rastvorom.

U takvim slučajevima bolje su, kao početna mera u cilju sprečavanja širenja ili jakog prijanjanja zatrovanosti, suve fizičke metode, kao naprimjer čišćenje usisavanjem, četkanjem, primena lepka itd.



Sl. 10.47 — Prethodna dekontaminacija broda SAD »New York« posle opita »Baker« na Bikiniju. Pranje paluba morskom vodom izvršeno je od strane jednog vatrogasnog broda mornarice.

10.48 — Lepci različnih vrsta pokazali su se praktični za otklanjanje prašine i mehanički prionule zatrovanosti. Na zatrovani površini primjenjen je premaz lepka koji se kasnije skida; nešto radioaktivnog materijala zadržće premaz i posle uklanjanja. Premazi koji se mogu skidati i koji mogu da produ u pore i pukotine podesni su za uklanjanje zatrovanosti umereno rapavih površina. Za glatke površine pokazale su se uspešnim lepljive trake različnih vrsta. Isprobano je nekoliko vrsta kita ali rezultati nisu bili zadovoljavajući.

10.49 — Kada se ima posla sa zatrovanošću koja je labavo prionula, ne može se zanemariti očigledna upotreba sapuna i vode. Kao što je ranije rečeno, ne samo da će sapun i druga sredstva za čišćenje ukloniti prljavštinu, prašinu, masnoću itd., koje su radioaktivno zatrovane, već je taj metod pogodan za većinu površina, nije opasan i ne zahteva naročito iskustvo za primenu. Kao što će se kasnije videti, sredstva za čišćenje i agensi za kvašenje imaju i druge dragocene osobine pri uklanjanju zatrovaniosti.

UKLANJANJE ČVRSTO PRIONULOG MATERIJALA

10.50 — Kada je nedovoljan stepen uklanjanja zatrovaniosti (dekontaminacije) posle uklanjanja radioaktivnog materijala koji slabo prijanja, biće potreban dalji postupak. Površinsko uklanjanje, kao što je gore opisano, može da se upotrebni, ali postupci su neizbežno grubi i nepogodni za osjetljivu opremu; pored toga ono se često posle uklanjanja zatrovaniosti površina mora obnoviti da bi se obezbedila zaštita protiv korozije. Izrapavljeni površini je takođe sklona da primi novu zatrovost. Upotrebom hemiskih metoda mogu se često izbeći ovi nedostaci. Pomoću rastvora nekog hemiskog reagensa može se omogućiti prenošenje radioaktivnosti u tečnu fazu koja će se tada isprati. U vezi sa ovim upotrebljena su tri opšta principa; to su obrazovanje rastvorljivih jedinjenja, izmena jona i rastvaranje.

10.51 — Supstance koje imaju veći afinitet prema elementu koji izaziva uklanjanje zatrovaniosti nego prema površini, i koje sa njim stvaraju u vodi rastvorljiva jedinjenja pretstavljaju pogodne agense za vezivanje ili izdvajanje. Vršeno je mnogo istraživanja sa ciljem da se nađu jedinjenja ili joni koji obrazuju komplekse sa produktima cepanja i sa materijalom koji se može cepati a koji sačinjava atomski eksploziv. Rastvori natrijumcitrata upotrebljeni su sa izvesnim uspehom u radovima čišćenja posle opita na Bikiniju, ali izvrsne druge supstance kao što su natrijumove soli etilendijamin-tetrasirčetna kiselina, aminotrisirčetna kiselina i pirofosforna kiselina, pokazale su se kao bolje i jeftinije. Interesantno je spomenuti da su, nasuprot teoriskom očekivanju, jako kiseli rastvori limunske kiseline bili efikasniji od neutralnog citrata pri otklanjanju radioaktivne zatrovaniosti. Očigledno da je prisutna hlorovodonična kiselina rastvorila rđu i skramu u kojima su materijali koji izazivaju zatrovost težili da se kon-

centrišu, a sa kojih je prema tome bilo teško ukloniti zatrovanoš. Ostaje još da se izvrše mnoga istraživanja pre nego što se za opštu upotrebu može preporučiti siguran stvaralač kompleksa ili prosta mešavina takvih agensa.

10.52 — Delimično otstranjivanje radioaktivnih jona sa površine omogućeno je primenom načela hemiske ravnoteže. Nepoželjni joni nekog radioizotopa mogu da se zamene jonom neradioaktivnih izotopa istog elementa primjenjenog u rastvoru. Izmena će imati za posledicu smanjenje broja radioaktivnih jona na površini, čak i ako se stvarno i poveća ukupni broj jona, radioaktivnih i stabilnih. Za uklanjanje zatrovanoši usled produkata cepanja iz atomske eksplozije ovaj bi postupak teoriski zahtevao 34 elementa u raznim valencijama. Neki od ovih su veoma retki dok drugi, naime tehnečijum (redni broj 43) i prometijum (redni broj 61), ne postoje u neradioaktivnim oblicima. U vezi sa ovim moguće je da se pokažu korisnim izvesni obični joni velike valencije, kao što su aluminijum, gvožđe ili cerijum. Nažalost reakcije izmene su vrlo spore i dosada dobiveni laboratorijski rezultati nisu ohrađujući.

10.53 — Nerastvorljivi materijali koji izazivaju zatrovanoš, kao što su oksidi, bazične soli itd., ne mogu da obezbede dovoljno jona da bi se omogućilo brzo stvaranje kompleksa ili izmena. Međutim, na neke od ovih će delovati agensi za kvašenje i sredstva za čišćenje. Sposobnost peptizacije ovih materijala omogućava da se čestice nerastvorljivog materijala isperu kao suspenzija. Upotreba sredstava za čišćenje u bilo kom postupku uklanjanja zatrovanoši korisna je, pošto pored tzv. dejstva rastvaranja, koje je sada spomenuto, potpomaže potpunije i brže kvašenje površine i olakšava, kao što je ranije spomenuto, uklanjanje prašine, prljavštine itd. koje nose radioaktivni materijal.

10.54 — Pri razmatranju problema uklanjanja zatrovanoši postoji jedna osnovna postavka koja se ne sme zaboraviti. Postupci uklanjanja zatrovanoši ne neutralizuju radioaktivnost, već samo prenose radioaktivni materijal sa jednog mesta na drugo. Prema tome, pre nego što se preduzme uklanjanje zatrovanoši, potrebno je preduzeti mere da se uklonjeni materijal otstrani na mesto gde neće pretstavljati opasnost. Koji će se metod upotrebiti zavisi od okolnosti koje postoje u to vreme.

UKLANJANJE ZATROVANOSTI IZ GRADOVA I DOMOVA

10.55 — U slučaju ozbiljne radioaktivne zatrovanoosti velikog dela grada morali bi se preduzeti koraci da se on što pre osposebi za stanovanje. Najvažnija stvar u vezi sa ovim bilo bi uklanjanje ili prekrivanje rastresenog materijala koji bi mogao da stvara prašinu koja bi se udisala ili gutala sa hranom. Kod kaldrmisanih ulica, ukoliko je to izvodljivo, prva mera treba da bude pranje ili čišćenje ulica pomoću aparata za usisavanje. Ako se materijal koji izaziva zatrovanošću nalazi na površini ili nije prodro suviše duboko, zgrade od betona, kamena ili opeka morale bi možda da se prskaju vlažnim peskom ili da se prepokrivaju. Ofarbana drvena postrojenja mogla bi se dekontaminisati pomoću nekih od ranije datih metoda u ovoj glavi, ali bi se gipsane obloge zgrada morale ukloniti. Isto važi i za krovove koji su sakupili znatne količine radioaktivnog materijala a sa kojih se ne bi mogla lako ukloniti zatrovanošću.

10.56 — Zemljišta imaju dosta veliku specifičnu površinu a takođe i dobro određena osnovna svojstva izmene. Usled toga ona će težiti da koncentrišu radioaktivni materijal. Ovo je i pogodno u izvesnom smislu pošto će se pri pranju zatrovanih ulica, zgrada itd. mnogo vode preneti u okolno zemljište ako nema posebnih kanalizacionih postrojenja. Usled osobina koje su gore spomenute, radioaktivnost će ostati u gornjoj površini debljine nekoliko palaca. Jedini način koji izgleda da je praktičan za postupak sa takvim gornjim slojem zemljišta, kao i gornjeg sloja zemljišta iz parkova i ledina u zatrovanim građu, jeste da se ovaj ukloni ili prekrije bar jednom stopom sveže zemlje. Ovo se može možda izvršiti prevrtanjem zemlje tako da donja nezatrovana zemlja prekrije zatrovani zemlju. Pri ovim radovima sa takvom zemljom zahtevali bi se standardni postupci kvašenja da smanje opasnost od radioaktivne prašine.

10.57 — Jako zatrovano odelo kao i čilimi, zavese i tapacirani nameštaj morali bi se izbaciti i zakopati ili spaliti u načititim pećima koje su tako građene da sprečavaju izlazak radioaktivnog dima. Ako zatrovanošt nije suviše ozbiljna pranje i peglanje može da bude efikasno za dovoljno smanjenje aktivnosti da bi se omogućila ponovna upotreba. Verovatno je da se u većini slučajeva sa unutrašnjih zidova i podova domova i zgrada, ako su izdržali atomsku eksploziju, može ukloniti zatrovanošt temeljnim pranjem. Tada bi se mogle ponovo obojadisati, tapetirati ili lakovati prema prilikama.

UKLANJANJE ZATROVANOSTI (DEKONTAMINACIJA) HRANE I VODE

10.58 — Dobro pokrivenе namirnice pretrpeće malо ili nikakvo zatrovаnje. Isto ће važiti za konzerviranu hrانu ili svaki materijal u neprobojnim i za prašinu nepropustljivim omotima. Izgleda da nema nikakvih sredstava za spasavanje nezaštićene radioaktivno zatrovane hrane bilo u kući, magacinu ili u polju.

10.59 — Zatrovavаnje instalacija za snabdevanje vodom moglo bi da se desi na više načina, kao što su taloženje čestica aktivnog materijala iz radioaktivnog oblaka koje su pale u reku ili rezervoar, akumulacija radioaktivnosti od čestica aktivnog materijala iz radioaktivnog oblaka nataloženih u slivu, eksplozija atomske bombe blizu rezervoara ili u njemu, ili namerна upotreba radioizotopa pri vođenju radiološkog rata. Ako stepen zatrovаnosti nije suviše veliki onda je verovatno da voda obično neće biti neupotrebljiva za potrošnju usled delovanja više faktora, napример razblaživanje usled oticanja, prirodno raspадаnje, adsorpcija itd., izuzev možda za ograničeno vreme, odmah posle zatrovаnja.

10.60 — U površinskim vodama radioaktivni materijali koji izazivaju zatrovаnost težiće da budu adsorbovani od strane suspendovane i koloidalne materije koje uvek ima. Ova materija ћe se delom taložiti ili ћe je adsorbovati zidovi i dno rezervoara. Kod gradskih vodovoda radioaktivni materijal koji izbegne adsorpciju u rezervoарu biće adsorbovan od strane površina razvodne mreže, koja se obično sastoji od opeke koja ima visoke osobine adsorbovanja, ili zardalog gvožđa. Kada, pored toga, proces prečišćavanja obuhvati postupak koagulacije (zgrušavanja), sedimentacije i filtracije, očekuje se da ћe normalno vrlo malо radioaktivnog materijala stići do potrošača.

10.61 — Zbog adsorpcionih osobina zemljišta, o kojima je bilo ranije govora, podzemni izvori vode uglavnom su sigurni od zatrovаnja. Iz istog razloga bunari srednje dubine, čak i ispod zatrovаnog zemljišta, mogu da se koriste kao izvori piјаče vode, s tim da se spreči ceđenje zatrovаnog materijala sa površine u bunar.

10.62 — Ako se neki rezervoar ili reka ozbiljno zatruju, a voda nije podvrgnuta koagulaciji ili filtraciji kao što je gore opisano, voda više dana može da bude neupotrebljiva za potrošnju. Međutim usled razređivanja i prirodnog opadanja radioaktivnosti, stepen zatrovаnosti ћe se vremenom smanjiti.

U ovakvim slučajevima vodu treba podvrći brižljivom ispitivanju na radioaktivnost i zabraniti snabdevanje vodom dok ne bude dovoljno sigurna za upotrebu. U vezi sa ovim, pošto se voda unosi u organizam, treba imati na umu da je značajna kako alfa i beta tako i gama aktivnost.

10.63 — U nekim se gradovima voda uzima neposredno iz reke i samo hloriše pre nego što se upotrebni za domaću potrošnju. Ako u slučaju potrebe nema drugog izvora vode, mora se razmotriti mogućnost upotrebe katjonskih i anjonskih izmjenjivačkih kolona ili naslaga ako bi redovno snabdevanje bilo zatrovano. Kućni omešivači vode mogu da služe za istu svrhu. Za hitne potrebe može se u bolnicama i na brodovima dobiti dovoljno vode putem destilacije. Na Bikiniju se naprimer pokazalo da je zatrovana voda posle destilacije bila potpuno sigurna za piće; radioaktivni materijal je ostao u zaostalom talogu i slanoj vodi. Trebalo bi međutim naglasiti da je bez vrednosti samo kuvanje vode zatrovane radioaktivnošću.

10.64 — Postoji sugestija da se za otklanjanje radioaktivne zatrovosti mogu upotrebiti alge i zoogealne bakterije, kao što su one koje se upotrebljavaju u biološkom procesu kod prečišćavanja otpadnih voda, koje apsorbuju i koncentrišu mineralne elemente neposredno iz vode (vidi § 8.98). Da bi bile efikasne, uslovi bi trebali da budu takvi da omogućavaju obilan razvoj tih organizama. Kad se aktivnost poslednjih jednom ostvari, voda bi se mogla iscrpiti a bakterije i drugo otkloniti mehaničkom filtracijom ili putem taložnika i ostaviti da se raspadnu. Da li će se ovaj postupak u većem obimu pokazati praktičnim nije još poznato, mada prethodni opisi pokazuju izvestan uspeh u otklanjanju plutonijuma iz zatrovane vode.

10.65 — Usvojeni nivo tolerancije za vodu koja sadrži produkte cepanja iznosi 4×10^{-6} mikrokirija/cm³. Ako se uzme da srednja energija gama zraka iznosi 0,7 mev (§ 8.11), može se pomoću dijagrama slike 8.37b pokazati da bi brzina doziranja, merena iznad površine zatrovane vode, iznosila blizu 4×10^{-6} rendgena na čas. Aktivnost u kirijima znatno je niža od aktivnosti izvesnih radioaktivnih mineralnih voda koje se troše u većoj količini bez očigledno štetnih posledica. Izgledalo bi zbog toga da bi se u slučaju potrebe voda, sa aktivnošću koja više puta prelazi usvojenu granicu tolerancije, mogla upotrebiti za piće u ograničenim količinama. Zbog brzog raspar-

danja produkata cepanja sa vremenom aktivnost vode i odgovarajuća opasnost bi se brzo smanjila, ako uopšte postoji.⁴⁾

POSEBNE ZAŠTITNE METODE

10.66 — Idealna odbrana protiv radioaktivne zatrovanoosti jeste da se, kad god je moguće, koriste površine koje su ili otporne prema takvoj kontaminaciji ili sa kojih se aktivni materijal može lako otstraniti. Nađeno je naprimer, da se sa površine obložene izvesnim plastičnim bojama relativno lako uklanja zatrovanošt. Učinjeni su pokušaji da se materijali razvrstaju prema svojim kontaminacionim i dekontaminacionim karakteristikama, ali će proći izvesno vreme dok se taj predmet ne razjasni. Može se međutim u opštim crtama tvrditi da idealna površina za namenjenu svrhu treba da ima što je moguće manju specifičnu spoljnu površinu, tj. površinu na jedinicu mase, poroznost i hemisku i površinsku aktivnost. Sada postoje znaci da izvesne supstance kao što su polietileni imaju ove željene osobine, te bi se ove materije mogle koristiti za obrazovanje tankih površinskih prevlaka na raznim predmetima ili opremi.

10.67 — Građevinski materijali, naprimer, beton, opeka i meko drvo, predstavljaju poseban problem, pošto je uklanjanje zatrovanih sa poroznih materija stvarno nemoguće. Izgleda da je zasada dobro održavana boja ili druga zaštitna prevlaka jedino sredstvo za zaštitu protiv radioaktivne kontaminacije. Ovo bi trebalo imati na umu, naročito u vezi sa novim građenjem blizu vode, gde postoji mogućnost podvodne eksplozije. Pri konstruisanju postrojenja trebalo bi učiniti napore da se izbegnu nepristupačni prostori, oštra udubljenja i slabo odvodnjavanje.

10.68 — Druga mogućnost u vezi sa zaštitom od radioaktivne zatrovanih, koja se pokazala kao dobra u laboratorijskim uslovima, jeste upotreba prevlaka koje se mogu lako skidati. Zaštita ove vrste koja se može otstraniti a koja se postiže lepljivom trakom ili pomoću naročitog oblaganja plastičnim materijalom, prskanjem ili mazanjem četkom, prijanja neposredno uz površinu koja treba

⁴⁾ Prisustvo znatnih količina plutonijuma u nekom rezervoaru, sa njegovim dugim vremenom poluraspada i tendencijom da se koncentriše u telu (§ 11.93), predstavlja bi poseban problem. Za usvojeni stepen tolerancije plutonijuma u vodi vidi § 12.72.

da se zaštiti. U slučaju radioaktivne zatrovanosti plastična površina se ostruže i zameni novom.

10.69 — Tamo gde su prethodni postupci nemogući, vitalna oprema treba da se čuva pokrivena krovnom lepenkom ili drugim prenosnim zaštitnim sredstvima. Pristupni putevi ka postrojenjima za slučaj nužde treba da budu na izvestan način zaštićeni, jer je iskustvo na Bikiniju pokazalo da prost zaklon može da bude vrlo efikasan za smanjivanje radioaktivne zatrovanosti.

GLAVA XI¹

DEJSTVA NA LJUDE

A. VRSTE POVREDA

UVOD

11.1 — Dejstva koja izazivaju povredu kod ljudi usled eksplozije atomske bombe, mogu se podeliti u tri glavne kategorije i to: povrede usled eksplosionog udara, opeketine i povrede usled nuklearnog zračenja. Mada je u glavi VI procenjeno da je bar 50% gubitaka u mrtvima usled atomskog bombardovanja Japana bilo prouzrokovano opeketinama jedne ili druge vrste, stvarno je nemoguće utvrditi srazmerni značaj raznih činilaca. Mnogi ljudi koji su bili povredeni usled eksplosionog udara bili su takođe i opečeni, a ovo je nesumnjivo bila i sudbina ostalih koji su podlegli dejstvima zračenja. Na oko 2.500 stopa od centra eksplozije verovatno je da su eksplozioni udar, opeketine i zračenje mogli biti smrtonosni u mnogo slučajeva i svaki posebno. Trebalo bi, međutim, naglasiti da nije svaki bio ubijen u prostoru poluprečnika 2.500 stopa od centra eksplozije. Među onima koji su preživeli neposredne posledice eksplozija u Hirošimi i Nagasakiju izvestan broj je kasnije umro od tzv. radijacione bolesti. Veruje se da broj ovih iznosi od 5 do 15% od ukupnog broja gubitaka u mrtvima.²⁾

11.2 — Uprkos činjenici da se ne može dobiti nikakav određeni podatak iz japanskog iskustva u pogledu srazmernog doprinosa tri uzroka povrede, mogu se ipak izvući izvesni opšti zaključci u odnosu na vrstu eksplozije. U slučaju visoke eksplozije u vazduhu, kao što je bila u Hirošimi i Nagasakiju,

¹⁾ Materijal su stavili na raspolaganje J. P. Cooney, R. D. Evans, A. C. Fabergé, G. M. Lyon, Shields Warren.

²⁾ Izvestan broj lica koja su se nalazila na 2.500 stopa od atomske eksplozije u Japanu preživeo je, pošto su bili zaklonjeni na neki način. (Uporedi § 11.71).

najveći broj gubitaka će nastati usled opekoština i dejstva eksplozionog udara. Broj povreda od zračenja nastalih od izloženosti početnim nuklearnim zračenjima biće mali a dejstvo zatrovanosti od nuklearnog zračenja može se zanemariti.

11.3 — Eksplozija na maloj visini ili u nivou zemlje izazvala bi nešto manje gubitke od eksplozionog udara ili opekoština, međutim izvesna mala površina biće jako zatrovana radioaktivnim materijalom. Ako bi se preduzele odgovarajuće mere predostrožnosti, gubici usled ovog naknadnog zračenja iznosili bi vrlo mali deo od ukupnih gubitaka.

11.4 — Broj gubitaka od eksplozionog udara i od opekoština smanjuje se takođe posle plitke podvodne eksplozije. Međutim, izvesni bi gubici mogli nastati od izloženosti zračenju od produkata cepanja, u manjoj meri od materijala koji je izbegao cepanje, rasprostrtnog na znatnoj površini velikim talasom u podnožju vodenog stuba i taloženjem aktivnog materijala iz radioaktivnog oblaka (§ 8.64 i dalje). Tokom prva dva meseca ili više primarna opasnost bila bi naročita usled gama zrakova i beta čestica od produkata cepanja. Posle toga gutanje plutonijuma moglo bi u izuzetnim okolnostima da pretstavlja opasnost. U slučaju ozbiljne zatrovanosti ove vrste bilo bi potrebno evakuisati stanovništvo sa zatrovnih prostorija dok se sa njih, prema opisu u glavi X, ne bude mogla na odgovarajući način ukloniti zatrovanost.

NEPOSREDNE I POSREDNE POVREDE OD EKSPLOZIONOG UDARA

11.5 — Mogu se razmatrati dve vrste povreda od eksplozionog udara, naime, neposredne i posredne. Neposredne povrede od eksplozionog udara proizlaze iz pozitivne faze pritiska udarnog talasa koji deluje na telo tako da prouzrokuje povrede pluća, stomaka, creva, bubrežnih opni i unutrašnja krvarenja. Takve su povrede nastajale u II svetskom ratu posle velikih vazdušnih napada sa običnim eksplozivnim bombama. Međutim u Nagasakiju i Hirošimi neposredno dejstvo eksplozionog udara nije pretstavljalo značajni primarni uzrok smrtnosti, pošto su bili sprženi ili smrvljeni svi oni koji su se nalazili dovoljno blizu eksplozije da bi mogli pretrpeti povredu ove vrste. Za izazivanje neposredne povrede čoveka potreban je pritisak od oko 35 funti ili preko toga na kvadratni palac, a najveći pritisak udarnog talasa za nominalnu atomsku bombu

dostigao bi takve vrednosti samo na otstojanjima do 1.000 stopa od nulte tačke ili ispod toga, pod pretpostavkom da visina eksplozije iznosi 2.000 stopa.

11.6 — Posredna ili sekundarna dejstva usled rušenja zgrada, drvene građe i druge parčadi koje je razneo eksplozioni talas u japanskom bombardovanju bila su značajnija od primarnih povreda eksplozionim udarom. Ljudi su bili povređeni predmetima koji su leteli, zgnjećeni ili zatrpani ispod zgrada i bačeni prema nepokretnim objektima. Parčad stakla prodirala su do jednog palca ispod kože a lako letnje odelo koje se nosilo u to vreme pružalo je malu zaštitu. Doklegod se ne preduzmu potrebne mere predostrožnosti prema opisu u glavi XII, staklo će pretstavljati znatnu opasnost.

11.7 — Priroda posrednih povreda od eksplozionog udara kretala se od potpunog zgnjećenja, teških preloma i ozbiljnih ranjavanja sa krvarenjem, do manjih ogrebotina, modrica i kontuzija. Bilo je pacijenata koji su se lečili od povreda dobitih na 10.600 stopa od nulte tačke u Hirošimi i na 12.200 stopa u Nagasakiju. Šok, psihički i traumatični, tj. usled telesne povrede, pretstavljao je ozbiljnu komplikaciju u mnogo slučajeva. Može se takođe spomenuti da su mnoge opekotine bile u izvesnom smislu posredna posledica eksplozionog udara.

11.8 — Broj raznovrsnih gubitaka, koji bi se mogao očekivati usled eksplozionog udara od eksplozije atomske bombe, biće očigledno zavisao od vrste konstrukcije zgrade a takođe i od visine eksplozije. Međutim, uvezvi u celini, posredne povrede od eksplozivnog udara usled atomske bombe slične su povredama koje prouzrokuju obične bombe. Jedina važna razlika je mnogo veći broj i veća raznolikost takvih povreda izazvanih u kratkom vremenskom intervalu kod prvog slučaja. Ova se činjenica dobro ilustruje brojkama u tablici 11.8³⁾ gde su gubici izazvani atomskim bombama u Hirošimi i Nagasakiju upoređeni sa gubicima pri napadu na Tokio sa običnim bombama 9 marta 1945 godine i sa prosečnim rezultatima iz 93 napada sa sličnim oružjem na druge japanske gradove. Vrlo su uočljivi visoka smrtnost i gubici po kvadratnoj milji površine razorenog atomskom bombom.

³⁾ »The Effects of Atomic Bombs at Hiroshima and Nagasaki« (»Dejstva atomskih bombi u Hirošimi i Nagasakiju«), U. S. Strategic Bombing Survey (1946).

TABLICA 11.8

Upoređenje gubitaka za atomske i obične bombe

ORUŽJE	Hirošima Atomska bomba	Nagasaki Atomska bomba	Tokio 1.667 tona TNT i zap. bombi	Prosek iz 93 napada 1.129 tona TNT i zap. bombi
Stanovništvo po kvadratnoj milji	35.000	65.000	130.000	—
Razoren kvadratnih milja	4,7	1,8	15,8	1,8
Ubijenih i nestalih	70.000	36.000	83.000	1.850
Povredenih	70.000	40.000	102.000	1.830
Smrtnost po razorenoj kvadratnoj milji . . .	15.000	20.000	5.200	1.000
Gubici po razorenoj kvadratnoj milji . . .	30.000	42.000	11.800	2.000

OPEKOTINE OD PLAMENA I TOPLITNOG BLESKA

11.9 — Prema iznetom u glavi VI zapažene su u Hirošimi i Nagasakiju dve vrste opeketina. One su se uglavnom delile na (a) opeketine od požara ili plamena i (b) opeketine od bleska usled termičkog zračenja. Na mestima gde je bila mala, odelom nezaštićena, površina tela, naprimjer lice i ruke, opeketine od bleska su se karakterisale manje ili više oštro ograničenom površinom, što je dovelo do naziva »profilne opeketine« (§ 6.54). Sa druge strane opeketine od plamena obuhvatile su velike delove tela koji su prvobitno bili zaštićeni od termičkog zračenja. Može se, međutim, primetiti da su тамо, где су delovi tela bili izloženi termičkom zračenju, opeketine od zračenja takođe obuhvatile znatne površine. Zbog mnogo brojnih i prostranih požara koji su se razvili posle eksplozije atomske bombe ne treba se iznenaditi vrlo velikim ukupnim gubicima usled opeketina od plamena. Izveštaji pokazuju da je bilo opeketina jedne i druge vrste do na 14.000 stopa u Nagasakiju i 12.000 stopa u Hirošimi.

11.10 — Pošto opeketine od plamena usled atomske eksplozije sem svoje brojnosti nemaju nekih karakteristika po kojima bi se razlikovale od opeketina koje prouzrokuju drugi požari, to ih ne treba detaljno razmatrati. Međutim, daće se

kratak opis izvesnih važnijih karakteristika opeketina od toplotnog bleska.⁴⁾ Pored toga što su po površini ograničene na izložene delove tela, većina opeketina od zračenja pokazuje mnogo manju dubinu prodiranja u kožu. Ovo je trebalo očekivati kad se ima u vidu činjenica da se termičko zračenje koje izaziva opeketine apsorbuje za vrlo kratko vreme, u toku prva tri sekunda posle eksplozije. U vrlo kratkom vremenskom intervalu proizvodi se dakle vrlo visoka površinska temperatura. Na dubinama do kojih prodire termičko zračenje izgleda da se materija potpuno razara. Pocrnelost u poluprečniku od 3.600 stopa od nulte tačke ukazuje da je ustvari nastalo ugljenisanje.

11.11 — Prema japanskim izveštajima pojavilo se skoro odmah upadljivo crvenilo onih delova kože koji su bili izloženi termičkom zračenju od atomske bombe, sa rastućim potamnjnjem i stvaranjem plikova u toku od nekoliko časova. Što se tiče opeketina od plamena, razvoj je zavisio od stepena (ili dubine) opeketine. Neinficirane opeketine prvog stepena, koje nisu bile posebno iritirane, izlečene su brzo bez ikakvih karakterističnih crta. Međutim, primećeno je u mnogim slučajevima da je posle lečenja postojala upadljiva hipertrofija tkiva, tj. obrazovanje keloida. Jedno se vreme smatralo da bi ovo moglo biti usled nuklearnih zračenja naprimjer gama zraka ali ovo gledište se sada ne usvaja. Na stepen obrazovanja keloida nesumnjivo su uticale sekundarne infekcije koje su komplikovali lečenje opeketina, i nedovoljna ishrana, ali još značajnija je poznata tendencija obrazovanja keloida kod Japanaca kao rasna odlika. Naime, mnogo keloida zapaženo je i posle lečenja opeketina izazvanih usled požara nastalih pri napadima na Tokio.

11.12 — Rubovi izlečenih opeketina od bleska bili su obično oštro ograničeni a često još istaknuti uskom zonom gubitka pigmenta u okolnoj koži. Gušću pigmentaciju pokazivale su međutim ivice ožiljka koje su sve više bledile prema rubu. Ova pigmentacija nije neophodna pojava svojstvena dejstvu termičkog zračenja pošto i drugi faktori koji draže slojeve pigmenta u koži izazivaju slične rezultate kao što su ultraljubičasta svetlost i izvesne hemikalije — naprimjer plikavac.

⁴⁾ Zbog njihovog značaja u odnosu na dejstva atomske eksplozije preduzela je Komisija za atomsku energiju SAD opširnu studiju opeketina od bleska.

11.13 — Izvestan oblik opeketina od termičkog zračenja ili bleska, koji se ponekad prikazuje kao opeketina dodira, prouzrokovani je tamno obojenim delovima odela koji su se zagrejali i tako opekli kožu sa kojom su bili u dodiru. Ovim se objašnjava i spomenuta činjenica u § 6.55 da su se tamo, gde su opeketine nastale kroz odelo, opečeni delovi nalazili na mestu gde je odelo čvrsto prijanjalo uz kožu, naprimer u predelu ramena, laktova, pojasa itd.

11.14 — Kosa koja je bila izložena termičkom zračenju od atomskih eksplozija u Japanu ponekad je bila spaljena ili osmuđena. Ponekad su na ovaj način bile povredene ili razorenne znojne žlezde i korenii kose. Nema sumnje da je sve to ponekad bila posledica dejstva termičkog a ne nuklearnog zračenja, jer tamo gde je kapa pružala zaštitu glavi, površina gubitka kose bila je ograničena kapom. Svakako da kapa ne bi pružala nikakvu zaštitu da je opadanje kose izazvano dejstvom gama zrakova.

LEČENJE OPEKOTINA

11.15 — U praksi nije potrebno za dijagnozu i lečenje praviti razliku između opeketina prouzrokovanih termičkim zračenjem plamenom ili dodirom. Mada postoje razlike u odnosu na veličinu obuhvaćene površine tela, dubinu povrede kože i opšte reakcije pojedinaca na opeketine različnih vrsta, izgleda da je lečenje opeketina usled atomske eksplozije isto kao kod opeketina nastalih prilikom požara i drugih nesrećnih slučajeva. Jedna karakteristika opeketina od atomske bombe sastoji se u velikim gubicima u vrlo kratkom vremenu, raznolikosti opeketina na koje se naišlo i širokom domenu, težine opeketina — što zavisi od udaljenja od mesta eksplozije.

11.16 — Što se tiče lečenja opeketina za vreme Drugog svetskog rata mnogo se naučilo ali je predmet još uvek u proučavanju. Zbog toga se može preporučiti, dok se ne izjednače gledišta, da lekari svakog naroda upotrebe onaj način lečenja teških opeketina koji smatraju najefikasnijim.

DEJSTVA NA OČI

11.17 — Dejstvo termičkog zračenja na oči bilo je iznenadujuće malo; čak i oni koji su gledali direktno u eksplozije u Hirošimi i Nagasakiju sa izvesnog udaljenja samo su privremeno izgubili vid. U jednom je slučaju jedan pacijent bio to-

liko zaslepljen bleskom da dva dana nije bio u stanju da razlikuje svetlo od tamnog, ali se potpuno oporavio.

11.18 — Privremeno slepilo ovog tipa može da se pripše dvama poznatim uzrocima. Prvo, intenzivna svetlost izaziva potpuno iskorišćenje vidnog purpura mrežnjače. Slepilo će dakle trajati dotle, obično ne više od pola časa, dok se ponovo ne proizvede dovoljno ove supstance da se omogući gledanje. Drugo, privremeno slepilo može da se pripše fokusiranju termičkog, naročito infracrvenog zračenja, na mrežnjaču pomoću očnog sočiva. Primer povrede ove vrste pretstavlja tzv. »eklipično slepilo« koje nastaje od direktnog gledanja u sunce.

11.19 — Jedan od razloga što je u Japanu bilo relativno malo ljudi koji su trpeli od opeketina očnih jabučica usled termičkog zračenja od atomske bombe jeste da je građa oka otpornija prema topotli nego prosečna koža. Dalje, na mestima koja su se nalazila relativno blizu eksplozije, gde je zračenje bilo najintenzivnije, uvučeni položaj očiju pružio je zaštitu od zrakova. Pored toga, refleks treptanja oka delovao je kao efikasan zaštitni mehanizam. Termičko zračenje se emituje u intervalu od oko 3 sekunda i ovo je prilično veliki interval u poređenju sa vremenom koje je potrebno da se trespne.

B. DEJSTVA NUKLEARNIH ZRAČENJA POVREDA OD ZRAČENJA I RADIJACIONA BOLEST

11.20 — Štetna dejstva zračenja od atomske bombe predstavljaju jedan vid dejstva atomske eksplozije koji uopšte ne postoji kod eksplozije običnih bombi. Radi toga razmatraće se u ovoj knjizi nešto opširnije o radijacionoj bolesti. Treba, međutim, shvatiti da ovo opširnije razmatranje ne treba da znači da je zračenje najvažniji izvor gubitaka pri atomskoj eksploziji. Ovo sigurno nije bio slučaj u Japanu gde se, kao što je ranije rečeno, najviše 15% gubitaka pripisuje zračenju u poređenju sa preko 50% smrtnosti usled opeketina. Mada nuklearno zračenje može da pretstavlja stvarnu opasnost, čija veličina zavisi od vrste atomske eksplozije (§ 11.2 i dalje), ne treba nipošto smatrati da ima prvorazredni značaj.

11.21 — Davno je bilo poznato da prekomerno izlaganje bilo kome zračenju, naprimjer X-zracima, alfa i beta česticama, gama zracima i neutronima⁵⁾ koji su u stanju da proizvedu

⁵⁾ Neutroni proizvode direktno vrlo malu ili nikakvu ionizaciju. Međutim kao posledica sudara sa vodoničnim jezgrima, kojih ima u vodi

jonizaciju na živim tkivima, može da prouzrokuje povredu organizma. Posle otkrića X-zrakova i radioaktivnosti krajem XIX stoljeća radiolozi su, pre nego što je opasnost bila potpuno shvaćena, podnosili ozbiljno a ponekad kobno izlaganje zračenjima. Međutim, tokom vremena razvila su se sredstva za zaštitu te je i prekomerna izloženost bila sve ređe ozbiljna, mada je bilo povremenih nesrećnih slučajeva kod osoblja koje je radilo sa rendgenskom opremom, moćnim mašinama X-zrakova u industriskim laboratorijama, ciklotronima itd. ili koje je radilo sa radioaktivnim materijalima.

11.22 — Kao opšte pravilo u ovim slučajevima bila su izlaganja ograničena na izvesne delove tela a dejstva su nazvana *povrede od zračenja*. Ove su obuhvatale lokalno razaranje tkiva, gubitak kose i privremenu sterilnost. U vrlo malo slučajeva bilo je slučajnog izlaganja velikih delova tela prevelikoj dozi zračenja a ono je dovelo pre do opštег dejstva na organizam nego li do pojačanog lokalnog dejstva. Ovaj oblik oboljenja naziva se »radijaciona bolest«.

11.23 — Radijaciona bolest bila je retka pojava pre bombardovanja Hirošime i Nagasakija, ali je u ovim napadima izuzetno veliki broj osoba bio izložen gama zracima različnih intenziteta. Prema tome stajali su na raspolaganju za ispitivanje veoma različni oblici i težine bolesti kod velike grupe ljudi koji su apsorbovali doze zračenja koje obuhvataju znatan domen od beznačajnih do kobnih količina. Teškoća diferenciranja povreda prema direktnim (primarnim) i sekundarnim uzrocima pretstavljava je faktor koji je izazvao komplikaciju, jer su mnoge žrtve zračenja takođe pretrpele opekotine ili mehaničke povrede ili i jedne i druge. Pa ipak, izvučeni su izvenski opšti zaključci u odnosu na dejstva nuklearnog zračenja na ljudski organizam, o kojima će se raspravljati u daljem izlaganju.

11.24 — Ustanovljeno je da sva zračenja koja su u stanju da proizvedu neposrednu ionizaciju, naprimjer alfa i beta čestice, ili indirektno, naprimjer X-zraci, gama zraci i neutroni, mogu da prouzrokuju povrede od zračenja ili radijacionu

ili drugim sastojcima tkiva, brzi neutroni proizvode izbačene protone, koji prouzrokuju ionizaciju na svojim putanjama (uporedi § 9.5). Spori neutroni mogu da pretrpe radijativni zahvat (§ 7.7) od strane vodoničnih jezgra praćeno emitovanjem gama zrakova energije oko 2,2 mev. Poslednji su u stanju da prouzrokuju ionizaciju na običan način.

bolest istog opšteg tipa.⁶⁾ Međutim, mada su dejstva kvalitativno slična, razna se zračenja razlikuju po svome kvantitativnom ponašanju. Dakle za isti iznos energije koja je apsorbovana u tkivo jedna alfa čestica je 10 do 20 puta, spori neutron oko 5 puta, a brzi neutron oko 10 puta toliko biološki efikasan koliko jedna beta čestica, dok se za poslednju ustanovilo da je približno ekvivalentna jednom fotonu gama zraka. Koristeći ove odnose moguće je izraziti doziranje zračenja u rendgenima mada je, kao što je definisano (§ 7.41), ova jedinica striktno primenljiva samo na X-zrake i gama zrake.

DOZE ZRAČENJA

11.25 — Dejstva zračenja na žive organizme ne zavise samo od ukupnog iznosa koji apsorbuje, već i od brzine apsorpcije, da li je ova hronična ili akutna kao i od izložene površine tela (uporedi § 8.5). Neke pojave zračenja, kao što su genetička dejstva (§ 11.96 i dalje), očigledno ne zavise od brzine predavanja zračenja već zavise samo od ukupne doze. U nekim slučajevima tvrdilo se da se dejstvo zračenja povećavalo sa smanjivanjem brzine predavanja; ovo se pripisivalo porastu osetljivosti tkiva usled neprekidne iradijacije.

11.26 — Međutim, u većini slučajeva smanjuje se biološko dejstvo date doze zračenja ukoliko opada brzina izlaganja, dakle, da navedemo jedan ekstremni slučaj, 600 rendgena bili bi sigurno kobni ako bi ih čitavo telo apsorbovalo za jedan dan, verovatno da ne bi imali primetnih posledica ako bi se rasporedili na 30 godina. Najpogodnije objašnjenje ove činjenice jeste da, ako je brzina doziranja na dan po veličini vrlo mala onda oštećeno tkivo ima mogućnosti da se oporavi. Ako se intenzitet ili brzina predavanja poveća, oporavljenje tkiva ne može ići istim tempom kao i oštećenje, te treba očekivati povećano dejstvo zračenja. Očigledno je da je faktor oporavljenja taj koji omogućava da ljudska bića prime ograničene doze zračenja, bar 0,3 rendgena nedeljno (§ 8.4) za duži period vremena bez ikakvih vidljivih štetnih posledica.

11.27 — Prethodna razmatranja objašnjavaju potrebu za razlikovanjem akutne izloženosti, tj. povremenih velikih doza

⁶⁾ Treba shvatiti da se izraz »zračenje« onako kako je upotrebljen u ovom i narednim odeljcima ove glave odnosi na svako zračenje koje direktno i indirektno prouzrokuje ionizaciju. Toplotno zračenje razume se da nije obuhvaćeno pošto ne može da proizvede ionizaciju.

i hronične izloženosti, tj. stalne izloženosti malim dozama zračenja. Što se tiče dejstva atomske bombe, situacija se uprošćava činjenicom da se početna nuklearna zračenja emituju za kratki vremenski period, za koji se smatra da iznosi oko jedan minut ili nešto preko toga, tako da se izloženost ovim zračenjima može smatrati kao zračenje akutnog tipa. Sa druge strane, naknadna zračenja usled produkata cepanja itd. predstavlja bi hroničnu opasnost bilo kao unutrašnja ili kao spoljna zračenja.

11.28 — Pošto velike akutne doze koje su primila ljudska bića predstavljaju samo rezultat slučajnosti jedne ili druge vrste, nije moguće da se definitivno tvrdi da će utvrđeni iznos zračenja imati određene posledice. Pa ipak, iz opita sa životnjama, na kojima je proučena osjetljivost prema zračenju koja je slična i za ljudska bića, izvučeni su izvesni opšti zaključci. Svakako da ovi zaključci ne mogu biti tačni, pošto postoji upadljiva različnost među ljudima, bar ukoliko se tiče osjetljivosti prema zračenju. Dati rezultati u tablici 11.28 mogu se

TABLICA 11.28

Verovatna početna dejstva doza akutnog zračenja po celom telu

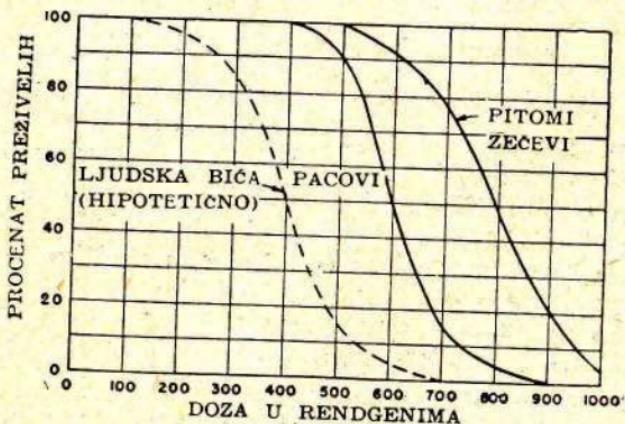
	Akutna doza	Verovatno dejstvo
0— 25 r	— — — — —	Nema vidljivih povreda.
25— 50	— — — — —	Moguće krvne promene, ali nema ozbiljnih povreda.
50—100	— — — — —	Promena krvnih ćelija, izvesne povrede, nikakve nesposobnosti.
100—200	— — — — —	Povrede, moguća nesposobnost.
200—400	— — — — —	Povreda i nesumnjiva nesposobnost, moguća smrtnost.
400	— — — — —	Kobno do 50%.
600 ili preko toga	— — — — —	Kobno.

zbog toga smatrati kao približna indikacija početnih dejstava raznih akutnih doza zračenja na ljudska bića, pretpostavljajući da je čitavo telo izloženo zračenju.⁷⁾ Nešto veće doze mogu se usvojiti sa jednakom verovatnoćom povrede, ako se

⁷⁾ U Japanu se nalaze u proučavanju mogućna zadocnela dejstva zračenja kao deo dugoročnog programa Komisije za gubitke od atomske bombe Nacionalnog saveta za istraživanje SAD, koja se nalazi pod pokroviteljstvom Komisije za atomsku energiju. Sem slučajeva katarakte (§ 11.71) ništa značajno nije zapaženo 4 godine posle atomskih eksplozija.

izloženost proteže na više dana ili nedelja, ili ako bi bila ograničena na izvestan deo tela. Međutim, za ove produžene ili delimične izloženosti nije moguće dati bilo kakva zadovoljavajuća pravila za procenu faktora opasnosti.

11.29 — Zbog razlika između pojedinih osoba izgleda da akutna doza koja prelazi 200 rendgena može da bude kobna za ljudsko biće, a verovatnoća raste sa doziranjem. Na slici 11.29 prikazan je odnos preživljavanja sa promenom doziranja za zečeve i pacove a iz rezultata odgovarajuće isprekidanim crta ma prikazane krive izvedena je vrednost za ljudska bića. Izgleda da bi bila kobna akutna doza od 200 rendgena za oko 5% izloženih osoba, dok bi se moglo očekivati da će skoro isti procenat preživeti dozu od 600 rendgena.



Sl. 11.29 — Procenat preživelih kao funkcija akutnog doziranja zračenja.

11.30 — Većina žrtava od početnih nuklearnih zračenja prilikom atomskih bombardovanja Japana bila je izložena zračenju preko velikog dela svojih tela, pošto odela ne pružaju nikakvu zaštitu protiv gama zrakova. Iz izvršenih posmatranja dobiveno je mnogo podataka koji se odnose na simptome i razvoj radijacione bolesti različnih stepena težine. Preglednosti radi odnosiće se ovde dati opis na tri glavna stepena izloženosti u kratkom vremenskom periodu.⁸⁾ To su: a) letalna (smrtonosna) doza, tj. oko 600 rendgena ili više, koja je kobna skoro u svim slučajevima u roku od dve nedelje po izlaganju; b) srednja

⁸⁾ Razume se da ne postoje oštro ocrtane granice između tri data tipa izloženosti; razdvajanje koje je samo u stepenu (uporedi sliku 11.29), učinjeno je ovde radi pogodnijeg objašnjenja.

letalna doza, tj. oko 400 rendgena, koja se svršava smrću do 50% pacijenata u vremenu od 2 do 12 nedelja posle izloženosti; i e) umerena doza, tj. od 100 do 300 rendgena, koja uglavnom nije kobna.

11.31 — Može se spomenuti da je u Japanu umiranje od zračenja, kod onih koji su bili zaštićeni od eksplozionog udara i od opeketina, počelo oko nedelju dana posle izloženosti i dostiglo maksimum u vremenu od 3 do 4 nedelje. To su verovatno bile osobe koje su primile doze veće od 400 rendgena. Posle toga počeo je procenat smrtnosti da opada. Posle 8 nedelja bio je vrlo mali.

C. KLINIČNI SINDROM RADIJACIONE BOLESTI

LETALNA (SMRTONOSNA) DOZA

11.32 — Kod najjače izloženosti, verovatno od više hiljada rendgena, smrt može da nastupi u roku nekoliko časova, ali ima malo pouzdanih zapažanja o toku radijacione bolesti pod takvim okolnostima. Kod slučajeva smrtonosnih, ali ne ekstremnih izloženosti, zapaženo je da pojedinci pokazuju različne stepene šoka, možda u roku od nekoliko časova. Ovo je bilo praćeno gađenjem i povraćanjem, a zatim prolivom tokom prvog ili drugog dana posle izloženosti; posle toga pojavila se groznica. Proliv je bio po karakteru čest i obilan, u početku vodnjikav a kasnije sve više krvav.

11.33 — Ukoliko su se ranije razvili svi ovi simptomi, utoliko je bilo verovatnije da će nastupiti smrt. Mada nije bilo bolova za prvih nekoliko dana, pacijenti su imali osećaj nelagodnosti i slabosti, praćen upadljivom depresijom i telesnim umorom. Početni stadij teške forme radijacione bolesti može, ali ne mora da bude praćen tzv. latentnim periodom, od dva ili tri dana, za koje vreme pacijent ne pokazuje nikakve simptome, mada u telu nastaju duboke promene. Posle ovog perioda, ako on nastupi, dolazi ponovno do pojave istih simptoma i aktiviranja bolesti praćenih u mnogim slučajevima sa delirijumom ili komom (obamrlošću). Bolest se obično završava smrću u toku od dve nedelje.

11.34 — Među ostalim simptomima zapaženi su: sekundarna infekcija i spontano unutrašnje krvarenje pri kraju prve nedelje. U isto vreme nisu neobični ni otok ni zapaljenje grla. Gubitak kose, uglavnom sa glave, može da nastupi kra-

jem druge nedelje. Ispitivanja posle smrti otkrila su atrofije i degenerativne promene na semnicima i jajnicima; u izvesnim slučajevima primećene su ulceracije krajnika i sluzokože debelog creva. Razvoj bolesti praćen je karakterističnim porastom telesne temperature; uglavnom između šestog i sedmog dana, ponekad i trećeg dana posle izloženosti nastupao je stalni porast temperature koji se obično nastavlja sve do dana smrti. Bilo je takođe i izvesnih naglih promena u krvi pacijenta o čemu će se govoriti niže.

SREDNJE LETALNA DOZA

11.35 — Početni simptomi, naime gađenje, povraćanje, gubitak apetita i slabost osobe koja je primila srednje letalnu dozu zračenja po celom telu, biće isti kao i za letalnu dozu. Međutim isti će se uglavnom razviti nešto kasnije i biće slabiji. Posle prvih dan-dva simptomi iščezavaju i može proteći više dana, do dve nedelje (»latentni period«), u kome se pacijent oseća relativno dobro. Ovo je praćeno povratkom bolesti sa svim simptomima koji obuhvataju groznicu, jak proliv i postepeni porast temperature isto tako kao prema gornjem opisu za letalnu dozu.

11.36 — Počevši između 14 i 21 dana posle izloženosti nastupa upadljiva tendencija ka krvarenju; obično su tačkasta krvarenja ispod kože zvana petehije, koja predstavljaju izraz ove tendencije. Krvarenje može da nastapi bilo u kom organu ili grupi tkiva ili iz bilo koje sluzokože. Naročito su česta spontana krvarenja u ustima i u intestinalnom traktu. Krvi može da bude u mokraći usled krvarenja u samoj bubrežnoj supstanci ili u urinarnom traktu koji vodi iz bubrega. Tendenциja ka krvarenju očigledno zavisi od oštećenja raznih tkiva i ćelija, naprimjer trombocita koji ulaze u vrlo komplikovan mehanizam žgrušavanja krvi, i od oštećenja kapilara.

11.37 — Drugi zapaženi simptomi bili su opadanje kose i ulceracije usana. Ovi su se čirevi u završnom stadiju bolesti širili od usta kroz ceo gastro-intestinalni trakt. Faktor koji je doprineo obrazovanju čireva bio je gubitak belih krvnih ćelija, što je omogućilo da se bakterije namnože, tako da je nastala jaka infekcija. Osetljivost prema sekundarnoj infekciji predstavljala je, ustvari, jedan od najozbiljnijih faktora koji je izazivao komplikacije.

11.38 — U slučajevima gde su simptomi bili veoma izraženi postojalo je jako slabljenje sa groznicom i delirijumom

koje se završavalo smrću u vremenu od 2 do 12 nedelja posle izloženosti. Oni pacijenti koji su preživeli tri ili četiri meseca i nisu umrli od tuberkuloze, zapaljenja pluća ili drugih komplikacija, postepeno su se oporavili. Da li je oporavljenje bilo potpuno ili će se u toku vremena pojaviti neko naknadno dejstvo nije poznato (§ 11.28, vidi napomenu).

UMERENA DOZA

11.39 — Umerene doze od 100 do 300 rendgena, primljene zračenjem po celom telu u toku kratkog vremenskog perioda, uglavnom nisu kobne. Izloženosti ove vrste bile su obične u Hirošimi i Nagasakiju naročito među onim licima koja su se nalazila na izvesnom udaljenju do atomskih eksplozija.

11.40 — Bolest koja je rezultirala iz umerenog doziranja zračenja pokazivala je, uglavnom, istu kliničku sliku kao i u slučaju jakе izloženosti, izuzev što je nailazak bolesti manje nagao a simptomi su manje upadljivi. Može da postoji tzv. latentni period, do 2 ili više nedelja posle izloženosti, za koje vreme lice koje je u pitanju ne oseća bolest koja bi ga iznuravala i može da nastavi sa svojim redovnim poslom. Obični simptomi, kao što su gubitak apetita, slabost, gubitak kose, proliv i sklonost ka krvarenju javljaju se tada ali oni nisu tako jaki. Promene u krvi tipične za radijacionu bolest nađene su ali niti je njihova jačina niti njihovo trajanje toliko upadljivo kao kod pacijenata koji prime veće doze zračenja. Ako nema nikakvih komplikacija usled povreda ili infekcija, nastupiće oporavljanje skoro u svim slučajevima a kosa će ponovno početi da raste posle dva meseca.

11.41 — Može se primetiti da oporavljanje može da bude otežano promenama u intestinalnom traktu koje sprečavaju asimilaciju hrane te tako izazivaju ozbiljan poremećaj u ishrani. Nemogućnost sprečavanja proliva može takođe u vezi sa ovim da bude značajan faktor. Uzimajući u obzir sve ove faktoare koje treba razmotriti, obično nije moguće da se predvidi kako će se razvijati oporavljanje. Međutim, uopšte uzev, ukoliko su jači početni stadiji radijacione bolesti, utoliko će duži i teži biti tok oporavljanja.

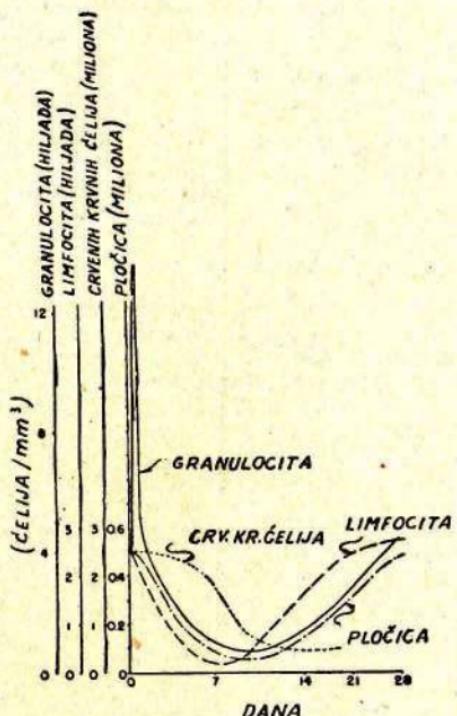
11.42 — Jednokratne izloženosti od 25 do 100 rendgena po celom telu mogu da izazovu blage i prilično neodređene simptome, koji se mogu ispoljavati samo u karakterističnim promenama krvnih ćelija (§ 11.44) manjeg stepena. Bolest koja

iznurava nije opšta pojava i izložene osobe bile bi sposobne da nastave redovnu dužnost.

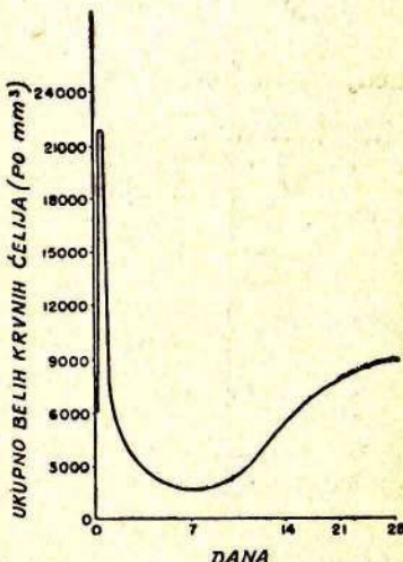
11.43— Uprošćeni pregled kliničkih simptoma bolesti usled zračenja dobivenih iz podataka prikupljenih u Japanu dat je u tablici 11.43.⁹⁾

DIJAGNOZA RADIJACIONE BOLESTI

11.44— Od bioloških posledica izlaganja celog tela velike dozi zračenja koja se primi odjedaređ najkarakterističnije



Sl. 11.44a — Promena broja krvnih ćelija sa vremenom kod radijacione bolesti.



Sl. 11.44b — Promena ukupnog broja belih krvnih ćelija sa vremenom kod radijacione bolesti.

su možda promene koje nastaju u krvi. Uskoro posle izloženosti nastupa smanjenje broja limfocita, tj. onih belih krvnih

⁹⁾ Prilagođeno iz »The Atomic Bombings of Hiroshima and Nagasaki« (»Atomska bombardovanja Hirošime i Nagasakija«), The Manhattan Engineer District, 1946, str. 32.

TABLICA 11.43

Pregled kliničkih simptoma radijacione bolesti

Vreme posle izloženosti	Letalna doza (600 r)	Srednja letalna doza (400 r)	Umerena doza (300—100 r)
Prva nedelja	Gadenje i povraćanje posle 1—2 časa.	Gadenje i povraćanje posle 1—2 časa.	Nema određenih simptoma.
	Nema određenih simptoma.	Nema određenih simptoma.	
Druga nedelja	Proliv Povraćanje Upala usta i grla Groznica Brzo mršavljenje Smrt (Smrtnost verovatno 100%).	Nema određenih simptoma.	Nema određenih simptoma.
	Početak epilacije Gubitak apetita i opšta malaksalost.	Groznica Jako zapaljenje usta i grla.	
Treća nedelja		Groznica Jako zapaljenje usta i grla.	Epilacija Gubitak apetita i opšta malaksalost.
Četvrta nedelja		Bledilo Petehija, proliv i krvarenje iz nosa.	Zapaljeno grlo Bledilo Petehija Proliv Umereno mršavljenje.
		Brzo mršavljenje. Smrt (Smrtnost verovatno 50%).	(Oporavak verovatan ako se ne komplikuje slabim zdravljem ili drugim povredama ili infekcijama)

ćelija (leukocita) koje se obrazuju u nekim delovima limfatičnih tkiva tela kao što su limfni čvorići i slezina. Postoje izveštaji o porastu ukupnog broja belih krvnih ćelija u izvesnim slučajevima u Japanu posle atomske eksplozije. Do toga je očigledno došlo usled porasta broja granulocita, tj. belih krvnih ćelija koje se obrazuju uglavnom u koštanoj srži. Tom povećanju sledovalo je uskoro, u toku od nekoliko časova, oštro smanjenje (slika 11.44a). Kao posledica nastupilo je posle prvog dana brzo smanjivanje ukupnog broja belih krvnih ćelija koje se nastavilo kroz 5 ili 6 dana (slika 11.44b). Ukupan broj belih krvnih ćelija smanjio se tada od normalne vrednosti, tj. 4.000 do 10.000 po kubnom milimetru na otprilike 1.000 do 3.000 po kubnom milimetru. Kod ozbiljnih slučajeva broj belih krvnih ćelija opao je pre smrti do 300 i ispod toga.

11.45 — Otprilike posle nedelju dana limfociti su dostigli svoju donju tačku, a onda je njihov broj počeo da raste kod pacijenata koji su bili u toku oporavljanja. Do kraja treće nedelje limfociti mogu da pokažu znatan porast, pošto broj granulocita takođe raste. Za vreme ovog perioda eritrociti, tj. crvene krvne ćelije, označene sa C.K.Č. (crvene krvne ćelije) na slici 11.44a, koji su se normalno obrazovali u koštanoj srži, mogu da pokažu opadanje, naročito tamo gde je doziranje zračenja bilo veliko.

11.46 — Glavna funkcija leukocita u krvi je da brane telo od infekcije i da otstrane povređena tkiva. Većina bakteriskih infekcija, bez obzira da li su lokalne ili opšte, izaziva izliv belih krvnih ćelija. Ove ćelije ograničavaju, dakle, infekciju i savlađuju je. Nemogućnost da koštana srž i limfoidna tkiva proizvode granulocite i limfocite, kao posledica delovanja zračenja, znači da je u telu onesposobljen značajan odbrambeni mehanizam te nastaje povećana osetljivost prema infekciji kao što je gore spomenuto.

11.47 — Kod radijacione bolesti zapaža se uvek, naročito u ozbiljnim slučajevima, smanjenje ukupnog broja belih ćelija, uskoro posle izloženosti, mada ima promena u broju crvenih krvnih ćelija i drugim krvnim faktorima. Ako broj ćelija opadne mnogo ispod 2.000 po kubnom milimetru, izgledi na oporavljenje su slabi, a ako iznosi manje od 500 po kubnom milimetru ishod će skoro sigurno biti fatalan. Zasada se broj belih krvnih ćelija smatra skoro najdragocenijim i upravo jedinim pokazivačem radijacione bolesti. On se može, dakle, ko-

ristiti kako za utvrđivanje dijagnoze tako i u praćenju toka bolesti.

11.48 — Važno je primetiti, međutim, da broj belih krvnih ćelija sam po sebi ne može da se uzme kao verovatan dokaz prevelike izloženosti zračenju. Razne druge bolesti i infekcije, koje nemaju veze sa zračenjem mogu takođe da prouzrokuju slične promene krvnih ćelija. Ako se, naprimer, sumnja da je neka grupa osoba bila izložena zračenju atomske bombe a oni svi pokazuju slično smanjenje u belim krvnim ćelijama, onda je verovatno da svi boluju od radijacione bolesti. No mora se voditi računa i o drugim simptomima pre nego što se dijagnoza može smatrati konačnom. U utvrđivanju stanja mogla bi nastati zabuna ako bi u vreme atomske eksplozije vladala epidemija neke virusne infekcije, kao što je akutna influenca, jer bi tada broj belih krvnih ćelija bio u svakom slučaju mali. Međutim, kombinacija takvih okolnosti svakako se može odbaciti.

11.49 — Trebalo bi naglasiti da broj belih krvnih ćelija može da se koristi kao indikacija radijacione bolesti samo kada je izloženost bila bar umereno jaka. Usled dnevnih razlika u krvnoj slici, nezapaženih lakih infekcija i razlika u metodama brojanja, broj za pojedinca može da bude znatno niži od njegovog ranije utvrđenog normalnog broja, pre nego što je bio izložen zračenju. Prema tome zapaženo smanjenje u broju belih krvnih ćelija mora da bude znatno da bi mu se kao sredstvo za dijagnozu mogao da prida bilo kakav značaj.

LEČENJE RADIJACIONE BOLESTI

11.50 — Dok se tamo gde akutna doza iznosi 600 rendgena ili više, mogu preduzeti tek neznatne posebne mere u lečenju radijacione bolesti, dotle postoji mogućnost da se odgovarajućim lečenjem spasu mnogi životi tamo gde je doza manja, naročito 400 rendgena ili ispod toga. Hitno upućivanje u bolnicu, kako bi se obezbedio potpuni mir i izbegavanje nahlada i umaranja pretstavlja najpotrebniju prvu meru. Ako je potrebno morale bi se izvršiti potpune transfuzije krvi, kako bi koštana srž imala vremena da se ponovo regeneriše i proizvodi krvne ćelije. Odgovarajuća ishrana može da se obezbedi intravenoznim hranjenjem da bi se u organizam uneo potreban šećer, proteini, vitamini itd. Infekcije se mogu preduprediti upotrebljom penicilina i drugih antibiotika. Ceo se predmet

radijacione bolesti nalazi u intenzivnom proučavanju i mogu se očekivati znatni napreci u njenom lečenju.

D. PATOLOGIJA RADIJACIONE BOLESTI OSETLJIVOST ĆELIJA

11.51 — Gornja rasprava bavila se opširno sa svima simptomima radijacione bolesti kao i sa promenama u krvi koje u velikoj meri direktno nastaju usled dejstva zračenja na koštanu srž itd. Interesantno je zbog toga da se ukratko razmotre patološke promene koje zračenje izaziva na izvesnim organima i tkivima. Zračenjem prouzrokovane promene nesumnjivo da počinju u pojedinim ćelijama; neka od dejstava koja su zapažena mikroskopskim ispitivanjem ćelija jesu cependija hromozoma, skupljanje u grudvice hromatina, promene u deobi ćelija, povećana granuliranost citoplazme, bubreњe jezgra ili čitave ćelije i potpun raspad ćelije. Pored toga zapažene su promene u viskozitetu protoplazme i u propustljivosti membrana ćelija.

11.52 — Različne vrste ćelija pokazuju znatne razlike u reagovanju na zračenje. Rečeno je da su primitivne, tj. manje specijalizovane ćelije, kao što su bela krvna zrnca i reproduktivne ćelije, osetljivije od više specijalizovanih tkiva, naprimer moždanih ćelija, nervnih ćelija. Međutim, mada ovo pravilo važi u izvesnim primerima, ono nije opšte za sve slučajeve. Džinovska ameba naprimer, koja pretstavlja primitivnu ćeliju, vrlo je otporna prema zračenju dok visoko specijalizovane trepljaste epitelijalne ćelije bronhija sisara imaju visoku osetljivost. Uglavnom na zračenje reaguje jezgro ćelije, dok citoplazma nije toliko osetljiva. Otuda na veliku ćeliju sa mnogo citoplazme, kao što je džinovska ameba, zračenje mnogo ne utiče ali će mala ćelija koja sadrži veliki procenat nuklearnog materijala biti osetljiva. Ćelije koje se brzo razmnožavaju ili koje se aktivno reproducuju u celini su više radioosetljive od ćelija u mirnijem stanju.

11.53 — Kod pojedinih grupa tkiva radioosetljivost se smanjuje sledećim redom: limfoidno tkivo i koštana srž; epitelijalne ćelije (semnici i jajnici, pljuvačne žlezde, koža i sluzokoža); endotelijalne ćelije krvnih sudova i peritoneum; vezivno-tkivne ćelije, mišićne ćelije, koštane ćelije i nervne ćelije. Ponašanje nekih od ovih tkiva pod uticajem zračenja izloženo je ukratko u nastavku.

LIMFOIDNO TKIVO

11.54 — Limfoidno tkivo je karakteristično tkivo limfnih žlezda, krajnika, adenoida, slezine i izvesnih površina intestinalnih sluzokoža. Limfne žlezde, koje se nalaze u različnim delovima tela, pretstavljaju zaokrugljene mase limfoidnog tkiva; one nisu prave žlezde već mreža vezivnog tkiva u čijim se čvorovima nalaze male okrugle limfoidne ćelije sa relativno velikim, okruglim, tamno obojenim jezgrima. Kad ove ćelije sazru, ponese ih limfna tečnost koja teče kroz žlezdu i one postaju limfocitni sastojak belih krvnih ćelija. Kao što je nagošešteno u prethodnom paragrafu, limfoidno tkivo je najviše radioosetljivo od svih tkiva.

11.55 — Limfoidne ćelije bivaju oštećene ili ubijene kada se tkivo izloži zračenju. Mikroskopsko ispitivanje pokazuje degenerativne promene karakteristične za smrt ćelija; jezgra se mogu obojiti tamnije i biti fragmentirana a u citoplazmi mogu da se pojave vakuole. Degeneracija limfoidnog tkiva, uključujući obrazovanje ćelija abnormalnih tipova, bila je naročito upadljiva pojava kod žrtava atomskih bombi u Japanu i kod životinja izloženih na Bikiniju.

11.56 — Oštećenje limfoidnih ćelija pripisuje se smanjenju broja limfocita u krvi, jer zračenje ne samo da oštećuje tkivo koje proizvodi limfocite već takođe ubija ili oštećuje ćelije u krvi. Izgleda da je sa izvesnom sigurnošću utvrđeno da je doza bila suviše mala, ako se otkrije smanjenje broja limfocita u toku 72 časa posle izloženosti zračenju, da bi mogla da prouzrokuje ozbiljno oboljenje. Interesantno je primetiti da su, ako dođe do oporavljenja od radijacione bolesti, limfociti prve ćelije koje pokazuju znake regeneracije, što se ispoljava porastom njihovog broja u krvi.

11.57 — Limfoidno tkivo oštećeno zračenjem teži da postane edematozno, tj. da se naduje usled akumulacije serozne tečnosti. Ova karakteristična pojava koja se odnosi na tkiva ždrela izazivala je jake bolove grla u Hirošimi i Nagasakiju. Otoci su eksulcerirali i inficirali se tako, da je disanje i gutanje bilo otežano. Razaranje limfnih žlezda kao i tonsilnih i limfoidnih delova creva bilo je obično kod žrtava usled zračenja u Japanu.

KOŠTANA SRŽ

11.58 — Pošto se najveći deo krvnih sastojaka, izuzev limfocita, stvara u koštanoj srži, od velikog je značaja činjenica

da je ova vrlo osetljiva prema radioaktivnom zračenju. Pod normalnim okolnostima zrele krvne ćelije napuštaju koštanu srž i odlaze u krvotok; tu ostaju različno vreme pre nego što budu prirodnim procesima razorene. Uopšte, ukoliko je kraći život jednog određenog tipa krvne ćelije utoliko će se brže moći otkriti radijaciono oštećenje na osnovu smanjenja broja takvih ćelija koje cirkulišu u krvi. Ovo je smanjenje simptomatično za nesposobnost zahvaćenih, limfnih žlezda i koštane srži da proizvode nove ćelije. Limfociti sa najkraćim životom smanjuju se prvi; zatim granulociti i krvne pločice (ili trombociti) od kojih su poslednji važni za proces zgrušavanja krvi (uporediti sliku 11.44a). Broj prvih može najpre da se poveća, ali se kasnije smanjuje. Crvene krvne ćelije, koje najduže žive posle izloženosti zračenju, poslednje pokazuju smanjenje u broju.

11.59 — Koštana srž pokazuje promene vrlo brzo posle izloženosti. Tkivo koje obrazuje krvne ćelije prestaje da funkcioniše i kod izvesnih težih slučajeva zapaženo je da je tkivo koje je normalno proizvodilo granulocite obrazovalo ćelije slične plazmi. Kod mnogih koji su umirali od radijacione bolesti 3 ili 4 meseca posle izloženosti, bila je karakteristična krajnja atrofija koštane srži, mada su ovde postojali izvesni znaci pokušaja oporavka i regeneracije. U nekim slučajevima izvestan želatinozni talog zamenio je normalno tkivo koštane srži.

RASPLODNI ORGANI

11.60 — Skoro svako ispitivanje posle smrti muškaraca koji su umrli od radijacione bolesti otkrilo je duboke promene u testisima. Čak četrnaestog dana posle eksplozije, kada nisu još bile vidljive velike promene, mikroskop je pokazivao znatne promene u slojevima epitelijuma iz kojih se razvijaju spermatozoe. Mnoge su ćelije bile degenerisane, a nedostajao je dokaz o deobi zdravih ćelija. Neki od krvnih sudova testisa pokazivali su najupadljivije promene od svih sudova u telu.

11.61 — Promene u jajnicima bile su manje upadljive nego u testisima. Izuzev krvarenja, kao dela opšte sklonosti ka krvarenju, nisu zapažene nikakve velike promene niti su postojale bilo kakve upadljive mikroskopske promene. U mnogim slučajevima jajne ćelije se nisu razvijale normalno posle izloženosti i ovo je izazvalo promene u menstrualnom ciklusu. Menstruacija je prestala ali ova pojava bila je prolazna. Ta-

kođe se povećao broj abortusa i prevremenih porođaja kao i smrtnost među trudnicama. Uopšte ove pojave varirale su po jačini prema udaljenosti jedinke od mesta eksplozije.

11.62 — U vezi sa promenama na rasplodnim organima, može se primetiti da ukupna telesna doza zračenja potrebna da sterilizuje čoveka smatra se da iznosi od 300 do 600 rendgena; ova doza bi u većini slučajeva bila smrtonosna. Privremena sterilnost može da nastane sa manjim dozama, kao što se dogodilo kod japanskih muškaraca i žena, a velika se većina ovih ponovo vratila u normalno stanje. Ne može se tvrditi da su se svi oporavili jer nije poznato koliko je ljudi bilo sterilno još pre bombardovanja iz drugih razloga, kao što su razna oboljenja i rđava ishrana, ali su već mnogi koji su bolovali od radijacione bolesti dobili normalnu decu.

KOŽA I KOSA

11.63 — Zbog jake prodrore moći gama zrakova velike energije nije bio jasno određen uticaj zračenja na kožu kod Japanaca. Epilacija, tj. opadanje kose, bila je opšta pojava uglavnom na temenu kod onih koji su preživeli, preko dve nedelje posle eksplozije. Opadanje kose dostiglo je nagli maksimum i za muškarce i za žene, između 13 i 14-tog dana. Kosa je počela da opada naglo, u pramenovima, pri češljanju ili čupanju, a mnogo je opadala i spontano; ovo se nastavilo u toku jedne ili dve nedelje a onda je prestalo.

11.64 — U većini slučajeva išlo je opadanje kose istim redom kao i kod obične čelavosti, obuhvatajući najpre čelo, onda teme i potiljak. Dlake sa obrva a naročito sa trepavica i brade opadale su mnogo teže. Kod jedne male grupe, koja može ali ne mora da bude tipična, 69% je izgubilo kosu sa temena, 12% ispod pazuha, 10% sa polnih organa, 6% sa obrva i 3% sa brade. Čak i kod ozbiljnih slučajeva kosa je počela da raste za nekoliko meseci. Nema nijednog primera kod koga je epilacija bila permanentna.

GASTRO-INTESTINALNI TRAKT (ORGANI ZA VARENJE)

11.65 — Sluzokože gastro-intestinalnog trakta bile su među prvim tkivima koja su pokazala velike promene. Čak i pre nego što je primećeno krvarenje i pojave koje su sa njim povezane, pojavio se otok, zelenkasta i žučkasto siva obojenost i zadebljanja sluzokože cekuma i debelog creva. Naročito su

bili zahvaćeni delovi limfoidnog tkiva. Povremeno sluzokožu je prekrivala membrana slična membrani koja se javlja kod difterije, a ponekad je sluzokoža bila otečena i ispunjena tečnošću. Prema tome, krvarenja su nastala unutar i ispod sluzokože želuca i creva, izazivajući seriju promena sličnih onima koje su nastale u početnim stadijima. Najpre se javlja otok, onda čirevi u gornjim slojevima mukoze intestinalnog trakta, koji su se širili u dubinu. Čirevi su bili prekriveni prevlakom nalik pseudomembranama zapaženim kod bacilarne dizenterije.

11.66 — U trećoj i četvrtoj nedelji zapaljenje creva a povremeno i želuca bilo je obično postmortalno zapažanje. U tankom crevu početne su promene često zapažene u kriptama prevoja sluzokože, kada je sluzokoža izgledala nešto bleđa; ona je kasnije postala zelenkasta i žućkasto siva. U kasnijim stadijima ovog ciklusa, kod onih osoba koje su preživele duži vremenski period, bilo je debelo crevo šire i jače zahvaćeno ovim promenama, sve od donjeg kraja tankog creva pa do rektuma. Zadebljavanje crevnog zida bila je opšta karakteristična pojava. Sve ove promene, uključivši tendenciju ka stvaranju pseudomembrana, ličile su na promene kod akutne bacilarne dizenterije. Sve ove pojave zavisile su od devitalizacije tkiva kao primarnog rezultata zračenja, snižavanja lokalne otpornoštiti i snižavanja sposobnosti odbranbenih mehanizama koji obično postoje u perifernoj krvi. Pod mikroskopom upadljive su sledeće promene: bubrenje ćelija i otsustvo infiltracije belih krvnih ćelija.

DRUGE PATOLOŠKE PROMENE

11.67 — Retikulo-endotelijalni sistem obuhvata grupu veoma radioosetljivih ćelija koje imaju čitav niz funkcija uključivši tu i obrazovanje izvesnih krvnih ćelija, nagomilavanje masti u telu, razaranje crvenih krvnih zrnaca i pretvaranje krvnog hemoglobina u žučne pigmente. Ove su ćelije nadene naročito u normalnoj slezini, limfnim žlezdama, jetri, koštanoj srži i izvesnim vezivnim tkivima, a sve one zajedno formiraju komplikovani sistem čije su vitalne funkcije oštećene ili potpuno izgubljene kada je izložen zračenju. Oštećenje ćelija retikulo-endotelijalnog sistema izgleda da ima znatnog udela u kompleksu pojava koje karakterišu radijacionu bolest.

11.68 — Izvesni delovi urinarnog trakta, mišići i sva mekana tkiva tela mogu ispod površina da pokažu krvarenja, po veličini počev od tačke do nekoliko palaca pa i preko toga.

Ove su promene značajne jer predstavljaju klinički dokaz o prirodi i jačini radijacione bolesti. Ako krvarenja nastupe u važnim centrima tela, naprimjer, srcu, plućima ili mozgu posledice mogu biti katastrofalne a težina povrede zavisiće od položaja težih hemoracija u odnosu na tkiva pojedinih po život važnih organa koji su zahvaćeni. Neka krvarenja pružaju spoljne znake ili se mogu zapaziti specijalnim pregledom, kao što su krvarenja sluzokože, usta, nosa i grla, pozadi mrežnjače, oko ili u urinarnom traktu. Velike pojave krvarenja mogu da nastanu u kanalima bubrega, u malim kanalima koji vode od bubrega ka bešici i u mokraćnoj bešici.

11.69 — Krvarenje koje probije kroz površinski sloj epitelijuma zaraženog sa bakterijama može dati povoda drugim pojavama. Tkiva mogu da budu devitalizovana te da usled smanjenja otpornosti prema bakteriskoj infekciji budu idealno mesto čak i za slabe bakterije ili za bakterije koje su redovno bezopasne pod običnim okolnostima. Ova invazija bakterija može da dovede do ozbiljnog lokalnog razaranja tkiva a možda i do trovanja krvi i opšte infekcije. Bakterije koje su normalno neškodljive a koje su nađene u traktu za varenje i na koži mogu da dođu u krvotok i da prouzrokuju trovanje krvi i smrtonosnu infekciju. Na isti način na svakom delu tela mogu da se razviju karbunkuli i apsesi, ali se oni karakterišu više lokalizovanim razvojem.

11.70 — Kada ovaj oblik promene tkiva nastupi u grlu, klinički nalaz može da bude sličan stanju nađenom posle izvesne hemiske intoksikacije koja izaziva oštećenje koštane srži i retikulo-endotelijalnog sistema ili može da bude sličan nalažu kod izvesnih krvnih bolesti karakterisanih otsustvom granulocita u cirkulacionoj krvi (agranulocitoza). Kod radijacione bolesti ulceracije se mogu proširiti na jezik, desni, sluzokožu usta, usne, pa čak i na spoljne delove kože lica. Ove ulceracije mogu da nastanu nezavisno od bilo koje lokalne promene usled krvarenja. Slične promene se javljaju kroz ceo gastro-intestinalni trakt i izgleda da nastaju na istoj bazi. U plućima može da se razvije izvestan oblik zapaljenja pluća, različan od većine zapaljenja pluća po tome što skoro uopšte nema infiltracije leukocita.

KATARAKTE USLED ATOMSKE BOMBE

11.71 — S obzirom na otkriće katarakte kod izvesnog broja radnika na ciklotronu približno 3 godine posle izložen-

nosti prevelikim količinama verovatno zračenja neutrona, Komisija za gubitke od atomske bombe (§ 11.28, primedba) izvršila je detaljnu studiju slučajeva katarakte kod preživelih od bombardovanja Hirošime i Nagasakija. Do početka 1950 godine utvrđeno je 45 slučajeva katarakte kod lica koja su se nalazila na 3.300 stopa od nulte tačke u vreme kada su nastupile eksplozije. Katarakte su slične kataraktama koje su prethodno bile vezane sa suvišnom izloženošću X-zracima ili gama zracima te su otuda verovatno posledica početnog zračenja od atomskih bombi. Da li su ovo bili gama zraci ili neutroni nemoguće je kazati, ali visoka biološka efikasnost poslednjih nавеštава да су они bar predstavljali faktor koji je doprineo izazivanju katarakte.

11.72 — Većina lica u istoj zoni, u odnosu na centar eksplozije, umrla su od termičkih ili mehaničkih povreda ili od radijacione bolesti. Svi preživeli kod kojih su se razvile katarakte morali su biti izloženi znatnim intenzitetima zračenja, što se potvrdilo potpunim (prolaznim) opadanjem kose u svim slučajevima i razvojem simptoma radijacione bolesti kod više njih. Nema mnogo sumnje da bi lica o kojima je reč, da nisu bila slučajno zaklonjena, podlegla ovoj bolesti ubrzo posle atomskih eksplozija.

E. OPASNOSTI OD NAKNADNOG ZRAČENJA

UVOD

11.73 — Kod atomske eksplozije radijaciona bolest o kojoj se diskutovalo u prethodnim odeljcima bila bi skoro isključivo rezultat početnih nuklearnih zračenja gama zrakova, opisanih u glavi VII. Sada će se uzeti u razmatranje moguća biološka dejstva radioaktivne zatrovanosti, naprimjer produkata cepanja i plutonijuma ili uranijuma, koja izazivaju naknadna zračenja (glava VIII).

11.74 — Trebalo bi na početku naglasiti da će radiološka opasnost usled ovih zračenja iskrasnuti samo u naročitim okolnostima. U slučaju eksplozije u vazduhu na velikoj ili na umerenoj visini stvarno neće biti opasnosti. Posle atomskih eksplozija u Japanu nije bilo nikakvih dokaza da je nastala bilo kakva povreda ili oboljenje usled zračenja produkata cepanja ili materijala bombe. Međutim, podzemna ili podvodna eksplozija praćena velikim talasom u podnožju vodenog stuba, mogla bi da dovedu do zatrovanosti naseljenih prostorija, u kome

slučaju opasnost usled naknadnih zračenja može da bude značajna. Slična situacija može da nastupi ako bi se radioaktivni materijal upotrebio kao oružje za vođenje radiološkog rata (§ 8.107 i dalje). Uopšte, zatrovane prostorije trebalo bi stanovništvo brzo da evakuiše pre nego što bi postala osetna dejstva zračenja, mada ovo ne bi bilo moguće za one koji su odgovorni za merenje radioaktivnosti (§ 12.62 i dalje) i sprovođenje dekontaminacije.

11.75 — Prema tome, mada nije tako verovatno da je opasnost od naknadnog zračenja posle atomske eksplozije ozbiljna, izuzev u posebnim slučajevima, ovde će se potpunosti radi ovaj problem ipak razmotriti. Celishodno je u vezi s tim da se učini razlika između (a) spoljašnjeg zračenja i (b) unutrašnjeg zračenja. Prvo se odnosi na slučajeve kada izvor zračenja leži van tela, a drugo na slučajeve kod kojih se izvor zračenja unese u telo gutanjem, udisanjem ili kroz povrede na koži.

SPOLJAŠNJE ZRAČENJE

11.76 — Da bi zračenje od spoljašnjeg izvora imalo nekakvog dejstva na telo, ono mora da prođe kroz kožu i da dostigne tkivo koje leži ispod nje. Zbog svog kratkog dometa u vazduhu (§ 8.46) i još kraćeg dometa (oko 0,05 mm) u tkivu, alfa čestice nisu u stanju da probiju spoljni sloj kože. Prema tome, ove čestice nemaju značaja kao spoljašna opasnost od zračenja.

11.77 — Ukupni domet beta čestica može da iznosi nekoliko metara u vazduhu (§ 8.40), ali u tkivu iznosi svega nekoliko milimetara. Kao posledica toga beta čestice iz spoljnog izvora ne prodiru do koštane moždine ili drugih vitalnih delova tela. Pa ipak ove čestice štetno utiču na kožu i, ako ih ima u dovoljnim količinama, mogu da pretstavljaju značajnu opasnost.

11.78 — Reakcije koje prate dodir sa materijama koje emituju beta čestice pretstavljaju izvestan oblik povreda od zračenja. One mogu da variraju od privremenog crvenila do potpunog razaranja kože u zavisnosti od apsorbovane doze. Čak i blage doze mogu da dovedu do hroničnih degenerativnih promena kože. Kada su ruke izložene velikim količinama beta zračenja, one posle nekoliko dana oteknu a ovo je praćeno crvenilom kože. Krvarenja nastaju na površinskim tkivima izložene oblasti a izgled im je sličan modrici. Posle tога stvore

se veliki plikovi koji se spajaju i najzad pretvaraju u krastu; da bi oštećenje dostiglo maksimum potrebno je nekoliko nedelja. Ako izloženost tela beta česticama nije bila prevelika, posle povrede kože neće nastupiti nikakvo opšte, tj. radijaciono oboljenje.

11.79 — Gama zraci su, kao što se ranije videlo, mnogo prodorniji od beta čestica, jer su oni ustvari identični sa X-zracima kratke talasne dužine. Ovi zraci sačinjavaju dakle najvažniji tip spoljašnjeg zračenja. Razmera do koje gama zraci mogu da prođu u telo zavisi od energije fotona. U vezi sa ovim treba se setiti da srednja energija fotona gama zrakova od početnih nuklearnih zračenja iznosi oko 2 mev (§ 7.44), u poređenju sa oko 0,7 mev za naknadna nuklearna zračenja (§ 8.11); prvi su dakle veoma prodorni. Interesantno je primetiti da su u Japanu (gde su povrede od zračenja i radijacione bolesti nastale isključivo usled početnih zračenja) ozbiljne povrede bile uglavnom prouzrokovane duboko u tkivu. Iz razloga koji su već dati nije verovatno da će mnoga osoba ostati na zatrovanoj prostoriji toliko dugo posle atomske eksplozije da bi akumulirali opasnu dozu spoljašnjeg zračenja usled naknadnih gama zrakova.

11.80 — Suviše je malo poznato o kumulativnim dejstvima umerenih ali neprekidnih, tj. hroničnih doza zračenja kao što je ona koja bi se apsorbovala na zatrovanoj prostoriji, da bi se mogla približno proceniti količina koja ne bi bila opasna. Sve što se može reći to je da se kod lica koja su primila do 0,1 rendgena dnevno u toku godine nisu pokazivala nikakva rđava dejstva. Veće se doze mogu primiti u slučajevima potrebe, ali se ne bi savetovalo da se tako radi u čestim intervalima. Uopšte, klinički simptomi i patološke promene usled hroničnih doza zračenja po celom ili po velikom delu tela biće prema svim očekivanjima slični simptomima pri akutnim dozama a stepen jačine zavisiće od brzine doziranja i ukupne akumulirane doze.

UNUTRAŠNJE ZRAČENJE

11.81 — Veruje se da su veoma male mogućnosti da radioaktivni materijal uđe u telo posle atomske eksplozije. Dakle, nije bilo nikakvog izveštaja o bilo kakvom obliku bolesti ili povrede usled unutrašnjih zračenja posle eksplozije u vazduhu na velikoj visini u Hirošimi i Nagasakiju. Čak i kada postoji znatna zatrovana tla usled produkata cepanja, plutonijuma

ili uranijuma, bilo bi veoma teško da neka veća količina uđe u krvotok. Mada su, naprimer, količine produkata cepanja, koje se moraju nalaziti u telu da bi proizvele štetna dejstva, vrlo male u poređenju sa količinama potrebnim da prouzrokuju povredu spoljnim beta ili gama zračenjem, veruje se da će posle atomske eksplozije unutrašnja opasnost biti značajna samo dok postoji spoljašna opasnost. Drugim rečima, ako je na dатој prostорији doziranje usled spoljašnjeg zračenja ispod nivoa на коме би могло да представља опасност, onda će, ako je uopšte bude, biti uglavnom malo opasnosti da se dovoljno radioaktivnog materijala unese u telo da bi on представљао unutrašnju opasnost. S obzirom na ово биće dovoljan само kratak osvrt на предмет unutrašnjeg zračenja u vezi sa atomskom eksplozijom.

11.82 — Važne su hemiske karakteristike radioaktivnog materijala koji uđe u telo, jer će one određivati где će se pojedine vrste nataložiti. Radioaktivni izotopi podlegaće istim metaboličkim procesima kao i neaktivni izotopi istih elemenata koji nastaju u prirodi, dok će element koji se inače ne nalazi u telu težiti da sleduje metabolični obrazac elementa sa sličnim hemiskim osobinama koga normalno u telu ima. Tako će se barijum, stroncijum i radijum koji su hemiski slični kalciju, naložiti u kostima.

11.83 — Opasnost koju представља neka određena radioaktivna materija koja se unosi gutanjem u organizam zavisiće od njene rastvorljivosti, hemiskih osobina, fizičkog stanja itd., jer će ove osobine određivati iznos koji će se apsorbovati u gastro-intestinalnom traktu. Da bi sačinjavali unutrašnju opasnost od zračenja, aktivni materijali moraju dospeti u krv koja cirkuliše, iz koje se mogu nataložiti u kostima, jetri, sluzini, itd. Dakle praktično, dogod se radioaktivne materije nalaze u želucu i crevima, one представљају stvarno pre izvor spoljašnjeg nego unutrašnjeg zračenja.

11.84 — Stepen apsorpcije zavisi od hemiskog oblika elemenata, i sva je sreća u tome što većinu produkata cepanja posle atomske eksplozije (§ 2.23) представљају oksidi koji su skoro nerastvorljivi u sokovima tela. Isto bi važilo za okside uranijuma ili plutonijuma koji su izbegli cepanje u bombi. Oksidi cezijuma i barijuma su međutim rastvorljivi u vodi, takođe jod, koji može da bude prisutan, mogao bi da bude u vrlo rastvorljivom obliku.

11.85 — Ulazak radioaktivnog materijala u organizam kroz rane ili ogrebotine može da pretstavlja ozbiljnu opasnost od unutrašnjeg zračenja. Rastvorljive materije koje na ovaj način uđu u krvotok talože se u telu za vrlo kratko vreme. Iz ovog razloga postaje naročito značajna nega rana tamo gde je moguća radioaktivna zatrovanost. Lečenje bi bilo isto kao i za svaku drugu ranu zaraženu jako škodljivim sastojcima kao što su bakterije, otrovne supstance itd. Dobra lokalna hirurška obrada je sve što je potrebno.

11.86 — Opasnost u vezi sa udisanjem radioaktivnih prašina, kojih bi naročito moglo biti posle podzemne atomske eksplozije, zavisi i od hemiske prirode i veličine čestica. Nos će filtrirati i zadržati skoro sve čestice preko 10 mikrona, tj. 10^{-3} cm u prečniku i oko 95 % svih čestica većih od 5 mikrona. Optimalna veličina čestica koje prolaze iz alveolarnog prostora pluća u krvotok iznosi ispod 5 mikrona a nerastvorljive čestice od 1 do 5 mikrona u prečniku mogu dospeti u limfatični sistem. Ovo su važne činjenice u vezi sa konstrukcijom filtera i respiratora za smanjenje količine radioaktivnih prašina (§ 12.56) koje se udišu.

BIOLOŠKO VREME POLURASPADA

11.87 — Sa gledišta biološke efikasnosti najpre treba razmotriti da li neki određeni radioaktivni element teži da se koncentriše u izvesnim delovima tela iz kojih se kasnije sporo eliminiše. Da bi se opisalo ovo ponašanje uvodi se pojam *biološko vreme poluraspada*. Ono se definiše kao vremenski period za koji se količina određenog radioizotopa nataloženog u telu smanjuje na polovinu svoje početne vrednosti. Biološko vreme poluraspada date materije zavisi dakle od njenog običnog radioaktivnog vremena poluraspada koje određuje prirodnu brzinu raspadanja a takođe i od brzine izlučivanja iz tela.

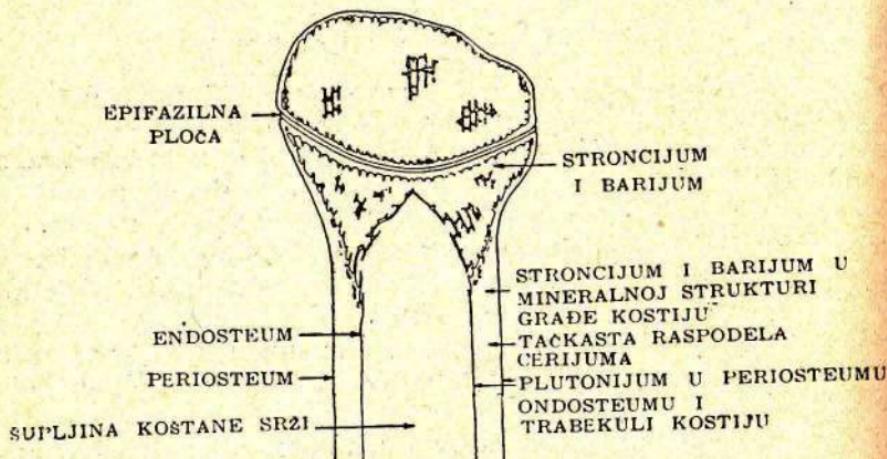
11.88 — Jedan izotop sa vrlo kratkim radioaktivnim vremenom poluraspada neizbežno će imati kratko biološko vreme poluraspada, ali za supstance sa srednjim ili dugim radioaktivnim vremenima poluraspada biološko vreme poluraspada može da bude dugo ili kratko u zavisnosti od toga da li određeni izotop teži da se koncentriše u telu ili ne. Uopšte, supstanca sa dosta dugim biološkim vremenom poluraspada treba da se smatra kao unutrašnja opasnost. Biološko vreme poluraspada plutonijuma u čoveku, naprimer, vrlo je dugo.

Ovo pokazuje da ako se plutonijum jednom utvrdi u telu, onda se on eliminiše veoma sporo, a gubitak se skoro potpuno pripisuje prirodnom radioaktivnom raspadanju. Sa druge strane biološko vreme poluraspada cezijuma 137 iznosi oko 15 dana u poređenju sa radioaktivnim vremenom poluraspada od 37 godina. Ovaj se element očigledno lako eliminiše iz organizma.

11.89 — Pored biološkog vremena poluraspada, povreda prouzrokovana datim radioizotopom u organizmu zavisiće od oblasti gde teži da se koncentriše a takođe i od određenog zračenja koje emituje. Jedan od razloga što plutonijum pretstavlja takvu opasnost je da izbacuje alfa čestice, pored toga što ima dugo biološko vreme poluraspada, koje imaju visoku biološku efikasnost te su tako u stanju da prouzrokuju teška lokalna oštećenja čak i ako ih njihov kratki domet sprečava da prodrnu vrlo daleko.

IZVORI I DEJSTVA UNUTRAŠNJE ZRAČENJA

11.90 — Može se spomenuti da će u retkim slučajevima kada produkti cepanja u dovoljnoj količini prodru u krvotok,



Sl. 11.90 — Taloženje elemenata u rastućoj kosti glodara.

stroncijum i barijum, koji hemski liče na kalcijum, težiti da se koncentrišu u delovima kostiju (uporedi sliku 11.90), tako da postanu izvor opasnosti. Lantan i cerijum bi se nataložili u jetri a u izvesnoj manjoj meri i u slezini. Plutonijum, stroncijum i barijum, sa druge strane, nađeni su i u jetri i u slezini.

Sa vrlo malim izuzecima, međutim, većina radioaktivnih materijala se brzo eliminiše iz jetre. Uprkos velikih količina materijala koji prođe ili se akumulira u bubregu, ovaj organ izgleda da je izuzetno otporan prema delovanju zračenja.

11.91 — Limfociti krvi pokazali su se vrlo osetljivim prema unutrašnjem zračenju, isto kao i mlade crvene ćelije (eritroblasti). Skoro bez izuzetka taloženje bilo kojeg radioelementa u kostima dovodi do oštećenja krvotvornog tkiva a time i do smanjenja broja sastavnih ćelija krvi. Najosetljivija indikacija akutnih ili subakutnih dejstava produkata cepanja, bez obzira na to da li se oni nalaze u kostima ili su raspoređeni po čitavom telu, je smanjenje broja limfocita.

11.92 — Jedno od prvih dejstava u organizmu relativno velike doze unutrašnjeg zračenja bilo bi smanjenje broja belih i crvenih krvnih ćelija. Ovo bi bilo povezano sa krajnjom slabоšću i anemijom. U onim predelima gde se koncentrisao radioaktivni materijal mogu se pojaviti maligni tumori. Može se spomenuti da nije zapažen nikakav oblik oboljenja usled unutrašnjeg zračenja posle atomske eksplozije; napred opisani učinci izvedeni su iz opta sa životinjama.

11.93 — Plutonijumova jedinjenja teže da se koncentrišu u jetri i slezini, a takođe na izvesnim površinama kostiju, naročito u periodu, endostu i spoljnim slojevima koštanih trabekula (slika 11.90). Uprkos njihovom kratkom dometu neprekidno delovanje alfa čestica, usled dugog biološkog vremena poluraspada plutonijuma, prouzrokuje ozbiljna oštećenja na tkivima kao što su koštana srž i slezina gde se formiraju razne krvne ćelije.

11.94 — Za normalne mirnodopske radne uslove dopuštena količina plutonijuma, koja se može nalaziti u telu, iznosi veoma mali delić od 0,5 mikrograma, tj. pedeseto-milionitih delova grama za prosečnog odraslog čoveka. Ova cifra nesumnjivo pretstavlja vrlo strogu procenu i obuhvata veliki faktor sigurnosti. Kao rezultat dugog iskustva sa radijumom; koji emituje alfa čestice, maksimalna težina ovog elementa koja se može bez opasnosti nalaziti u telu dobro je poznata i baš na bazi brzine apsorpcije energije alfa čestica odgovarajuća količina plutonijuma iznosila bi 5 mikrograma. Prisustvo od 40 mikrograma u telu bilo bi opasno a 100 mikrograma može da bude kobno. Međutim, kao što je ranije rečeno u ovoj knjizi, samo pod izvesnim neočekivanim prilikama plutonijum može pretstavljati značajnu opasnost koja prati eksploziju

atomske bombe. U većini slučajeva može se zanemariti opasnost od ovog elementa u poređenju sa opasnošću od produkata cepanja za period od najmanje dva meseca. Za ovo vreme može se pretpostaviti da će nastanjeno mesto biti u velikoj meri dekontaminisano.

11.95 — Uranijum 235 ima mnogo duže vreme polura-spada od plutonijuma (§ 1.18) te tako data težina uranijuma izbacuje alfa čestice mnogo manjom brzinom nego ista težina plutonijuma. Iz ovog razloga a takođe i zbog toga što on ne teži da se koncentriše u telu, uranijum ne treba da se smatra kao radiološka opasnost. Mada je uranijum takođe hemiski otrov, potpuno je neverovatno da bi se posle atomske eksplozije mogle apsorbovati dovoljne količine u telu da bi imale bilo kakva otrovna dejstva.

F. GENETIČKA DEJSTVA ZRAČENJA ZRAČENJE I GENETIČKE PROMENE

11.96 — S obzirom na moguću važnost predmeta za budućnost ljudske rase nikakva rasprava o povredama od zračenja ne bi bila potpuna bez razmatranja genetičkih dejstava. Ova se dejstva razlikuju od većine drugih promena izazvanih zračenjem u tome što izgleda da se ona akumuliraju i u izvenskim granicama nezavisna su od brzine doziranja energije zračenja.

11.97 — Mehanizam naslednosti u suštini je sličan kod svih biljaka i životinja koje se polno množe, uključujući i čoveka. Nasledna supstanca nalazi se u posebnim elementima, hromozomima, koji su mikroskopski vidljivi u jezgrima ćelija za vreme deobe. Smatra se da su hromozomi fine niti nukleoproteina koji se na svojoj dužini diferenciraju u hiljade različnih ali submikroskopskih jedinica, gena. Razvoj nasleđenih karakteristika kontroliše se delovanjem gena. Hromozomi, a otuda i geni, nastaju u parovima u jezgrima ćelija pojedinaca, a po jedan član od svakog para daje svaki roditelj putem sperme ili jaja.

11.98 — Mutacije definisane kao promene u naslednim osobinama mogu se grubo klasificirati u dve kategorije. Promene u strukturi hromozoma koje se mogu mikroskopski otkriti zovu se *hromozomske promene* ili *aberacije*. One mogu da budu odgovorne za vidljive promene u naslednim osobinama, mogu da prouzrokuju smanjenu plodnost, a često mogu

biti i letalne sprečavajući razvoj embrija. Druga kategorija mutacije gena obuhvata one slučajeve kod kojih neočekivane promene u naslednim osobinama nisu rezultat očevidnih promena u hromozomskoj strukturi već se pre veruje da nastaju usled promena u hemiskom sastavu normalnih gena. Ostaje, međutim, mogućnost da mnoge tzv. mutacije gena mogu da budu stvarno ultramikroskopske promene u hromozomskoj strukturi.

11.99 — Mutirani geni se obično dele na dominantne iznad normalnih gena, u kome će slučaju pojedinac pokazati naročitu novu osobinu ako primi mutirani gen od jednog roditelja, i recesivne, u kome slučaju pojedinac mora da primi mutirani gen od oba roditelja da bi mogao da pokaže novu osobinu. Mutacije gena u polnom hromozomu pretstavljaju delom izuzetak od ovoga pravila pošto muški potomak prima polno vezane gene samo od svoje majke te se otuda ispoljavaju čak i recesivni polno vezani geni. Dok izgleda da je većina mutacija gena recesivna, novi izveštaji pokazuju da su mnogi tzv. recesivni geni delimično dominantni.

11.100 — Mutacije gena izazivaju najrazličnija dejstva koja se kreću od vidljivih promena bez ikakvih očiglednih dejstava na sposobnost za život i plodnost, pa sve do letalnih mutacija koje ubijaju pojedinca kod koga se ispolje. Međutim, skoro su sve mutacije škodljive dok se korisne mutacije javlaju vrlo retko.

11.101 — Normalno ili spontano učestano javljanje hromozomskih aberacija i mutacije gena je retko. No broj i jednih i drugih može se povećati temperaturama višim od normalnih, izvesnim hemikalijama i zračenjem. Zapaženo je da se posle zračenja javljaju iste vrste razne mutacije gena a od toga svaka vrsta mutacije u relativno skoro istoj srazmeri kao što se to dešava i spontano. Broj genetičkih promena izazvanih zračenjem povećava se sa povećanjem doze.

ZRAČENJE I LJUDSKA GENETIKA

11.102 — Svaka studija ljudske genetike komplikovana je dugim životom čoveka, malim brojem potomaka i teškoćom vršenja dugoročnih posmatranja. Genetičke studije zračenja kod čoveka nailaze na još jednu teškoću i činjenicu da, mada se dominantne mutacije ispoljavaju u sledećoj generaciji, recesivne mogu da budu prikrivene za više generacija. Sa miševima je izvršeno dovoljno radova da se pokaže da je zračenje

izazvalo promene u njima, ali kvantitativne procene genetičke opasnosti od zračenja za čoveka morale su se uveliko zasnivati na vinskoj mušici i drugim organizmima koji nisu tesno vezani za čoveka ili čak sisara. Međutim, pokazalo se da su vrednosti mutacija gena izazvanih zračenjem otprilike iste veličine kod velikog broja organizama. Zbog toga je razumljivo da se pretpostavi da bi se slične vrednosti našle i kod čoveka.

11.103 — Na osnovu ove vrednosti i procena vrednosti prirodnih mutacija kod čoveka objavljene procene doze, za koju bi se moglo očekivati da će udvostručiti vrednosti mutacije kod čoveka, kreće se od 3 do 300 rendgena a smatra se čak da prava veličina doze leži van ovih granica. Pošto postoji tolika neizvesnost u pogledu takvog osnovnog faktora kao što je ovaj, a da ne spominjemo i druge faktore koje treba imati u vidu pri proceni svih dejstava koja utiču na broj i kvalitet izvesnih mutacija, očigledno je zasada, kao što je jedan istraživač rekao, »da se nikakva rasuđivanja o genetičkim posledicama zračenja kod čoveka ne mogu uzeti previše ozbiljno«.

11.104 — Pošto postoji tako veliki broj praznina u našem znanju to je teško doći do punovažnih praktičnih preporuka. Izvesni se zaključak može izvući iz jedne značajne stvari koja se pojavila iz eksperimentalnog rada. Postoji veliki broj podataka koji ukazuje da svaka doza zračenja, bez obzira koliko je mala, povećava verovatnoću genetičkih promena. Do nedavna se smatralo da se opasnost odnosi uglavnom na daleke potomke. Novi podaci o učestalosti delimičnih dominantnih gena (vidi § 11.99) pokazuju da opasnost ne bi bila mala čak i za prvu generaciju.

11.105 — Nepotpuni eksperimentalni rad, ukoliko je objavljen, pokazao je da je stepen nastajanja sasvim neodređenih tipova hromozomskih aberacija mnogo veći kod miševa nego kod vinske mušice. Međutim, ako se miševi ne plode za izvesno vreme posle izloženosti zračenju, učestalost takvih hromozomskih aberacija veoma se smanjuje. Zbog toga se može izvući važan praktični zaključak da će se verovatnoća prenošenja hromozomske aberacije u sledećoj generaciji u velikoj meri smanjiti ako se pojedinci izloženi dozama zračenja uzdrže od rađanja potomaka za period od dva ili tri meseca posle izloženosti. Treba, međutim, naglasiti da bi, prema dokazu kojim se raspolaže iz eksperimentalnog rada, ova praksa prouzrokovala malo ili nikakvo smanjenje opasnosti prenošenja mutacije gena.

11.106 — Zbog toga se može tvrditi da mnogi od osnovnih podataka potrebnih za verodostojnu procenu genetičkih dejstava zračenja na stanovništvo nisu još dobiveni. Mi još nismo u stanju da sračunamo tačnu veličinu opasnosti. Specifične praktične preporuke moraju se ograničiti na one za koje mi znamo da će smanjiti opasnost. Koliko će ove mere smanjiti opasnost i stepen do koga ona treba da bude smanjena, u današnje se vreme još ne može odrediti. Očigledno je zbog toga, da, dok se ne bude raspolagalo sa više osnovnih znanja, izloženost ljudstva treba da se ograniči na minimum.

11.107 — Laboratorije Komisije za atomsku energiju i univerziteta koji sa njom sarađuju vrše intenzivno istraživanje sa ciljem da se dođe do nekih od potrebnih osnovnih podataka. Komisija za gubitke od atomske bombe vrši ekstenzivne, dugotrajne genetičke studije na ljudima koji su preživeli eksplozije u Hirošimi i Nagasakiju. Opširan program genetike miševa daće verodostojne podatke o vrednostima mutacija izvesnih zračenja i o učestalosti polusterilnosti usled hromozomskih aberacija koje prate zračenje. Ekstenzivne genetičke studije čitavih generacija Drozofila posle akutne i hronične izloženosti zračenju daće podatke koji se odnose na akumulaciju letalnih mutacija kod pojedinih generacija. Vrednosti mutacija i citološka dejstva različnih tipova zračenja studiraju se kod više različnih vrsta, sve u cilju da se dobiju bolje procene o genetičkim dejstvima zračenja i da se utvrdi način na koji se genetička dejstva izazivaju. Čim nam rezultati ovih i sličnih studija budu stajali na raspolaganju, moći će se vršiti tačnije procene genetičkih opasnosti za čoveka, ali tačne procene neće biti mogućne sve dok se ne bude raspolagalo sa više podataka o ljudskoj genetici.

GLAVA XII¹

LIČNA ZAŠTITA

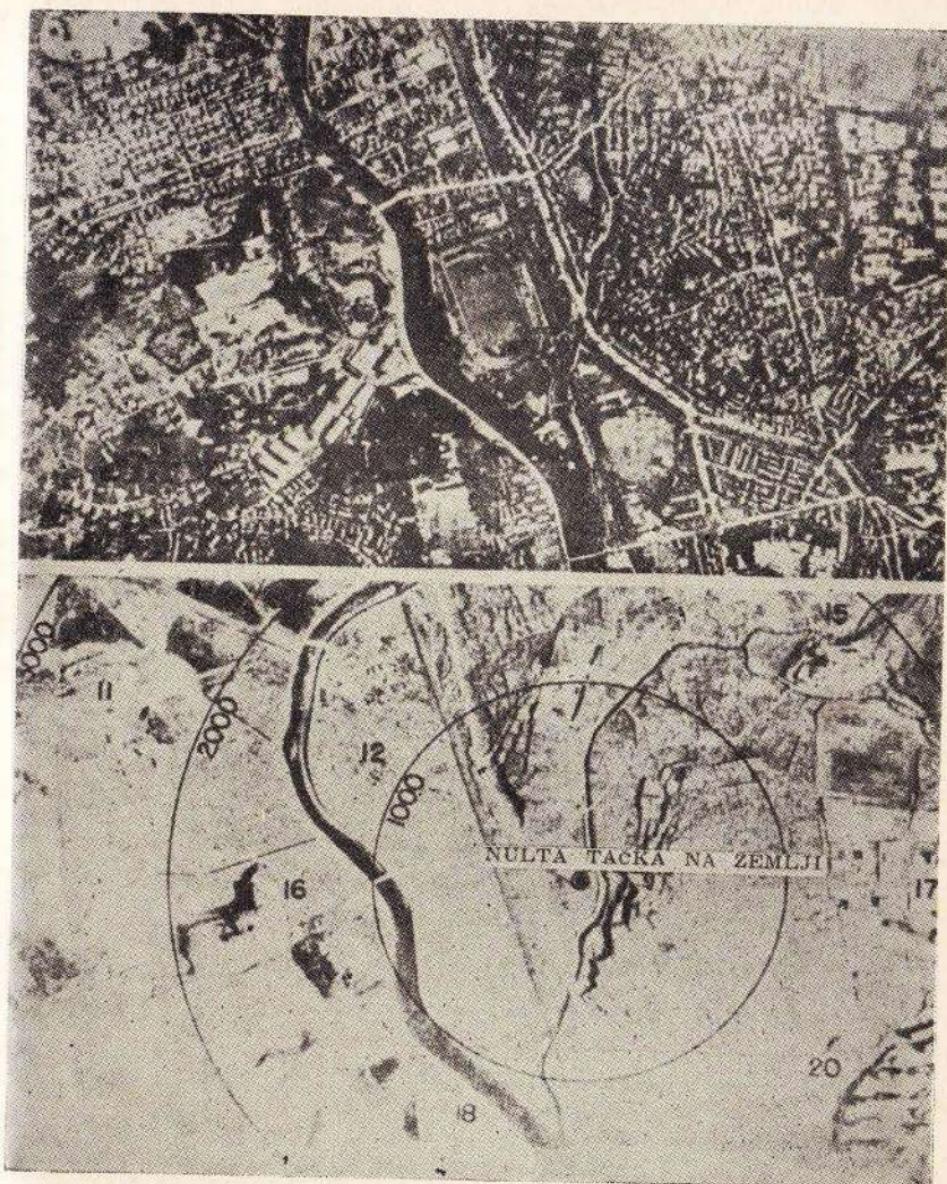
A. U V O D

VRSTE OŠTEĆENJA

12.1 — U prethodnim glavama ove knjige opisana su i diskutovana razorna dejstva atomske bombe. Ova dejstva obuhvataju oštećenja usled vazdušnog eksplozionog udara, potresa zemlje i vode, topotnog zračenja, početnih nuklearnih zračenja i naknadnih nuklearnih zračenja. Pored toga, atomsku eksploziju će, usled raznih sekundarnih uzroka, pratiti prostrani požari. Što se tiče zaštite od ovih opasnosti, mada situacija nije prosta, srećom nije ni toliko složena koliko bi to izgledalo zbog postojanja toliko mnogo faktora opasnosti. Načelno izgleda da bi odgovarajuća zaštita protiv oštećenja od eksplozionog udara, potresa i požara mogla takođe da svede na najmanju meru opasnost za ljudstvo od topotnog zračenja i početnih nuklearnih zračenja.

12.2 — U pogledu opekolina prouzrokovanih topotnim zračenjem glavna stvar je zaštita ljudi od direktnе izloženosti, i izbegavanje lako zapaljivih materijala naročito blizu prozora. Jedina poznata odbrana protiv gama zrakova i neutrona koji sačinjavaju početno nuklearno zračenje sastoji se u postavljanju dovoljne mase materijala između čoveka i atomske bombe (uključujući u to i vatrenu loptu koja se kreće naviše). Upotreba betona kao građevinskog materijala, koji je potreban za smanjenje oštećenja od vazdušnog eksplozivnog udara i potresa zemlje, smanjiće u znatnoj meri opasnosti od početnog zračenja.

¹⁾ Materijal dobijen od E. A. Bemis-a, S. Glasstone-a, J. O. Hirschfelder-a, G. M. Lyon-a, S. B. Smith-a, W. E. Strope-a, D. W. Sweeney-a, T. N. White-a.

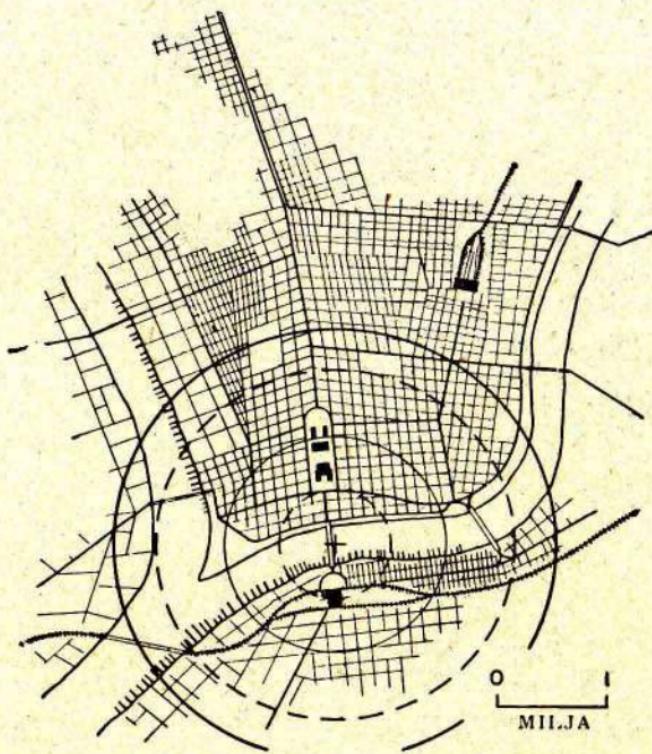


Sl. 12.3 — Nulta tačka na zemlji u Nagasakiju pre i posle eksplozije atomske bombe. Krugovi označavaju po 1000 stopa.

12.3 — Sa gledišta fizičke štete problemi konstrukcije i zaštite od atomskih bombi ne razlikuju se u osnovi od problema u vezi sa bombama uobičajenog tipa. Ne treba zaboraviti, me-

đutim, da su prve daleko moćnije i da će oštećenje obuhvatiti prostranu površinu, verovatno od više kvadratnih milja (slika 12.3). Ove činjenice su važne u vezi sa planiranjem kontrole radova u borbi protiv požara i radova na spasavanju.

12.4 — Slike 12.4a, b, c, d, i e predstavljaju pokušaj da se prikaže obim posledica eksplozije nominalne atomske bom-

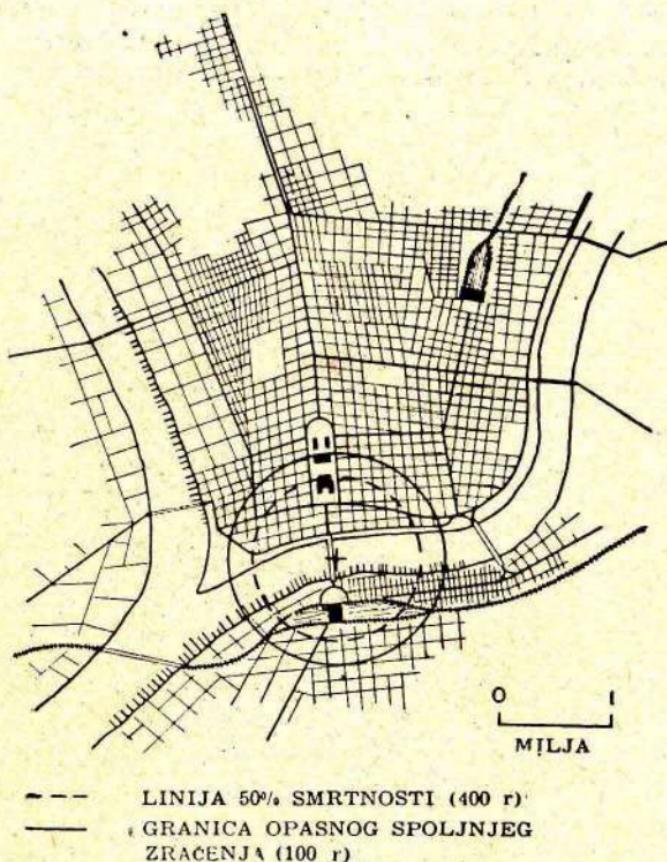


- GRANICA STVARNOG POTPUNOG KAZARANJA
- GRANICA TEŠKOG OŠTEĆENJA
- GRANICA UMERENOG OŠTEĆENJA
- GRANICA DELIMIČNOG OŠTEĆENJA

Sl. 12.4a — Prikaz približnih granica oštećenja hipotetične varoši usled eksplozionog udara od eksplozije u vazduhu.

be. One prikazuju plan nekog hipotetičnog grada koji se nalazi pored vode, sa naznačenim površinama na kojima se mogu očekivati različna dejstva. Na slici 12.4a ucrtane su približne

površine na kojima bi mogli da nastanu različni stepeni oštećenja od bombe koja je eksplodirala u vazduhu na visini od 2.000 stopa iznad zemlje nad tačkom označenom krstom bliže sredini reke. Opasnosti za nezaštićene osobe usled početnih nuklearnih zračenja i usled topotnih zračenja od iste eksplozije predstavljene su na slikama 12.4b odnosno c.²⁾ U slučaju

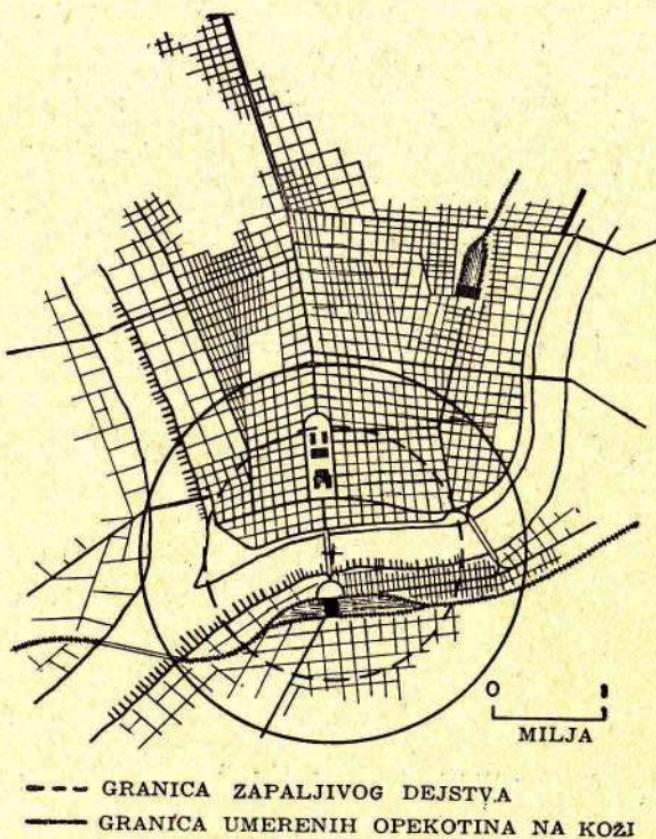


Sl. 12.4b — Prikaz približnih granica doziranja početnog nuklearnog zračenja u hipotetičnoj varoši od eksplozije u vazduhu.

detonacije u vazduhu na dovoljnoj visini iznad zemlje ili vode dejstvo naknadnog zračenja, tj. dejstvo produkata cepanja ili plutonijuma, biće verovatno sasvim neznatno.

²⁾ U slici 12.4c pretpostavljeno je da energije potrebne da proizvedu dejstvo paljenja i umerene opekotine kože iznose 10, odnosno 3 kalorije po cm^2 (§ 6.50). Udaljenja se odnose na vedar dan (slika 6.31).

12.5 — Na slikama 12.4d i e date su posledice koje se očekuju od podvodne eksplozije nastale u vodi ispod tačke označene krstom. Prva slika pokazuje prostorije oštećene eksplozionim udarom koje izgledaju mnogo manje nego one na slici 12.4a za eksploziju u vazduhu, pošto se samo jedna četvrtina energije eksplozionog udara bombe koja je eksplodirala pod vodom prenosi kroz vazduh. Oštećenje na podvodnim postrojenjima, kao što su kejovi i brodovi, biće, međutim, u drugom slučaju ozbiljnije. Dejstva topotnih i početnih nu-

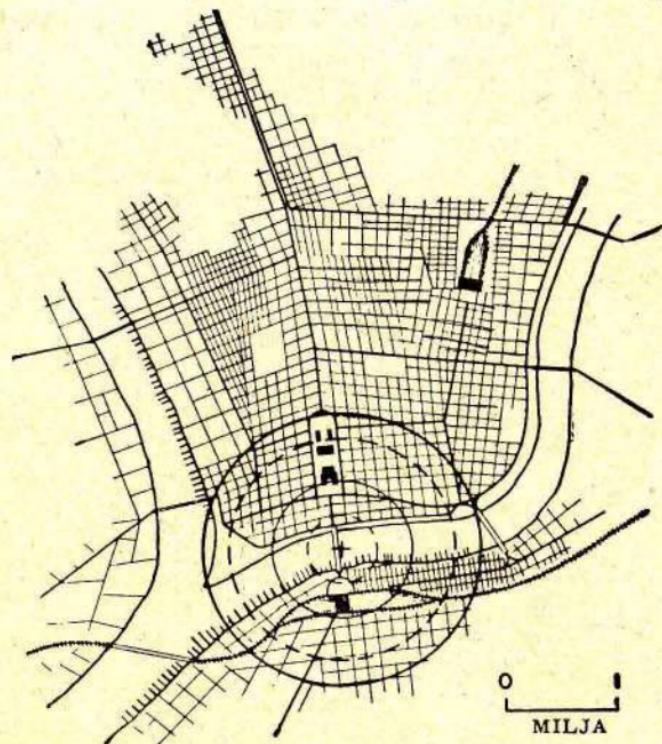


Sl. 12.4c — Prikaz približne graniče dejstva termičkog zračenja u hipotetičnoj varoši od eksplozije u vazduhu.

klearnih zračenja mogu se zanemariti, ali će taloženje aktivnog materijala iz radioaktivnog oblaka i veliki talas u podnožju vodenog stuba proizvesti znatnu opasnost usled radioaktivne kontaminacije, kao što je naznačeno na slici 12.4e. U ovom se

slučaju pretpostavlja da duva vetar u naznačenom pravcu brzinom od 5 milja na čas, tako da se aktivnost rasprostire na izvesno udaljenje niz vетар. Za jače vetrove kontaminacija bi se prenela još dalje.

12.6 — Razume se da dijagrami pretstavljaju jedino pokušaj da se proceni grubi prosek jer će stvarna dejstva atom-

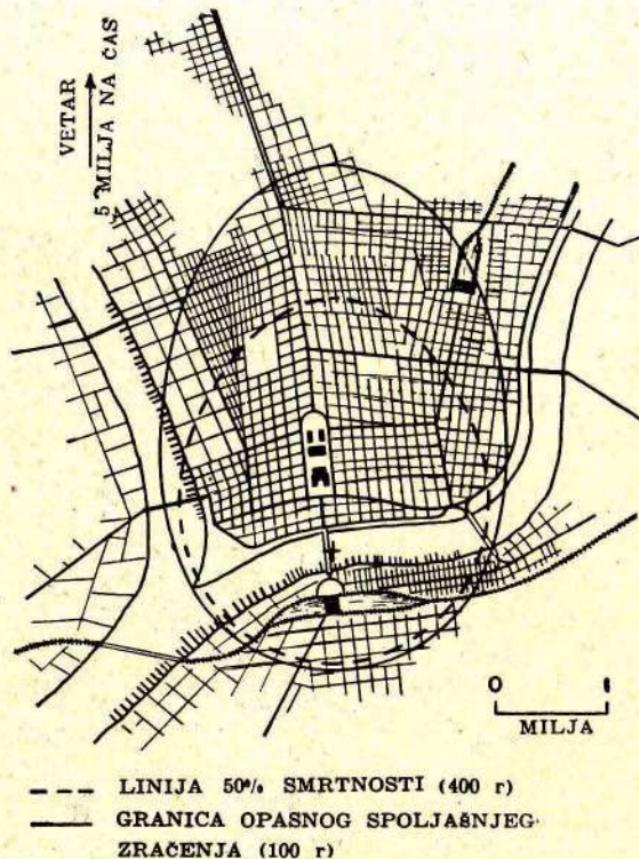


- GRANICA STVARNOG POTPUNOG RAZARANJA
- GRANICA TESKOG OŠTEĆENJA
- GRANICA UMERENOG OŠTEĆENJA
- GRANICA DELIMIČNOG OŠTEĆENJA

Sl. 12.4d — Prikaz približne granice oštećenja hipotetične varoši usled vazdušnog eksplozionog udara od podvodne eksplozije.

ske bombe zavisi od mnogo faktora. Od ovih se mogu spomenuti visina eksplozije i energija koju daje bomba, topografija prostorije kao, naprimjer, prisustvo reke, brežuljaka, i meteo-

rološki uslovi. Svi ovi faktori mogu da izazovu upadljive lokalne promene i znatno će promeniti oblik oštećene prostorije. Trebalo bi se, pored toga, setiti da se rezultati odnose na detonaciju nominalne atomske bombe sa ekvivalentom energije od 20 kilo-tona TNT. U slučaju upotrebe bombe druge energije rezultati bi stvarno bili drugojačiji. Izvesna pretstava o pro-



Sl. 12.4e — Prikaz približne granice doziranja naknadnog zračenja u hipotetičnoj varoši od podvodne eksplozije.

menama može se dobiti korišćenjem različnih zakona sličnosti koje su pregledno izložene niže na slici 12.13.

RADIOLOŠKA DEJSTVA

12.7 — Zaštita od dejstva radioaktivne zatrovanosti predstavlja problem na koji se ranije nije naišlo. Posledice eksplo-

zivnog udara i vatre su vidljive i mogu se uglavnom kontrolisati u relativno kratkom periodu posle eksplozije. Međutim, nuklearna zračenja se ne mogu otkriti čulima bez upotrebe instrumenata i, dok se kontaminacija ne otkloni, škodljiva dejstva mogu da traju nedeljama, mesecima pa i duže.

12.8 — Čak i ako su opasnosti od radioaktivnosti posle atomske eksplozije neizvesne i možda preterane, ipak se eventualnoj kontaminaciji prostorija, postrojenja i opreme mora pokloniti izvesna pažnja. Obeležavanje prostorija koje se nalaze blizu, naročito niz vетар od eksplozije, treba da se preduzme ubrzo posle detonacije radi upravljanja vatrogasaca i ekipa za spasavanje. Prema tome, za iznalaženje prostorija koje su sigurne za stanovanje, bilo bi potrebno detaljnije obeležavanje. Neki od bitnih problema dekontaminacije opisani su u glavi X, te je bilo spomenuto da je u izvesnim slučajevima kao prva mera preporučljivo pranje. Ovim putem može se sprovesti jednovremena borba protiv vatre i radioaktivne kontaminacije, mada je u ovom slučaju važno što se dešava sa vodom koja otiče. Trebalо bi istaći da bi u slučaju eksplozije u vazduhu na velikoj visini radioaktivna zatrovanošć bila neznatna (§ 11.2), te bi postojalo malo ili nimalo rizika ako se ista potpuno zanemari.

OPŠTA RAZMATRANJA

12.9 — Razmatranje drastičnijih mera koje bi se mogle preduzeti da se umanji opasnost od atomskih oružja, kao što su disperzija i podzemno građenje, ne ulaze u predmet ove knjige, ali navodimo izvesne mere koje se mogu preduzeti da se smanji broj ljudskih žrtava i materijalne štete od atomske eksplozije. Bitno je da se obezbede osnovni podaci za planiranje zaštitnih i kontrolnih mera, te su, sem direktnog dejstva atomskih oružja, obuhvaćeni i mnogi drugi važni faktori.

12.10 — Projektovanje novogradnje pruža najbolju priliku da se uključe zaštitne mere uz minimalne troškove. Postojeće konstrukcije mogu se, međutim, u mnogim slučajevima tako ojačati da budu otpornije prema eksplozionom udaru, vatri i zračenju, povećavajući tako zaštitu ljudi i opreme. Na primer, šteta usled eksplozionog udara može se smanjiti ojačanjem konstrukcija, naročito protiv bočnih sila i sila usmerenih naniže. Poželjno je držati se minimuma ukrasa, ornamentnog gipsa ili drugih unutrašnjih obrada koje bi mogle otpasti kada nastupi izlaganje zgrada snažnom dejstvu sila.

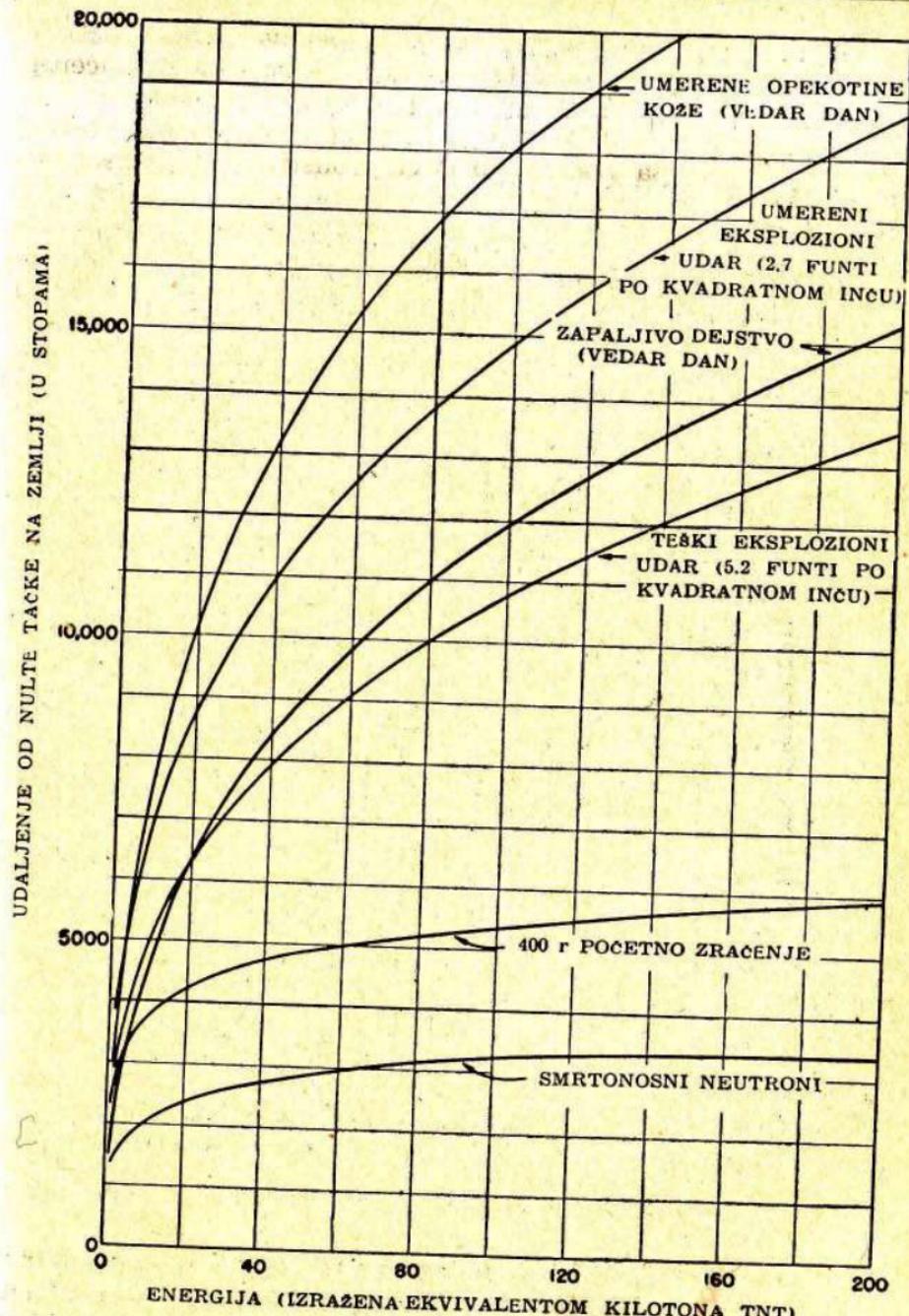
Opasnost od vatre može se smanjiti izbegavanjem izloženog zapaljivog materijala a opšta zaštita protiv gama zračenja postići će se dovoljnom debljinom materijala konstrukcije.

12.11 — U poslednjim odeljcima ove glave daće se razne preporuke u vezi sa građenjem novih konstrukcija i poboljšanjem onih koje već postoje. Međutim, pre nego što se nastavi razmatranje mora se dati bar privremeni odgovor na jedno važno pitanje. Može li se prepostaviti udaljenje na kome će nastupiti atomska eksplozija, radi preduzimanja zaštitnih mera? Stvarno je nemoguće dati određen odgovor, ali se mora doneti odluka u pogledu udaljenosti od eksplozije na kojoj će zaštita imati praktičnog značaja. Tada se mogu preuzeti mere da se obezbedi odgovarajuća zaštita na toj udaljenosti.

12.12 — Očigledno je da treba obuhvatiti izvestan proračunati rizik, jer bomba može da eksplodira i na manjem udaljenju, u kome bi slučaju zaštita bila nedovoljna. Alternativno rešenje bilo bi da se postrojenje načini tako kako da može izdržati svaku atomsku eksploziju neposredno iznad njega. Takva alternativa nameće ekstremne zahteve, uključujući eliminaciju stakla na objektu, potpunu zavisnost od veštačkog osvetljenja i provetrvanja i obezbeđenje nezavisnog snabdevanja pogonskom snagom, mnogim drugim siguronosnim uređajima i opremom. Čak i ako bi se ovi zahtevi ispunili kod jednog postrojenja, oni mogu biti uveliko neefikasni ako sva okolna postrojenja nisu istog tipa.

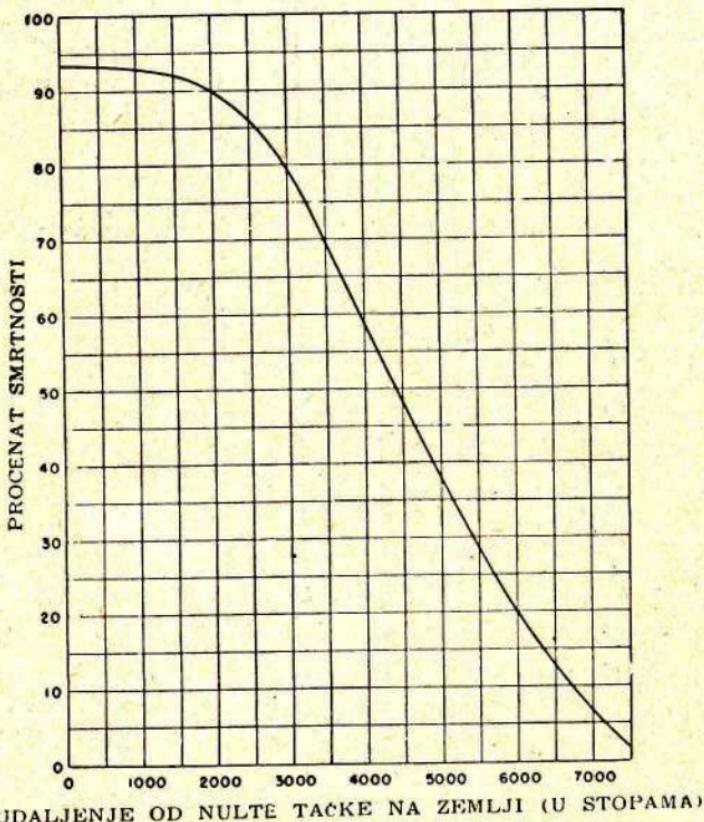
12.13 — Pri donošenju odluke šta treba smatrati praktičnim udaljenjem za zaštitu od atomske eksplozije može da bude od koristi dijagram slike 12.13. On daje granična udaljenja³⁾ od eksplozije na kojima atomske bombe raznih ekvivalenta energije TNT izazivaju naznačena dejstva s obzirom na eksplozionali udar, početno gama zračenje, termičko zračenje i neutrone. Pri konstruisanju ovih krivih upotrebljeni su razni zakoni sličnosti koji su dati u knjizi. Vidi se da ukoliko energija bombe raste, utoliko raste i srednji smrtonosni domet, najpre vrlo brzo a onda sporije. Najekonomičniji projekat zaštite bio bi možda pokušaj da se nađe zaštita koja će biti efikasnna na udaljenju na kome povećana energija bombe izaziva vrlo mali porast smrtonosnog dometa.

³⁾ Udaljenja data kao ordinate pretstavljaju stvarne daljine od eksplodirale bombe. Udaljenja od nulte tačke na zemlji biće nešto manja, zavisno od visine eksplozije. Krive za umerene opeketine koje i zapaljiva dejstva date su za energije od 3 i 10 kalorija po cm² (§ 6.50).



Sl. 12.13 — Udaljenja od eksplozije na kojima se proizvedu različna dejstva kao funkcija energije bombe.

12.14 — Uzevši u razmatranje različne faktore izgleda da bi daljina od oko pola milje od nulte tačke bila dovoljan kompromis za planiranje opštih zaštitnih mera. Prepostavlja se da bomba eksplodira u vazduhu na takvoj visini da izazove najveću materijalnu štetu. Mora se priznati da izbor daljine sadrži izvestan element rizika, jer može biti slučajnih ili namerih eksplozija više bombi u neposrednoj blizini u isto vreme. Dalje, postoji mogućnost da ove bombe imaju različne energije i da detoniraju na različnim visinama. Pod svim ovim



Sl. 12.15 — Procenat smrtnosti kao funkcija udaljenja od nulte tačke.

okolnostima izazivali bi se potpuno različni uslovi a problemi zaštite ne bi bili isti. Kombinacija atomske bombe sa oružjem za vođenje radiološkog rata stvarno bi još više komplikovala stvar.

12.15 — Postoji izvesno opravdanje da se kod nominalne atomske bombe pola milje od nulte tačke na zemlji izabere kao tačka od koje bi trebalo razmatrati zaštitu. Na prvom mestu dokaz iz bombardovanja Japana pokazuje da do ove daljine ima vrlo malo izgleda da čovek preživi bilo iz jednog ili drugog uzroka. Procent smrtnosti kao funkcija udaljenosti od nulte tačke na zemlji prikazan je na slici 12.15.⁴⁾ Vidi se da tek na daljinama od preko 3.000 stopa broj ubijenih lica počinje da opada znatnom brzinom. Podesne zaštitne mere imale bi za posledicu još jače opadanje od prikazanog. Dalje, zaštita protiv eksplozionog udara, početnog i termičkog zračenja postaje praktična na pola milje od nulte tačke, dok na bližim udaljenostima ne bi u opštem slučaju bila moguća. U izvesnim slučajevima, međutim, mogu da budu poželjne jače konstrukcije već prema prirodi posla koji se obavlja u određenoj zgradiji.

B. ZAŠTITA OD OŠTEĆENJA

PROJEKTOVANJE NOVE KONSTRUKCIJE

12.16 — Ako se zgrade moraju graditi u područjima koja predstavljaju moguće ciljeve⁵⁾ napada atomskom bombom, treba ih tako projektovati da povećaju sigurnost stanovnika i da pruže najveći praktični otpor protiv rušenja i oštećenja. Svaka zgrada koja će se graditi na tri milje od vitalnog cilja treba da se smatra kao da se nalazi u području cilja, mada bi se stepen zaštite kome se teži u projektu ravnao prema položaju zgrade u tom području. Pored toga, mora se razmotriti za slučaj potrebe značaj industrije ili delatnosti koja se vrši u zgradama.

12.17 — Da bi se utvrdila baza za projektovanje neke zgrade, može se za svrhe ove rasprave prepostaviti da će bomba eksplodirati na visini od približno 2.000 stopa iznad verovatnog cilja. Tada se može odrediti udaljenje, pravac i temeni ugao od prepostavljenog položaja zgrade. Iz podataka u glavi V može se razviti kriva vreme-pritisak za svaki

⁴⁾ Prilagođeno iz »The Atomic Bombings of Hiroshima and Nagasaki« (»Atomska bombardovanja Hirošime i Nagasakija«), Manhattan Engineer District (1946) str. 19.

⁵⁾ Za opšte razmatranje prostorija cilja vidi »National Security Factors in Industrial Location« (»Faktori nacionalne bezbednosti u određivanju lokacije industrije«), National Security Resources Board.

određeni oblik, veličinu i orientaciju zgrade. Studija prolaznih opterećenja na označenim objektima različnih oblika treba da omogući izbor konstrukcije koji će dati najmanje opterećenje od eksplozionog udara u skladu sa drugim zahtevima u vezi sa upotrebatom objekta.

12.18 — Pošto su date krive pritisak-vreme, potrebno je razmatrati kako da se konstruiše objekat i njegovi sastavni delovi. Moguće je računati tzv. ekvivalentna statička opterećenja koja odgovaraju dinamičkim opterećenjima. Ovo su statička opterećenja koja bi izazvala iste elastične ugibe ili deformacije kao i dinamička opterećenja koja se razmatraju. Takva ekvivalencija vredi međutim samo u granicama elastičnosti. Postrojenje konstruisano da pruži otpor pritiscima eksplozionog udara u granicama elastičnosti na oko pola milje od eksplozije nominalne atomske bombe mnogo je jače nego što je japansko iskustvo pokazalo da je potrebno. U Nagasakiju nije bilo armiranobetonskih zgrada, konstruisanih kao otporne prema zemljotresu, koje su pretrpele ozbiljno oštećenje na skeletu na otstojanjima od 2.000 stopa od nulte tačke na zemlji ili preko toga (tablica 5.45). Izvesno približavanje problemu projektovanja može da bude u primeni faktora iskustva zasnovanog na zapaženoj šteti na odgovarajućim zgradama u Japunu.

12.19 — Ako se pretpostavi da je dozvoljeno izvesno krivljenje skeleta i elemenata zgrade dok je ona izložena atomskom eksplozionom udaru, onda plastična konstrukcija nudi drugo rešenje. Prvo, mora se ustanoviti kriterij koji se može usvojiti u pogledu veličine distorzije skeleta i ugibanja ploča. Verovatno je da vrlo mala distorsija skeleta ne utiče na sigurnost, dok bi se ugibanje ploča moglo dozvoliti. Razbijanje prozora i razaranje lakih delova objekta je neizbežno.

12.20 — Pošto su utvrđene granice, biće moguće da se analizira zgrada koristeći krive vreme-pritisak za dobijanje promena dejstvujuće sile s obzirom na vreme. Takvoj sili su protstaviće se u periodu ubrzanja masa zgrade i njena moć prilagođavanja. Dalje ubrzanje prestaje kada napadna sila opadne do granice moći prilagođavanja zgrade. Zamah će nastaviti kretanje dok se zgrada ne umiri usled otpora. Pri tome je usvojena pretpostavka da zgrada ima izvestan stepen slobode i da je granica elastičnosti pređena u vrlo kratkom vremenu, tako da elastično ponašanje igra vrlo malu ulogu pri distorziji.

12.21 — Velika je teškoća što je nepoznata moć prilagođavanja zgrada podvrgnutih dinamičkim opterećenjima u plastičnom domenu. Imajući ovo u vidu može se za sada praktično malo učiniti u korišćenju plastične konstrukcije. Izvršene su obimne studije problema otpornosti prema velikim prolaznim silama, ali ostaje da se mnogo uradi pre nego što se mogu utvrditi zadovoljavajući postupci za projektovanje.

PRIVREMENO UPUTSTVO ZA PROJEKTOVANJE

12.22 — Dok se ne bude raspolagalo daljim podacima, mogu se dati izvesne privremene sugestije za projektovanje za različna niže navedena postrojenja. Pre nego što se nastavi sa razmatranjem, treba istaknuti jedno pitanje opštег značaja. Široka upotreba opeka i drugih nevezanih obloga ili velike količine stakla stvorila bi opasne komadiće koje će eksplozioni udar u kritično vreme razbacati, a parčad od ruševina zakriče ulice.

a) *Višespratne zgrade od armiranog betona ili sa čeličnim skeletom⁶⁾.* — Preporuke se zasnivaju na iskustvu u Japanu sa zgradama ove vrste, sa ograničenjem visine do 100 stopa. U tim preporukama ostaju razna otvorena pitanja ali se to može opravdati bar time što boljih podataka nema. Veruje se da je opterećenje od vetra najbolja osnova za projektovanje protiv dejstva eksplozionog udara. Projektant bi trebalo da uzme u račun horizontalnu komponentu vetra od 90 funti po kvadratnoj stopi, sa vertikalnom komponentom od 70 funti po kvadratnoj stopi za zaštitu protiv rušenja konstrukcije na udaljenju na pola milje od mesta atomske eksplozije. Predložena horizontalna komponenta vetra može se grubo uporediti sa bočnom silom koja iznosi 10% od težine. Kod konstrukcija otpornih prema zemljotresu izgleda da je ovaj zaključak umesan, jer zgrade otporne prema zemljotresu u Nagasakiju nisu pretrpele nikakva oštećenja skeleta na otstojanjima od 2.000 stopa i više od nulte tačke na zemlji. Detalji i metodi koji se primenjuju kod konstrukcija otpornih prema vetu i zemljotresu trebalo bi da se usvoje za zgradu i njene elemente sa uvećanim dozvoljenim naprezanjima za jednu trećinu do jedne polovine.

⁶⁾ Mada je beton izvanredan građevinski materijal sa više tačaka gledišta, trebalo bi se setiti (uporedi glavu X) da bi bilo vrlo teško dekontaminisati porozni beton ako je ovaj apsorbovao radioaktivnost iz kiše ili izmaglice (velikog talasa u podnožju vodenog stuba).

Za otstojanja veća od pola milje od verovatnog cilja, pritisci se mogu smanjiti prema očekivanom smanjenju najvećeg pritiska udarnog talasa, uzimajući u obzir povećanje otstojanja i promenu temenog ugla.

b) *Manje armiranobetonske zgrade.* — Ove bi trebalo konstruisati za pritiske propisane za višespratne zgrade kao monolitne objekte, koristeći načela za projektovanje zgrada otpornih prema zemljotresu.

c) *Čelične fabričke zgrade.* — Trebalо bi da se projektuju za pritisak vetra sa horizontalnom komponentom od 90 funti na kvadratnu stopu i za vertikalnu komponentu od 70 funti na kvadratnu stopu za otpornost skeleta na udaljenju od pola milje od očekivanog cilja. Ovde se pretpostavlja da će se usled popuštanja obloge i pokrivke od talasastog lima ili azbestnog cementa smanjiti opterećenje skeleta, nadoknađujući tako manju težinu. Upotreba materijala kao što je azbestni cement, koji će se brže razbiti nego talasasti lim, doprineće smanjenju opterećenja skeleta i smanjiti povrede i oštećenje usled parčadi od obloge ili pokrivača koja bi pogodila stanovnike i opremu.

d) *Mostovi.* — Pošto je većina mostova izloženih u Japanu bila mala po veličini to se raspolaže sa malo znakova o tome šta bi se desilo većim mostovima različnih tipova kojih ima u Sjedinjenim Državama. Preporučuje se da se veliki mostovi analiziraju dinamički. Za pojmove štapove ili kablove visećih mostova treba prvenstveno razmotriti silu aerodinamičkog pritiska. Vertikalna komponenta eksplozionog udara na patos mogla bi da bude ozbiljna, ali su mostovi konstruisani za vertikalna opterećenja. Verovatno da ne bi bilo kritično naprezanje spregova preko granice elastičnosti usled bočne komponente eksplozionog udara.

KRUTOST, BROJNOST ELEMENATA I ISTEGLJIVOST

12.23 — U glavi V bilo je prikazano da su krutost, brojnost konstruktivnih elemenata i istegljivost faktori koji mogu da utiču na otpornost zgrada protiv oštećenja od eksplozionog udara. Umesno je da se sada da sugestija kako se ovi faktori mogu tako uklopiti u principu projektovanja da služe traženoj svrsi. Stabilnost je takođe faktor koji doprinosi tome, ali će obično biti manje značajan od gore spomenutih faktora. Međutim, naprezanja izazvana dejstvom preturanja morala bi se razmatrati u svim slučajevima.

12.24 — S obzirom na krutost veruje se da opšte rešenje problema projektovanja zgrada otpornih na velike bočne pritiske i pritiske usmerene naniže leži u tome da se osiguraju dodatni elementi za ukrućivanje, kao što su poprečni podeoni zidovi, bočne podvlake i duboke bočne stege, a kod projekta betonskih tavanica i krovova da se bočne sile prenesu na vertikalne podeone zidove. Kod savijanja usled ramovskog dejstva za velike bočne sile nezadovoljavajuća je uobičajena upotreba stubova, kao elemenata koji se tome suprotstavljaju. Određivanje projektnih zahteva za staticko opterećenje od vетра je u velikoj meri proizvoljno, ali je korisno za određivanje kriterija prema kome će se usmeriti projektovanje. Biće korisno da se uključi svaka vrsta konstrukcije koja će obezbediti veću jačinu tamo gde se materijalni izdatak ne povećava. Pokazaće se takođe da je ograničenje visine zgrada poželjno da bi se izbegla velika bočna naprezanja.

12.25 — U ovde usvojenom smislu brojnost elemenata pretstavlja osobinu postrojenja da se suprotstavi oštećenju, kad izvesni delovi popuste, uvođenjem u dejstvo drugih konstruktivnih elemenata. Pretpostavimo, naprimjer, da su oštećeni stubovi prvog sprata usled smicanja ali da je bilo armiranobetonskih zidova koji su na sebe primili opterećenje odozgo. Zidovi bi takođe bili oštećeni, ali bi bio od koristi svaki doprinos koji bi oni dali u pogledu podupiranja drugog sprata. Kod jedne javne zgrade u Manili više stubova u jednom redu na prvom spratu bilo je srušeno artiljeriskom vatrom; drugi sprat se malo ulegao, ali je oštećeni deo bio premošćen neoštećenom konstrukcijom odozgo. Uopšte uzev armirani beton ima ovu osobinu. Ne može se dati uputstvo za projektovanje bez ograničenja ali studija verovatnih tačaka popuštanja i moguće podupiranje koje mogu da pruže susedni delovi zgrade, pokazaće projektantu šta se može učiniti u ovom pogledu.

12.26 — U granicama elastičnosti deformisaće se obično istegljivi materijali u većoj meri pod istim opterećenjem nego materijal manje istegljiv. U ovom smislu zahtev za istegljivošću nije u skladu sa krutošću; pa ipak je istegljivost znatan činilac u suprotstavljanju rušenju. Kada se pređe granica elastičnosti materijala kao što je čelik, nastupa veliko istezanje pre nego što dođe do kidanja. Sa druge strane, krt materijal kao što je beton istegao bi se pre sloma samo u ograničenoj meri.

12.27 — Opiti izvedeni u ovu svrhu pokazali su da je građevinski čelik ili čelik srednjeg kvaliteta mnogo bolji za armaturu nego tvrdi čelik. Kada se armiranobetonska konstrukcija podvrgne velikim silama eksplozionog udara i nastupi oštećenje, mekši čelik može da se izduži ili deformiše bez kidanja tamo gde bi došlo do kidanja tvrdog čelika. Građevinski čelik ili čelik srednjeg kvaliteta apsorbuje više energije u plastičnom domenu. Takav izbor imaće malo uticaja na krutost u običnom smislu.

KLJUČNE INSTALACIJE

12.28 — Izvesna postrojenja koja se upotrebljavaju za ključnu industrisku proizvodnju ili se koriste u važne vojne svrhe zahtevaće specijalnu obradu. Svaka od ovih instalacija može da zahteva individualno razmatranje, sa podrobnom procenom strategiskih, taktičkih i logičkih faktora. U takvim slučajevima može se zahtevati maksimalna zaštita bez obzira na udaljenost eksplozije, što iziskuje potpuno podzemni smeštaj. Međutim ova rasprava ne namerava da obuhvati takve slučajeve.

12.29 — Očigledno da nema bitnih teškoća da se pod zemljom izgrade razne vrste značajnih uređaja i rukuje njima. Takvi uređaji mogu da budu postavljeni u nekom pogodnom postojećem rudniku ili se pak za ovu svrhu može izvršiti potreban iskop. Zemljište bi trebalo da omogući horizontalan pristup i da ima odgovarajući zaštitni natsloj koji zavisi od značaja uređaja i vrste očekivanog napada.

TEŠKE BETONSKE KONSTRUKCIJE

12.30 — Vojne potrebe mogu da iziskuju teške betonske objekte koji će pružiti zaštitu od direktnih pogodaka bombi punjenih brizantnim eksplozivom i koji će štititi protiv atomske bombe, izuzev na veoma bliskom otstojanju. Takva bi postrojenja bila od male koristi na prostoriji gde postoji mogućnost nastajanja požara velikih razmara koji bi mogli da ih učine neodrživim, ili tamo gde bi mogla da budu izolovana usled oštećenja okolnih komunikacija. Izgleda da za takav objekat nema mnogo opravdanja u nekom gradu, ali se ovaj može zahtevati za vitalne nadzemne uređaje u ugroženim područjima.

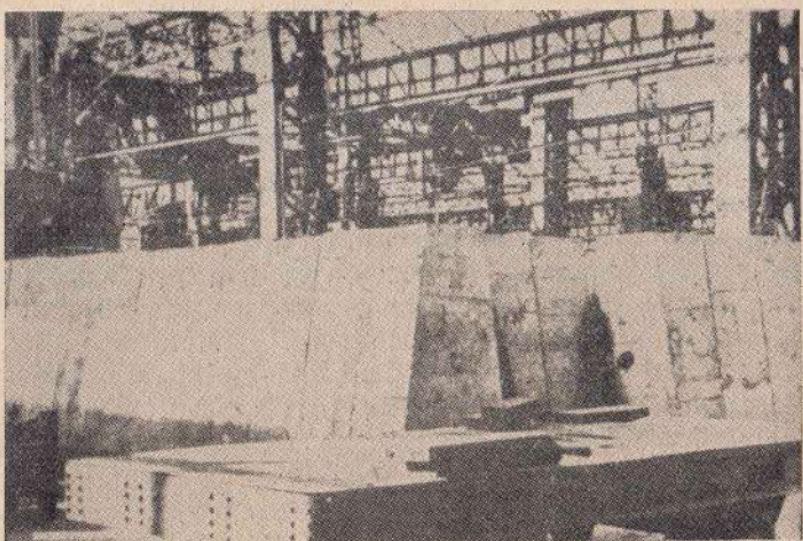
SMANJENJE OPASNOSTI OD EKSPLOZIONOG UDARA U POSTOJEĆIM ZGRADAMA

12.31 — Bez obzira na gore razmotreno pitanje projektovanja nove konstrukcije postoji i pitanje adaptacije kod postojećih zgrada tako da se smanji opasnost od oštećenja usled eksplozionog udara. Ovo je mnogo teži problem od problema koji obuhvata usvajanje odgovarajućih mera u novom projektu. Najozbiljniju opasnost za osobe i opremu u zgradama predstavlja totalno rušenje. Potrebno je, zbog toga, ispitati objekat radi iznalaženja slabih tačaka i onda utvrditi najbolje metode za njihovo ojačanje. Veruje se da će biti načelno ostvarljivije dodavanje ukrućenja i podupiranje ili izrada novih poprečnih armiranobetonskih zidova nego ojačavanje skeleta.

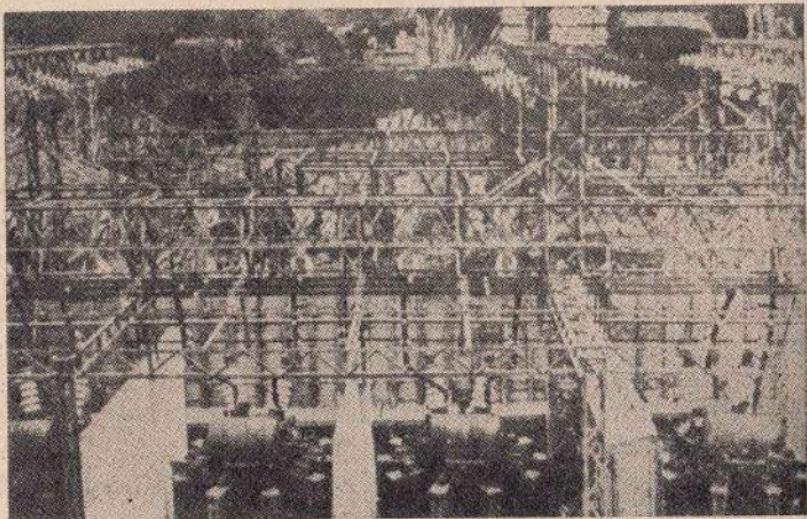
12.32 — Sa opštег gledišta izgleda da je važno razmatrati mogućnost da se smanji opasnost za osobe u zgradama koje su u stanju da se suprotstave rušenju ali koje bi verovatno bile oštećene do izvesne mere. Dobro povezana obloga od armiranog betona na skeletu od čelika ili armiranog betona daće veliki stepen zaštite osobama unutar i izvan zgrade. Sa druge strane, slabo povezani zid od betonskih blokova ili cigala ne bi pružio nikakvu zaštitu u zgradi i predstavlja bi izvor parčadi kako u zgradi tako i izvan nje.

12.33 — U svakom slučaju je značajno da se izbegne opasnost od stakla koje leti, otrgnute opreme, otpadanja pričvršćenih predmeta, lažnih plafona itd. Velika opasnost od stakla trebalo bi da se uzme u obzir kod projektovanja a staklene površine treba predvideti samo u količini koja je neophodna za potrebu zgrade. Mere upotrebljene za zaštitu protiv stakla usled eksplozije običnih bombi, kao što je pričvršćena ili prilepljena pamučna tkanina po površini stakla i okvira, bile bi od male vrednosti, jer bi dugo trajanje eksplozionog udara od atomske bombe u svakom slučaju prouzrokovalo izbijanje stakla. Kao delimična mera zaštite predlaže se kao pokušaj armirano staklo i mreža od žice dobro zakovana za okvir. Ovo ne bi osetno smetalo prolazu svetlosti a zadržalo bi veću i opasniju parčad stakla koja lete. Drugo moguće rešenje bila bi upotreba plastične mase mesto stakla.

12.34 — Trebalo bi uzeti u razmatranje moguću opasnost od pričvršćenih predmeta, težeg ukrašnog štukatora ili druge unutrašnje opreme koju bi mogao oboriti eksplozioni udar ili pucaњe zgrade. Najsigurniji postupak bio bi da se ukloni svaki deo koji predstavlja opasnost. Ukoliko to nije sprovodljivo

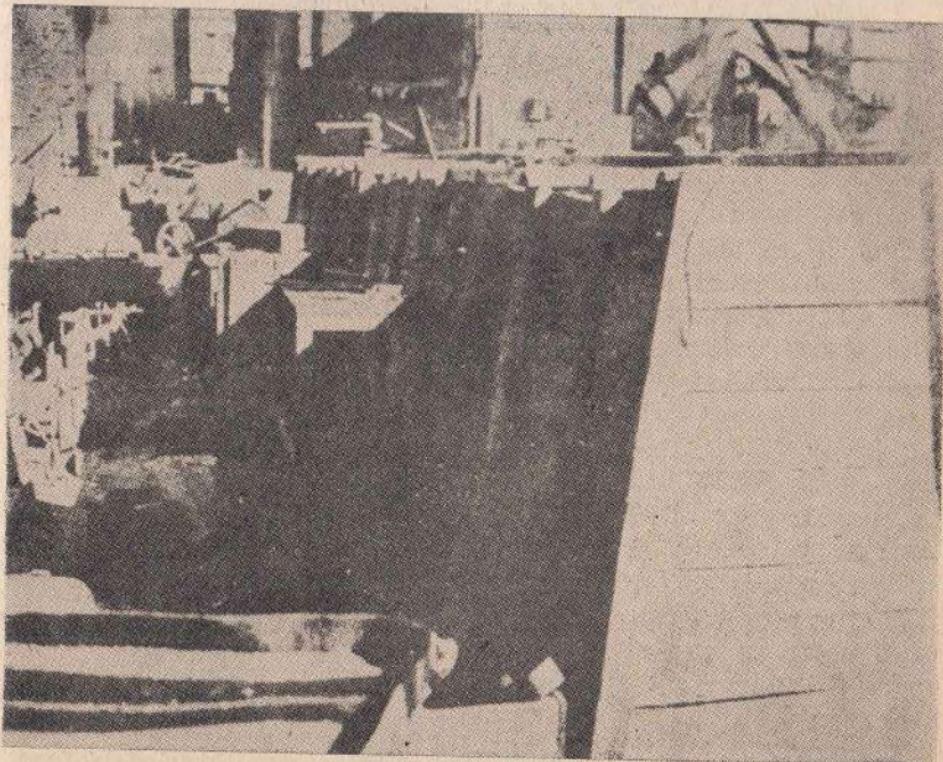


Sl. 12.35a — Prefabrikovani prizmatični armiranobetonski zidovi za zaštitu od eksplozionog udara, 4.500 stopa od nulte tačke.



Sl. 12.35b — Armiranobetonski zaštitni zidovi transformatora na 5.400 stopa od nulte tačke.

vo u potpunosti takve zaštitne mere treba sprovesti u graničama mogućnosti. Venci koji štrče, ukrasi itd. sa spoljne strane zgrade preostavljaće opasnost za prolaznike te bi trebalo uzeti u razmatranje njihovo uklanjanje. Opasnost od parčadi koja



Sl. 12.35c — Drveni zaštitni zidovi sa ispunom od zemlje, za zaštitu mašina od eksplozionog udara, na 4.600 stopa od nulte tačke.

leti nije, međutim, samo osobenost za atomska oružja, te su mere za njihovo smanjenje od značaja i u slučaju običnog bombardovanja.

12.35 — Zidovi za zaštitu od eksplozionog udara koji se postavljaju za lokalizovanje štete od običnih bombi biće korisni za smanjenje povrede od letećih parčadi a pružiće izvesnu zaštitu i protiv atomskog eksplozionog udara (sl. 12.35a). Na sličan način biće efikasni za smanjivanje štete zidovi oko važnih uređaja kao što su transformatori (sl. 12.35b). Ovi zidovi trebalo bi da budu od armiranog betona debelog 12 palaca i

otporni protiv preturanja⁷⁾). Ovo se može postići upotrebom potpornih zidova koji bi imali široku osnovicu ili, bolje, upotrebom ugrađenih gvozdenih nosača koji bi se pružali u zemlju.

PODZEMNA EKSPLOZIJA

12.36 — Ako bi se atomska bomba upotrebila za izazivanje podzemne eksplozije onda bi u području kratera nastalo skoro potpuno razaranje. Van ovog područja nastupila bi dejstva izazvana potresom zemlje koja se grubo mogu uporediti sa dejstvima zemljotresa (vidi glave IV i V). Zbog toga, na osnovu sadašnjih podataka, izgleda da projektovanje protiv zemljotresa pretstavlja potrebu na verovatnim područjima ciljeva. Takav projekat trebalo bi da obuhvati bočno opterećenje od jedne desetine vertikalnog opterećenja, koje bi se moglo uporediti sa preporučenim opterećenjem od vетра u § 12.22 za višepratnu zgradu otpornu protiv vazdušnog eksplozionog udara. U vezi sa ovim, iako bi postojao izvestan vazdušni eksplozionalni udar kod podzemne eksplozije, smatra se da nije potrebno vršiti projektovanje protiv potresa zemlje i vazdušnog eksplozionog udara kao da nastaju jednovremeno. Objekte treba projektovati za uslov koji će verovatno prouzrokovati najveće oštećenje.

12.37 — Kuće van oblasti kratera treba uopšte da budu dovoljno otporne prema potresu zemlje usled podzemne eksplozije, pošto su one relativno laki objekti. Verovatno je da će nastupiti pomeranje zgrade u temeljima a u nekim slučajevima i obaranje stubova. U ovom slučaju treba primeniti isti način projektovanja kao i za otpornost protiv zemljotresa, ako se kuća nalazi do tri milje od verovatnog cilja.

12.38 — Prvenstveni uzrok oštećenja podzemnih linija javnih uređaja sastoji se u nejednakom pomeranju zemlje. Odvodni kanali, naročito oni izgrađeni od opeka, kao i velike a plitko postavljene gasne i druge cevi male otpornosti, mogu takođe da budu oštećene pritiskom od eksplozije. Prvenstveno se mora obratiti pažnja na lokalizovanje štete putem ventila za isključivanje, dvojnih sistema i zaštite protiv oštećenja na mestima gde će verovatno nastati različno pomeranje.

⁷⁾ Betonski i drveni zidovi ispunjeni zemljom (slika 12.35c) upotrebљeni su u Japanu za zaštitu od eksplozionog udara. Prvi su bili efikasniji ali su drugi, iako jako oštećeni eksplozijama atomske bombe, sprečili ozbiljno oštećenje uređaja.

12.39 — Tuneli i podzemne komunikacije biće ozbiljno oštećeni podzemnim eksplozijama ako se nalaze tačno sa spoljne strane prostorije kratera ali na većim daljinama mogli bi da budu potpuno otporni, pošto su uglavnom projektovani da izdrže velike pritiske. Preporučuje se analiza krivih vremepritisak objekata (vidi glavu V). Na mestima ispod nivoa vode može se preporučiti nabavka pokretnih pumpi za isušivanje potopljenih delova. Bilo bi takođe važno da se uzmu u razmatranje sredstva za ograničavanje plavljenja putem ustava za slučaj nužde, tamo gde se mogu primeniti.

PODVODNA EKSPLOZIJA

12.40 — U slučaju podvodne atomske eksplozije blizu obale očekuje se da će postojeća lučka postrojenja pretrpeti izvesnu štetu (§ 5.114). Dejstvo eksplozionog udara na obalske uređaje, slagališta itd. mora se zaista uzeti u obzir, ali su problemi uglavnom isti kao i za eksploziju u vazduhu.

12.41 — Specijalan bi slučaj iskrsnuo kod podvodne eksplozije koja je uspela da probije neku vodojažu. Pored štete na branama i ustavama mogla bi poplava velikih razmera da prouzrokuje veliko oštećenje industrijskih postrojenja koja se nalaze nizvodno. Pri projektovanju nasipa ili procenjivanju verovatnog oštećenja na postojećem nasipu mogu služiti kao približan putokaz teoriski proračuni u glavi IV.

ZAŠTITA OD POŽARA

12.42 — Kao što je navedeno u glavi VI požari od atomske eksplozije nastaju usled zračne topote (termičkog zračenja) i od sekundarnih dejstava kao što su preturanja peći i ložišta, kidanje gasnih cevi itd. Za smanjenje štete od požara bitne su konstrukcije otporne prema požaru i izbegavanje tkanina i drugog lakog materijala zapaljive prirode. Metodi projektovanja zgrada otpornih prema požaru i uređenje građova dobro su poznati, te nema potrebe da se takvi podaci ovde ponavljaju.⁸⁾ Specijalni zahtev pretstavlja smanjenje mogućnosti paljenja termičkim zračenjem zapaljivog, naročito crnog materijala, koji bi mogao da bude izložen na prozorima i dru-

⁸⁾ Za diskusiju o ovim i srodnim stvarima vidi »Fire and the Air War« (»Požar i vazdušni rat«) izdanje H. Bond-a, National Fire Protection Association, Boston, Mass., 1946.

gim otvorima. U vezi sa ovim preporučuje se da se svi takvi ctvori zaštite od zračenja sa svih strana. Ključna nadzemna postrojenja sa zapaljivim sadržajima trebalo bi da budu smeštena u objektima bez otvora.

12.43 — Sudeći prema iskustvu stečenom u Japanu izgleda da bi od vatre trebalo zaštiti stubove i druge čelične elemente jer je usled topote bilo očiglednog krivljenja izloženih čeličnih skeletnih konstrukcija. Dalje, pokazali su se nekorisnim uski zaštitni pojasevi protiv požara, tako da se mora imati na umu da takve prepreke protiv požara, ukoliko bi se mogle obezbediti pri planiranju gradova ili rušenjem, mora da odgovaraju zahtevima velikog požara. Predlaže se minimalna širina od 100 stopa.

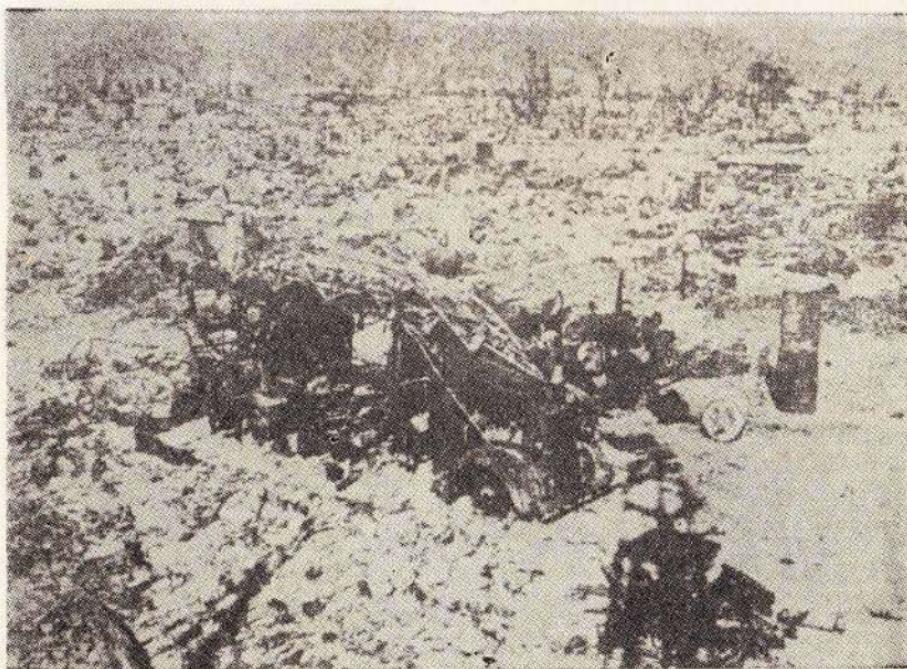
12.44 — Jedna od najvažnijih pouka iz napada atomskim bombama na Japan jeste da treba obezbediti odgovarajuće snabdevanje vodom radi gašenja požara. U Nagasakiju je pritisak vode u vreme eksplozije iznosio samo 30 funti po kvadratnom palcu a usled prekida glavnih vodova razvodnih mreža po kućama opao je pritisak uskoro na nulu. Ovaj pad pritiska vode doprineo je u znatnoj meri velikom razaranju koje je prouzrokovala vatra. Iskustvo u Hirošimi bilo je vrlo slično.

12.45 — Veliki deo pustošenja požarima u Japanu posle napada atomskim bombama pripisuje se činjenici da su bile uništene vatrogasne stanice (sl. 12.45). Izgleda da bi bilo korisno i da bi trebalo raspoređiti požarna odeljenja gradova i industrijskih postrojenja od strategiskog značaja u objektima koji su u stanju da izdrže eksplozioni udar na oko pola milje od eksplozije. Podzemna konstrukcija ili betonski zidovi debeli dve stope pružili bi ovaj stepen zaštite od eksplozionog udara.

C. OSNOVNA ZAŠTITNA SREDSTVA KONTROLNI CENTRI I CENTRI ZA PRVU POMOĆ

12.46 — Uređaji za upravljanje delatnošću za ublažavanje nesreće i pružanje prve pomoći u nekom gradu zahtevaju zaštićene prostorije na jednom od nižih spratova dobro građene zgrade, sigurne od požara, sa armiranobetonskim ili čeličnim skeletom. Da bi se izbegla opasnost opštег požara, zgrada ne treba da se nalazi između drugih zgrada koje nisu otporne protiv požara. Predviđena zaštita trebalo bi da bude takva da obezbedi odgovarajuću sigurnost protiv eksplozionog udara i

povreda od zračenja na otstojanju od oko pola milje od atomske eksplozije. Kao što je gore rečeno za ovu bi svrhu bila potrebna ukupna debljina od oko 2 stope betona, a kod zgrade od betona bi se ovo verovatno moglo postići okruživanjem



Sl. 12.45 — Srušena požarna stanica i onesposobljena oprema na 4.000 stopa od nulte tačke.

jedne prostorije dvanaestopalačnim armiranobetonskim zidom usidrenim za pod — da bi se sprečilo pomeranje, i učvršćenim ili vezanim odozgo — da bi se sprečilo preturanje.

12.47 — Radi zadovoljenja potreba jedne kontrolne prostorije i prostorije za pomoć u nekom industriskom kompleksu, može da bude potrebna specijalna konstrukcija. Kod fabričke zgrade, naprimjer tipa valjaonice čelika, gde je spoljna zaštita mala, prostorija treba da bude od 2 stope debelog armiranog betona. Pri projektovanju trebalo bi uzeti u obzir moguće opterećenje usled parčadi od ruševina, pritiska eksplozionog udara i rušećeg dejstva. Kod ramovskih konstrukcija krov prostorije treba da se projektuje za statičko opterećenje od 500 funti po kvadratnoj stopi a, sem toga, trebalo bi izbegavati

mesta gde mogu da nastupe velika opterećenja usled parčadi od ruševina. Zidovi prostorije treba da se projektuju za slično opterećenje da bi zaštitili od eksplozionog udara. Preporučuju se ugaona ojačanja sa dijagonalnim srogevima radi pružanja otpora rušecem dejstvu. Prozora ne treba da bude a izlazna vrata, kojih mora biti najmanje dvoja, treba da su konstruisana za isti pritisak kao i zidovi. Odgovarajuću pažnju treba pokloniti zahtevima ventilacije i potrebi pomoćnog osvetljenja za slučaj da snabdevanje strujom otkaže.

12.48 — Pored potrebnih mera, koje nameće iskustvo iz II Svetskog rata sa običnim eksplozivima, neophodni uređaji za kontrolu oštećenja i akcije spasavanja moraju se posebno obraditi s obzirom na neka nova dejstva atomskih oružja. Problem kontrole radiološke opasnosti zahteva brižljivije uređaje, a ova opasnost kao i veličina dejstva mehaničke štete zahtevaju da se osobita pažnja obrati mreži komunikacija, verovatnoj potrebi za duplim uređenjima, naročitim zahtevima čuvanja u skladištima, sanitetskoj službi za hitnu pomoć, postupcima evakuacije i neposrednom raščišćavanju ruševina.

SKLONIŠTA U ZGRADAMA

12.49 — Pitanje obezbeđenja skloništa u zgradama predstavlja složen problem ali je u suštini isti za atomsку kao i za TNT bombe. Ukratko se može reći da takva skloništa treba da se nalaze u zgradama sigurnim od požara, sa armiranobetonским ili čeličnim skeletom i koje su otporne prema rušenju. Izabrane prostorije treba da se nalaze na donjim spratovima i u tremovima ili u unutrašnjim delovima zgrade, pošto izgleda da ovi delovi pružaju najpogodnije mogućnosti za zaštitu. Razume se da treba izbegavati sekundarne opasnosti, kao što su one od opadanja maltera, pričvršćenih predmeta, ili usled požara.

12.50 — U pogledu detalja zaštite podaci u tablici 5.45 daće udarne pritiske koje treba očekivati na otvorenom prostoru na različnim udaljenjima od atomske eksplozije. Smanjenje u pritisku koje može da nastupi u zgradi mora uglavnom da bude procena zasnovana na faktorima kao što su količina stakla koje bi se razbilo i jačina međupregrada. Dvanaestopalačni armiranobetonski zid, dobro povezan sa građevinom, obezbedio bi, naročito kod betonske zgrade, odgovarajuću zaštitu protiv eksplozionog udara (§ 12.35) i nuklearnog

zračenja na udaljenjima preko pola milje od nulte tačke na zemlji.

12.51 — U slučaju eksplozije na površini ili pod površinom radioaktivno zatrovane čestice koje nosi prašina mogao bi vetar da rasprostre po širokom prostranstvu, te treba preduzeti mere da se udisanje praštine smanji do minimuma. Ovo bi u slučaju potrebe zahtevalo zatvaranje ventilacionog uređaja i svih prozora i vrata. Na otstojanjima od preko 12.000 stopa od nulte tačke na zemlji mnogi se prozori ne bi razbili pri atomskoj eksploziji a stanovnici bi mogli ostati u zgradama sa dovoljnom sigurnošću dok im se ne naredi da napuste zgradu. Uredaji za klimatizaciju mogli bi i dalje korisno da rade, pod pretpostavkom da ne postoji prodiranje vazduha spolja.

SKLONIŠTA IZVAN ZGRADA

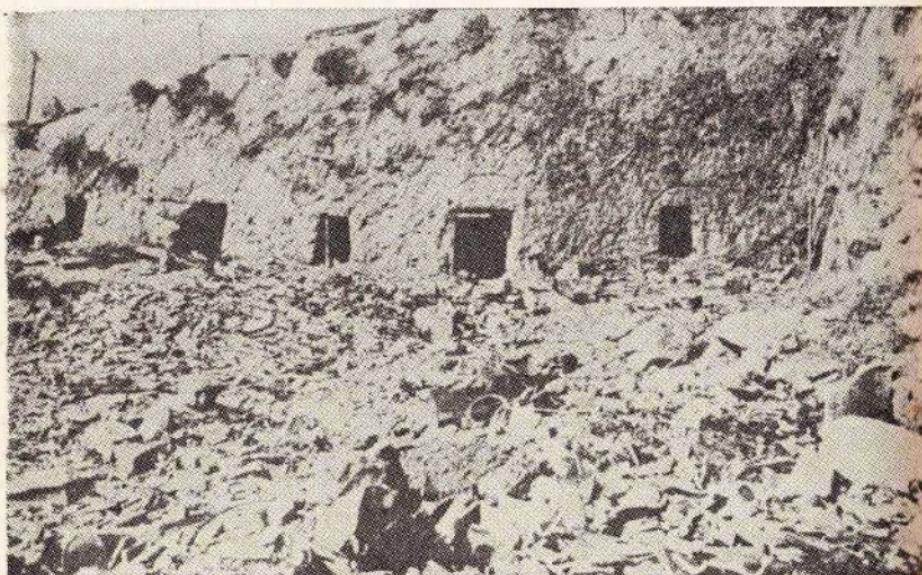
12.52 — Skloništa izvan velikih objekata treba načelno projektovati da budu otporna prema dejstvima eksplozionog udara i zračenju od atomske bombe na odgovarajućim otstojanjima, recimo pola milje. Ona treba da su na dovoljnem udaljenju od zgrada da bi se izbegla opasnost od parčadi ruševina i od požara. Ukopano ili poluukopano sklonište biće obično najbolje rešenje za zaštitu od eksplozije u vazduhu pošto će zemljin pokrivač delovati kao zaštita protiv zračenja (sl. 12.52a i b).

Pored toga, dejstva eksplozionog udara biće manja nego na nadzemno sklonište. Svakako da bi tako ukopana skloništa bila stvarno nekorisna u slučaju bliske podzemne detonacije atomske bombe.

12.53 — Opšta težnja kod projektovanja konstrukcije skloništa je da se obezbedi jačina koja će protivstati eksplozionom udaru, sa dovoljnim pokrivačem da zaštititi protiv početnih zračenja od atomske bombe. Armirani beton je dobar građevinski materijal i može da bude dovoljno jak da se suprotstavi pritiscima koji su u pitanju. Alternativu predstavlja talasasti lim koji se upotrebljava kod odvodnih kanala a koji je jak i sposoban da izdrži veliku distorziju bez popuštanja. Drvo je takođe pogodan građevinski materijal ali mu je trajnost manja. U svakom slučaju biće potreban odgovarajući sloj zemlje ili džakčića sa peskom da bi se dobila ukupna debljina koja odgovara debljinama betona od 2 stope.

12.54 — Može se pokušati da se skloništa projektuju za statičko opterećenje od 500 funti po kvadratnoj stopi sa nor-

malnim naprezanjima konstrukcije da bi se obezbedio odgovarajući faktor sigurnosti. Treba uzeti u obzir dodatno smanjenje zbog nepokretnog opterećenja usled zemljinog pokrivača itd. Isto tako trebalo bi obezbediti i odgovarajuću kanalizaciju. Preživljavanje lica u skloništima blizu nulte tačke u Japanu



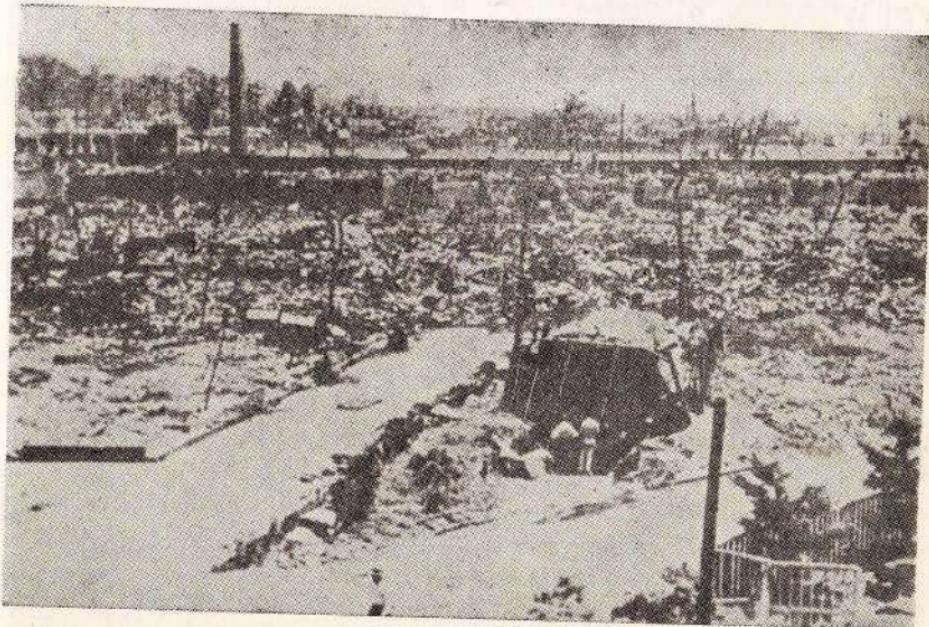
Sl. 12.52a — Tunelska skloništa u brdu blizu nulte tačke u Nagasakiju zaštitila su sklonjene osobe od eksplozionog udara, termičkog i nuklearnog zračenja.

pokazuje da vrata nisu potrebna ako neki odbojnik ili prelamanje ulaza štiti od direktnih topotnih zrakova bombe. Ulaz u vidu rampe je bolji od stepenica, a dva izlaza su neophodna.

12.55 — Mada postoji mala opasnost od radioaktivno zatrivenih čestica koje vazduh nosi posle visoke eksplozije, moglo bi se preporučiti da se skloništa grade tako da pruže zaštitu u slučaju eksplozije na površini ili pod površinom, kod kojih bi širenje zračenja kroz vazduh moglo da pretstavlja opasnost. Otuda treba posebno razmotriti problem obezbeđenja pogodne ventilacije za skloništa.

12.56 — Najefikasniji metod da se postigne odgovarajuće provetrvanje sastoji se u upotrebi instalacija kod kojih se vazduh primorava da prođe kroz specijalne vazdušne filtre

koji će otkloniti radioaktivno zatrovane čestice⁹). Praktičnost takvih krajnjih mera pretstavlja, međutim, otvoreno pitanje. Sistemi za klimatizaciju i hlađenje vazduha, kada ih ima, mogu da se ostave da rade zbog hlađenja i poboljšanja vazduha u skloništu. Vreme za koje neko postrojenje pod ovim uslovima



Sl. 12.52b — Vatrom ili eksplozionim udarom neoštećeno jednostavno sklonište od oble gradi i zemlje na 5.000 stopa od nulte tačke, mada su okolne zgrade bile razrušene. Raščišćavanje parčadi od ruševina sa puta izvršeno je pre snimanja.

može da bude nastanjeno bez dodavanja svežeg vazduha zavisće od mnogo faktora, uključujući broj ljudi koji se nalaze unutra, prenošenje toplote kroz zidove, uklanjanje ugljendioksida itd.

KUĆNA SKLONIŠTA

12.57 — Podrumi kuća, naročito ako se nalaze ispod glavne konstrukcije kuće, pružili bi dovoljnu zaštitu protiv oštećenja od eksplozionog udara, pod uslovom da nisu suviše

⁹) Filter № 6 hemiske službe dovoljan je za filtriranje velikih zaremina vazduha.

blizu centra eksplozije. Međutim mora se voditi računa da se obezbede izlazi koji će se koristiti u slučaju da se kuća zapali ili sruši. Verovatno bi bio od koristi sa spoljne strane kuće niski nasip od zemlje ili džakčića sa peskom. Poluukopana skloništa za pojedine porodice, prema tipu koji je upotrebljavan u Evropi za vreme Drugog svetskog rata za zaštitu od običnih bombi, pružila bi takođe dobru zaštitu protiv atomskih eksplozija.

ZAKLON U SLUČAJU IZNENADNOG NAPADA

12.58 — Gore izneto razmatranje o skloništima zasnovano je na prečutnoj pretpostavci da postoji blagovremeno obaveštavanje o napadu iz vazduha i da bi se ljudima omogućilo da se sklone. U slučaju iznenadne atomske eksplozije trenutna akcija mogla bi da odluči između života i smrti. Prvi znak neočekivane atomske eksplozije bilo bi iznenadno povećanje opšte osvetljenosti. Tada bi bilo neophodno da se izbegne instinkтивni nagon da se gleda u izvor ove svetlosti; naprotiv, treba učiniti sve što je moguće da se pokriju svi izloženi delovi tela.

12.59 — Ako se neka osoba nalazi na otvorenom prostoru kada nastupi iznenadno osvetljavanje onda je najbolje da se trenutno baci na zemlju i da se sklupča tako da zakloni gole mišiće, ruke, vrat i lice odećom. Mada ovo neće da zaštitи od gama zrakova, pomoći će da se smanje opeketine od topotnog bleska (§ 6.33). Ovo je važno pošto se opeketine koje onesposobljavaju mogu zadobiti na mnogo većoj udaljenosti nego što iznosi domet za gama zrake (slika 12.13). Sklupčani položaj treba zadržati bar 10 sekundi; neposredna opasnost je tada prošla, te je slobodno da se ustane i pogleda naokolo da se vidi šta bi trebalo preuzeti.

12.60 — Ako se osoba nalazi na ulici a na korak dva je neka vrsta zaklona kao vrata, čošak ili drvo onda se zaklon može uzeti sa leđima okrenutim prema svetlosti i u zgrčenom položaju da se obezbedi maksimum zaštite kao što je gore opisano. Ne treba činiti nikakav pokušaj da se dođe do skloništa ako se ono nalazi udaljeno više koraka; najbolje je tada zgrčiti se na zemlji kao na potpuno otvorenom prostoru. Najranije posle 10 sekundi može se ustati ali je veoma korisno čvrsto pritisnuti telo uz stranu neke zgrade da bi se koliko god je moguće izbeglo dejstvo polomljenog stakla i parčadi od ruševina koje padaju.

12.61 — Osoba koja se nalazi u zgradama ili kući kad nastupi iznenadni atomski napad treba da se pruži po podu leđima prema prozoru ili da otpuzi pozadi ili ispod stola, tezge itd; ovo će takođe štititi protivu komada razbijenog stakla od eksplozionog talasa. Ovaj talas može da stigne do zgrade izvesno vreme posle prolaska opasnosti od zračenja te zato treba izbegavati prozore za oko jedan minut, pošto se udarni talas produžava izvesno vreme posle eksplozije. Najsigurnija mesta u zgradama su unutrašnje pregrade te je poželjno držati se blizu ovih koliko god je moguće.

D. ZAŠTITA OD NAKNADNIH ZRAČENJA

UVOD

12.62 — Prema ranije izloženom, zaštita velikog broja ljudi od dejstva naknadnih nuklearnih zračenja, koja bi mogla da prate eksploziju atomske bombe, predstavlja potpuno novi problem za koji nema prethodnog iskustva. Posle napada na Japan produkti cepanja su bili toliko široko rasprostrati da nisu predstavljali primetnu opasnost, bar nije bilo znakova da je takva opasnost postojala. U specijalnim okolnostima, međutim, kao što su, naprimjer, podvodna eksplozija blizu obale, podzemna i površinska eksplozija ili u slučaju upotrebe oružja za vođenje radiološkog rata, treba preduzeti mere predostrožnosti protiv naknadnih zračenja. U ovom odeljku daće se opšti smer postupaka koji bi se mogli primeniti za radiološku odbranu. Usled nedostatka iskustva ovi se mogu smatrati kao pokušaj koji podleže reviziji.

12.63 — Pošto je mogućnost borbe protiv radioaktivne zatrovanosti vezana sa veličinom materijalne štete, poželjno je da se izvrši i gruba klasifikacija mogućih kombinacija koje bi se mogle pojaviti. Mogu se razlikovati tri opšta tipa:

a) *Teška fizička šteta i jaka kontaminacija.* Takvo bi stanje moglo da nastane kombinacijom eksplozije atomske bombe u vazduhu posle koje sledi ili je prati upotreba radioškog oružja. Usled neekonomičnosti takve akcije može se smatrati da ona nije mnogo verovatna, mada se ne može zanemariti. Podvodna eksplozija u pristaništu velike varoši blizu obale mogla bi da prouzrokuje teško oštećenje i kontaminaciju na ograničenoj prostoriji. U ovom slučaju radiološke mere sigurnosti mogle bi biti usporene potrebom raščišćavanja ruševina, uspostavljanjem komunikacija itd.

b) *Teška fizička šteta i slaba kontaminacija.* Ova bi nastala od onog tipa atomske eksplozije koju su pretrpele Hirošima i Nagasaki. Problem zaštite protiv radioaktivnosti u ovom slučaju ne bi bio ozbiljan. Bilo bi potrebno da grupe za otkrivanje radioaktivnosti prate radioaktivni oblak niz vетар за slučaj da na bilo kojoj određenoj prostoriji nastane znatno taloženje aktivnog materijala iz radioaktivnog oblaka. Skoro je od istog značaja da se tačno zna da ne postoji nikakva opasnost.

c) *Umerena ili mala fizička šteta i od srednje do teške kontaminacije.* Takve bi okolnosti mogle da nastanu prilikom napada kod vođenja radiološkog rata, od suvog ili vlažnog taloženja od aktivnog materijala iz radioaktivnog oblaka, od velikog talasa u podnožju vodenog stuba na nekom brodu ili na obali na izvesnom otstojanju od podvodne eksplozije ili od »fizzle« eksplozije atomske bombe. Radioaktivna zaštita bila bi od najvećeg značaja i, da bi se ovo stanje moglo dočekati, organizacija radiološke odbrane mora da bude naročito pripremljena.

FAZE UDESA

12.64. — Razmatrajući praktična pitanja radiološke opasnosti može se prepostaviti da će biti tri faze udesa čije će trajanje i oštrina zavisiti od ranije opisanih okolnosti. Faze su sledeće:

- Potpuna dezorganizacija.* U slučaju teškog i obimnog fizičkog oštećenja može se prepostaviti da će putevi biti blokirani na izvesnom udaljenju od eksplozije i da će biti neupotrebljivi celokupni normalni sistemi veza. Nužni prevoz i veza, izuzev možda radiostanice sa vlastitim pogonom, neće odmah funkcisati.
- Prve mere spasavanja.* Ova će faza početi čim se raščiste granični putevi i ponovo uspostave, bar za hitne potrebe, prevoz i veze, tako da se mogu preneti obaveštenja do komandnog mesta. U slučaju umerenog fizičkog udesa (§ 12.63c) faza prvih mera spasavanja počeće odmah i može trajati nedelju dana ili više.
- Obnova.* Završna faza bi se postigla kada se većina ljudi bude nalazila van neposredne opasnosti od povrede, te ima vremena da se počnu temeljniji radova na uklanjanju zatrovanosti tamo gde je to potrebno (glava X).

12.65 — Važan faktor u radu radiološke odbrane u stadiju preuzimanja prvih mera spasavanja pretstavlja brzo prikupljanje podataka o zatrovaniosti. Zračenja na koja se može naići jesu gama zraci i beta čestice od produkata cepanja, aktivnost koju su proizveli neutroni ili drugi radioaktivni materijali i alfa čestice iz plutonijuma ili uranijuma. Od ovih može se gama zračenje meriti skoro odmah; ono pretstavlja možda najveću neposrednu opasnost zbog svoje znatne prodorne snage. Beta čestice kao takve ne pretstavljaju ozbiljnu opasnost doklegod izvor ne uđe u organizam ili ostane na koži za izvesno vreme.

12.66 — Otkrivanje gama zračenja zatrovanih područja na koja se sumnja treba da se izvede što pre, ako je moguće odmah posle atomske eksplozije kod koje je verovatno da je proizvedena takva zatrovanošt. U početku ovo se može izvršiti čak i pomoću nisko letećeg aviona. Iz doze gama zračenja merene na poznatoj visini iznad zemlje biće moguće da se dobije približan podatak o površini i intenzitetu zatrovanošt (vidi sliku 8.35). Međutim otkrivanje gama zračenja na zemlji pomoću prenosnih instrumenata biće potrebno čim se ukaže prva mogućnost. Otkrivanje beta zračenja biće uglavnom pomoćno merenje koje se vrši u kasnijim stadijima pošto je prošao neposredni kritični moment.

12.67 — U glavi XI bilo je istaknuto da se može zanemariti opasnost od alfa čestica iz plutonijuma ili uranijuma ali je moguće da postoji opasnost od spoljnog beta i gama zračenja. Ovo je sreća jer merenje alfa zatrovanošt pretstavlja mučan i dugotrajan proces. Otkrivanje površinske zatrovanošt od nekog izvora alfa čestica zahteva da se instrument drži vrlo blizu površine za koju se smatra da je zatrovana zbog kratkog dometa čestica. U svakom slučaju, merenje prenosnim instrumentima bi bilo veoma teško u slučaju visokih koncentracija beta i gama aktivnosti.

12.68 — Pošto specifična opasnost od alfa čestica neće iskrsnuti za nekoliko nedelja, traženje materijala koji emituju alfa čestice verovatno se najbolje izvodi uzimanjem primeraka radi ispitivanja u laboratoriji. Količina alfa aktivnog materijala koji lebdi u vazduhu može se dovoljno tačno proceniti samo prikupljanjem aktivnog materijala iz velike količine vazduha i merenjem aktivnosti taloga na filtru, koristeći odgovarajuću napravu za filtriranje (sl. 9.24b).

DOZVOLJENI NIVOI ZRAČENJA

12.69 — Vrlo je teško tačno odgovoriti na pitanje veličine izloženosti zaostalom nuklearnom zračenju koja se dozvoljava za kontrolno osoblje i ljudstvo za spasavanje, jer će dobrom delom zavisiti od okolnosti i rizika koji se neizbežno mora primiti. U početnoj fazi dezorganizacije, kada je radioaktivnost takođe najintenzivnija, za ljudstvo koje radi na spasavanju biće važno da izbegava suvišno izlaganje zračenju, izuzev tamo gde je to potrebno radi izvršenja zadatka najveće važnosti.

12.70 — U vezi sa ovim, međutim, može se primetiti da zbog brzog početnog raspadanja produkata cepanja osoba koja je izložena zračenju od ove mešavine u toku prvog časa posle eksplozije neće pretrpeti nikakvu dalju znatnu povredu ako bude ostala više časova. Ovakvo stanje moglo bi da iskrise usled neposrednog taloženja aktivnog materijala iz radioaktivnog oblaka od podzemne ili podvodne eksplozije.

12.71 — Za vreme faze prvih mera spasavanja organizacija radiološke odbrane treba da bude potpuno spremna za rad. Kao što je gore naznačeno, procene zatrovanosti zasnivaće se uglavnom na merenju gama aktivnosti. Treba učiniti sve što se može da se umanji doza koju prima stanovništvo uopšte. Ako je zatrovanost nastala usled produkata cepanja, stvarna će vrednost biti nešto veća na početku a niža na kraju perioda.

12.72 — U stadiju obnove glavni bi zadatak bio da se postigne što je moguće efikasnije uklanjanje zatrovanosti, tako da se opšti nivo zatrovanosti smanji na nivo koji je dozvoljen za radnike koji stalno rade sa radioaktivnim materijalom, tj. 0,3 rendgena nedeljno (§ 8.4). Mada ne postoji potpuna podudarnost po ovom predmetu usled nedovoljnog znanja u tom pravcu, može se smatrati da podaci dati u tablici 12.72 pokazuju nekoliko približnih dozvoljenih nivoa zatrovanosti za slučaj

TABLICA 12.72

Dozvoljena zatrovanost

Zatrovani materijal	Produkti cepanja	Materijal koji emituje alfa čestice
Vazduh	2×10^{-10} mikrokirija/cm ³	$2,5 \times 10^{-11}$ mikrograma/cm ³
Voda	4×10^{-6} mikrokirija/cm ³	2×10^{-5} mikrograma/cm ³

stalne izloženosti. Pretpostavljeno je da plutonijum emituje alfa čestice pošto je on izgleda najopasniji od svih koji će se verovatno susresti.

12.73 — Trebalo bi imati na umu da se brojevi dati u tablici odnose na dozvoljene nivoe za ljudstvo koje je izloženo svakodnevnom zračenju, kao posledica njihovog mirnodopskog zanimanja.

12.74 — Što se tiče opasnosti unutrašnjeg zračenja nije moguće izvršiti neku valjanu procenu o količini materijala koja će verovatno ući u telo pod različnim okolnostima. Naprimjer, osoba koja radi pod normalnim uslovima u zatrovanoj prostoriji, apsorbovala bi mnogo manje nego druga zaposlena tamo gde ima mnogo prašine. Deca, zbog njihovih navika da budu blizu zemlje, unela bi više materijala u telo nego odrasli. Ovi bi činioći uveliko komplikovali program obnove i učinili bi skoro nemogućim pokušaj procene opštih dozvoljenih nivoa zatrovanosti.

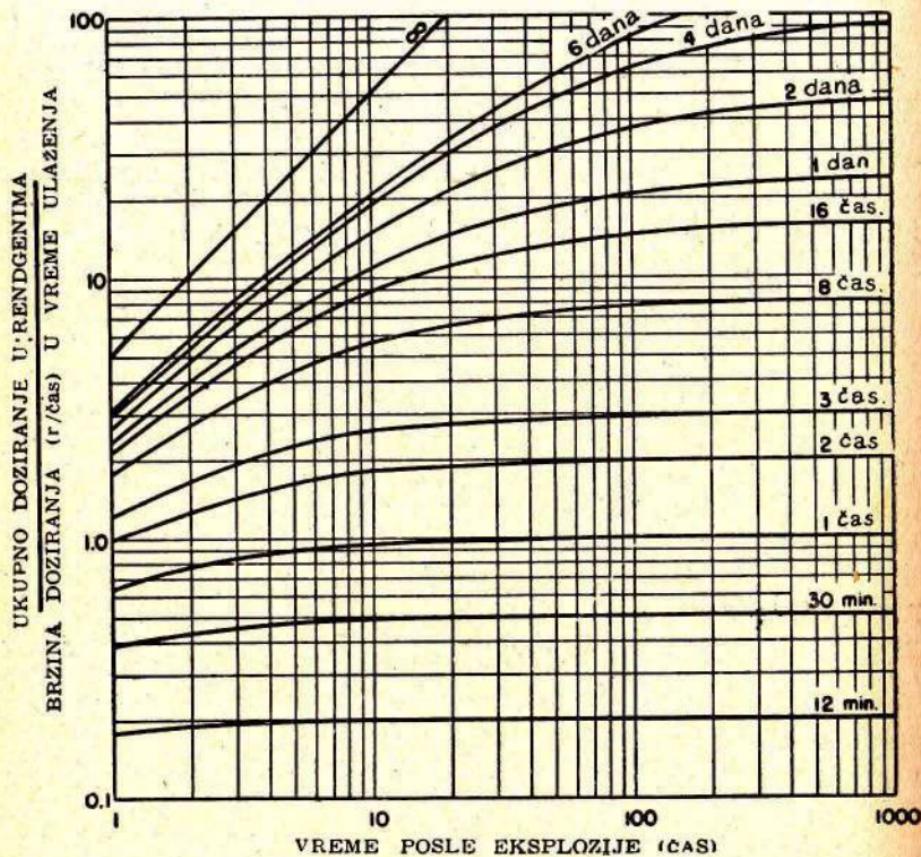
OPREMA ZA OTKRIVANJE

12.75 — Svi radnici koji rade na spasavanju, bez obzira kakve su njihove dužnosti, i koji se upućuju na prostorije zatrovane beta ili gama zračenjem trebalo bi da budu snabdeveni ili da ih neposredno prate instrumenti za otkrivanje (vidi glavu IX). U fazi dezorganizacije i bar delom za vreme faze prvih mera spasavanja ovi instrumenti treba da budu tipa džepnog dozimetra koji sam pokazuje čitanje. Postoje instrumenti različnih ukupnih polja čitanja u rendgenima, te bi bilo potrebno da se koriste određene skale pogodne za rad koji se preduzima. Mora se osigurati potreban materijal za ponovno punjenje dozimetra posle svakog perioda upotrebe, jer bi on inače bio bez vrednosti.

12.76 — Broj instrumenata sa automatskim čitanjem bio bi verovatno ograničen zbog njihove visoke cene, tako da bi se za grupu koja radi u velikoj blizini izvora zatrovanosti mogao obezbediti samo jedan. Poboljšanjem transporta, veze i rukovođenja mogu se upotrebiti džepne komore koje se čitaju pomoću elektrometra. Kombinovani uredaj za punjenje i čitanje može se nalaziti na kolima za spasavanje ili drugom sličnom vozilu. Filmska traka je najprostiji i najjeftiniji od izuma za upozorenje ljudstva, ali njen slaba strana leži, kao što je izneseno u glavi IX, u činjenici da je za čitanje, razvijanje i tumačenje filmova potrebno vreme. Ova nezgoda bi se

mogla savladati upotrebatim pokretne fotografiske laboratorije sa relativno jednostavnom opremom.

12.77 — Izvesna indikacija o vremenu koje radnici ekipa za spasavanje mogu da provedu na jednom određenom mestu na zatrovanoj prostoriji može se dobiti iz slike 12.77¹⁰⁾), koja daje ukupno akumulirano doziranje za različno vreme prove-



Sl. 12.77 — Utvrđivanje ukupne doze zračenja primenjene na zatrovanoj prostoriji.

deno na zatrovanoj prostoriji podeljeno brzinom doziranja u vreme ulaska. Čitanjem brzine doziranja u rendgenima na čas

¹⁰⁾ Razlika između slike 12.77 i slike 10.21a i b leži u činjenici što prva zahteva da se merenje brzine doziranja izvrši u vreme kada rad na prostoriji počne; za druge, pak, merenja se mogu vršiti u bilo koje vreme.

u vreme dolaska na zatrovanoj prostoriju može da se odredi ukupno doziranje postignuto za vreme bilo koga kasnijeg intervala. Naprimer, ako neko lice dođe na prostoriju 1,5 čas posle eksplozije a brzina doziranja iznosi 15 rendgena na čas, onda, ako ono ostane 2 časa, ukupno doziranje pretstavljaće ordinata, koja odgovara apscisi od 1,5 časa i parametru 2 časa, pomnožena sa 15, tj. $1,2 \times 15 = 18$ rendgena.

12.78 — Instrumenti za ispitivanje (vidi glavu IX), koje nose grupe koje rade za vreme prve dve faze, treba da budu tipa za ispitivanje prostorije za gama zračenje. Oni treba da budu u stanju da mere bar 5 rendgena na čas a izvestan broj mora biti u stanju da reaguje na beta kao i na gama zračenje, što će se od njih i tražiti u kasnijim stadijima. Alfa-beta-gama brojači za ispitivanje, koji mere do 25 rendgena na čas, biće korisni u stadiju prvih mera spasavanja ako se ne bude imalo dovoljno beta-gama merača za ispitivanje. Međutim, prema prethodno iznetom, važno je da se ne gubi vreme u ispitivanju alfa zračenja u početnim stadijima. Ovaj rad treba ostaviti za mnogo kasnije i najbolje se izvodi u laboratoriji. Tamo gde se preduzima otkrivanje iz vazduha i gde se vrše merenja na izvesnoj visini nad zemljom, bili bi potrebni osjetljivi merači za gama zrake.

ZAŠTITNO ODELO

12.79 — Ljudstvo koje ulazi u zatrovanoj prostoriju bilo da vrši otkrivanje ili drugi hitan rad, treba da nosi izvesnu vrstu zaštitnog odela. Obično odelo je stvarno dovoljna zaštita protiv alfa i beta zračenja, ali pošto će se verovatno zatrovati to se mera uništiti. Zbog toga je bolje da se koriste relativno jeftini ogrtači koji se nose preko odela. Ovi se mogu prati, ako nisu suviše jako zatrovani, ili baciti. Košulje napravljene od tkanine ili plastike, koje štite veliki deo odela ali nisu toliko efikasne kao ogrtači, imaće izvesnu vrednost. Gumena odela kao opšte pravilo neće biti potrebna za rad u zatrovanoj prostoriji. Ali ako postoji bilo koja mogućnost da će se odelo ovlažiti, bilo pri uklanjanju zatrovosti pranjem ili na koji drugi način, treba da se obezbede takva odela, koja pokrivaju celo telo (vidi sl. 10.39). Ona se mogu čistiti vodom i upotrebiti više puta.

12.80 — U zatrovanoj prostoriji trebalo bi uvek nositi čizme od impregniranog platna koje se navlače preko cipela. Krajeve nogavica od pantalona trebalo bi vezati preko spoljne

strane čizama. Takođe bi trebalo da se obezbedi neka vrsta rukavica. Obične pamučne rukavice pružiće dobru zaštitu u većini slučajeva mada u izvesnim slučajevima mogu da budu bolje gumene rukavice. Tvrde kožne rukavice treba da se koriste kad pretstoji grub rad kao naprimer raščišćavanje ruševina. Za sve vreme treba da se nosi izvesna vrsta kape koja čvrsto prijanja, najbolje onakva kao što upotrebljavaju hirurzi, a koja pokriva kosu što je moguće potpunije.

12.81 — Verovatno će se nalaziti u vazduhu uskoro posle atomske eksplozije velika količina prašine naročito u oblastima gde je nastalo znatno razaranje. Prema iznetom u § 12.55 praktično ne postoji nikakva opasnost da se ova prašina zatrue posle visoke eksplozije u vazduhu. Međutim druge vrste prenošenja mogu da prošire radioaktivnost na zemlji. Prema tome svi članovi grupa za spasavanje koji dolaze na zatrovanu prostoriju treba da nose respiratore. Maske koje pokrivaju nos i usta, prema usvojenom tipu za zaštitu protiv sredstava hemiskog rata, zadovoljavaju u sprečavanju udisanja čestica prašine. Tamo gde je količina prašine vrlo velika moglo bi da bude potrebno da se koristi respiratorska kapuljača koja će pružiti potpunu zaštitu glave.

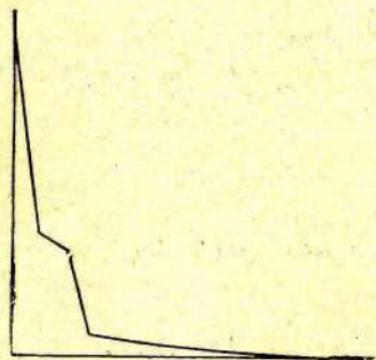
E. ZAKLJUČAK

12.82 — Iz izloženog materijala u ovoj glavi očigledno je da će odgovarajuća zaštita protiv dejstva napada atomskom bombom zahtevati vrlo široko i detaljno planiranje. Takvo će planiranje biti potrebno da se izbegne panika, jer hysterija mase može da pretvori mali događaj u veliku katastrofu. Ova knjiga imala je za cilj da pruži osnovna naučna i tehnička obaveštenja koja će omogućiti da se izrade potrebni planovi za postupanje pri novim i neobičnim okolnostima koje bi iskrsle kao posledica eksplozije atomske bombe. Organizacija, pripreme i tehnika projektovanja u vezi sa ovim okolnostima obuhvataju razmatranja koja prelaze okvir ove knjige. Njihova tačna priroda zavisi od mnogo faktora koji se moraju proceniti sa nacionalnog gledišta, a njihova primena razlikovaće se prema obliku regionalnog i društvenog razvoja.

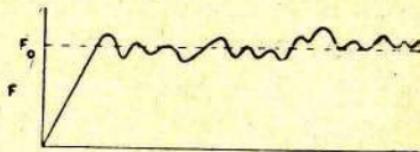
DODATAK A¹

PRIBLIŽNA METODA SRAČUNAVANJA DEFORMACIJE POSTROJENJA EKSPLOZIONIM TALASOM

A.1 — Metoda koja će se opisati primenljiva je u slučaju kada je veličina sile koju stvara eksplozioni udar velika u odnosu na statičku jačinu postrojenja. Prepostavimo da je analiza difrakcije eksplozionog talasa usled postrojenja izvršena prema približnim metodama datim u glavi V i da rezultujuća sila kao celina, podeljena površinom prednje strane, može da se pretstavi ekvivalentnom krivom pritisak-vreme prema slici



Sl. A. 1a — Kriva pritisak-vreme za silu koja deluje na postrojenje.



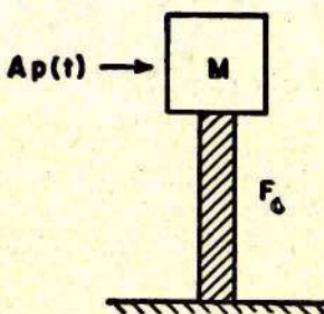
Sl. A. 1b — Popuštanje postrojenja preko granice elastičnosti.

A.1a. Otpor postrojenja jednostavnog oblika prema takvoj krivoj pritisak-vreme najpre će porasti dok se ne pređe granica elastičnosti, posle koje će nastati progresivno popuštanje na način koji nije dobro utvrđen ali bi približno mogao da bude kao što je prepostavljen na slici A.1b. Ako se prepostavi da su apsorpcija energije i ugib za vreme faze elastičnog opterećenja mali u poređenju sa ugibom i apsorpcijom energije

¹⁾ Od C. W. Lampson-a i S. B. Smith-a.

za vreme plastične faze, onda se može pretpostaviti da je prosečan otpor za vreme deformacije uglavnom konstantan i jednak F_0 , koji pretstavlja ukupnu bočnu силу koja upravo prouzrokuje popuštanje.

A.2 — Ako je postrojenje koje se razmatra jednostavno i jednospratno, kao što se može susresti u nekoj fabriči ili sličnoj zgradbi, onda se kao prva aproksimacija njegovog ponašanja kao celine, zanemarujući pojedinačna popuštanja, može pretstaviti modelom koji se sastoji od jedne koncentrisane



Sl. A. 2 — Masa postavljena na plastičnu oprugu koja je ekvivalentna jednospratnom postrojenju.

mase poduprte na plastičnoj opruzi kao na slici A.2. Ako plastična opruga ima otpornu силу nezavisnu od ugiba i veličine opterećenja, jednačina kretanja postrojenja može se napisati:

$$M \frac{d^2x}{dt^2} + F_0 = Ap(t), \dots \quad (\text{A. 2. 1})$$

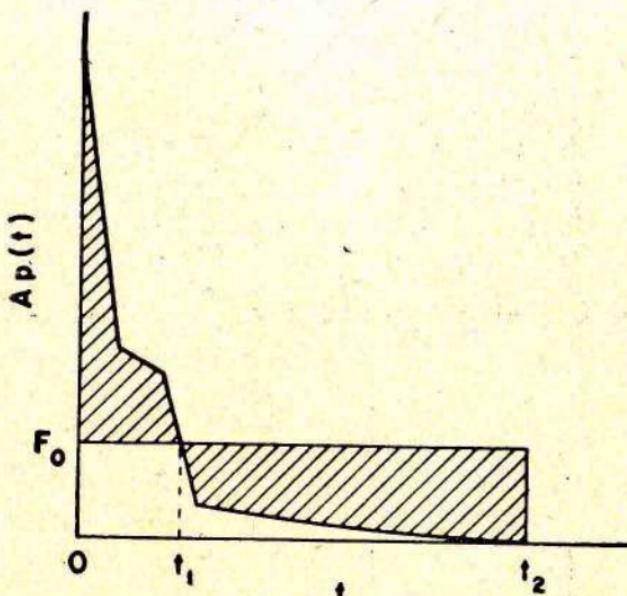
gde je M masa postrojenja, tj. w/g, F_0 otporna sila postrojenja, x deformacija centra mase, A površina prednje strane, a $p(t)$ efektivni eksplozioni pritisak koji deluje na postrojenje kao funkcija vremena.

A.3 — Prvi integral jednačine je:

$$v = \frac{1}{M} \int_0^t [Ap(t) - F_0] dt. \dots \quad (\text{A. 3. 1})$$

Ova jednačina koja daje brzinu v kao funkciju vremena može da se integrira grafički ako se konstantna otporna sila F_0 nanesi na krivu sila-vreme pokazanu na slici A.3. Postrojenje

prima impuls u vremenu od 0 do t_1 , a impuls se tada rasporiđuje za vreme od t_1 do t_2 , tako da u vreme t_2 postrojenje miruje. Šrafirana površina iznad linije F_0 između 0 i t_1 jednaka je površini ispod linijske između t_1 i t_2 , tako da su pozitivan i negativan impuls jednaki.



Sl. A. 3 — Sila koja deluje na postrojenje kao funkcija vremena.

A.4 — Brzina u vreme t_1 je tada jednaka:

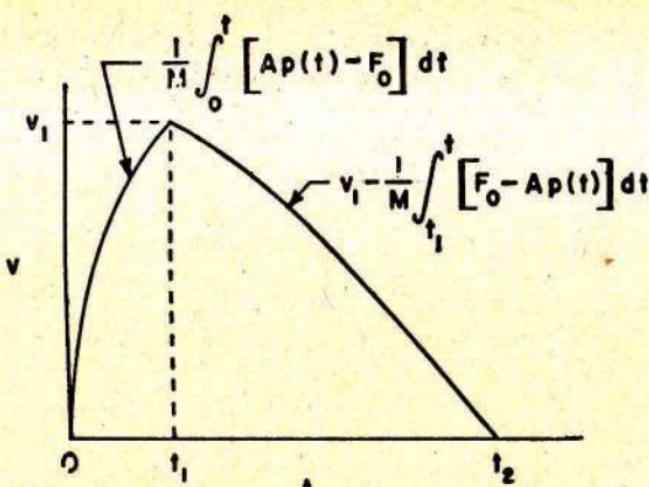
$$v_1 = \frac{1}{M} \int_0^{t_1} [Ap(t) - F_0] dt, \dots \quad (\text{A. 4. 1})$$

koja je proporcionalna površini ispod krive između 0 i t_1 . Brzina posle vremena t_1 iznosiće:

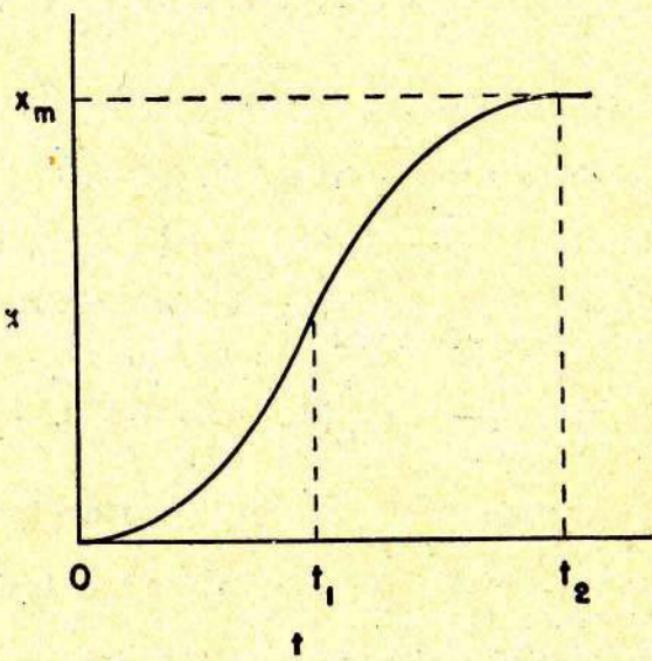
$$v = v_1 - \frac{1}{M} \int_{t_1}^t [F_0 - Ap(t)] dt. \dots \quad (\text{A. 4. 2})$$

Grafičko integriranje veličine $\frac{1}{M} [Ap(t) - F_0]$ kao funkcije vremena imaće kao rezultat dijagram brzine kao funkciju vremena slično slici A.4.

A.5 — Grafičko integrisanje brzine kao funkcije vremena daće pomeranje središta mase postrojenja kao na slici



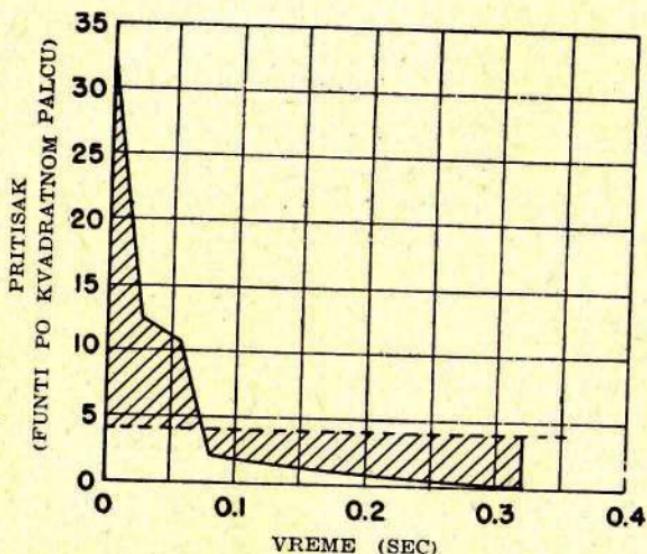
Sl. A. 4 — Brzina postrojenja kao funkcija vremena.



Sl. A. 5 — Pomeranje centra mase kao funkcije vremena.

A.5. Maksimalna vrednost pomeranja x_m pretstavljaće onu veličinu koja pokazuje deformaciju, a prema tome i stepen štete koju postrojenje pretrpi.

A.6 — Ovaj opšti metod primenjuje se na zgradu sa spoljnim dimenzijama prema izloženom u glavi V, ali na nešto povećanom udaljenju, tako da kriva pritisak-vreme izgleda kao što je prikazana na slici A.6. Karakteristike zgrade su sledeće:
 Dimenzije 75 stopa \times 75 stopa
 Visina 38 stopa
 Skelet admirani beton
 Konstrukcija otporna prema zemljotresu za 10% vertikalnog opterećenja
 Težina 2,100.000 funti



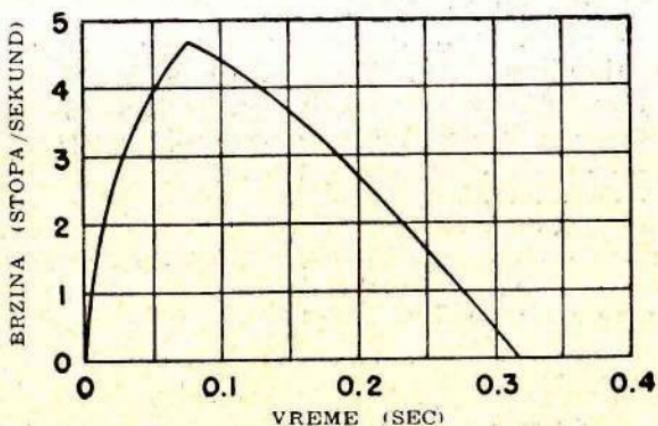
Sl. A. 6 — Pritisak na postrojenja kao funkcija vremena.

Otporna sila takvog postrojenja uzima se da je konstantna i prema grubom probnom proračunu ceni se da iznosi 1,640.000 funti, što pretstavlja približno 4 funte na kvadratni palac prednje površine.

A.7 — Pretpostavljena konstantna sila otpora prikazana je na slici A.6 na odgovarajućoj ordinati, a grafičko integriranje daje količinu kretanja postrojenja po jedinici prednje površine. Ove vrednosti količine kretanja podeljene su masom postrojenja po jedinici prednje površine, tj. 0,16 Slaga*) po

*) Slag je masa od 32,2 funte, koja pod dejstvom sile od jedne funte dobija ubrzanje od 1 stope/sec². — Prim. red.

kvadratnom palcu, dajući brzinu središta mase postrojenja u stopama na sekundu prema slici A.7.

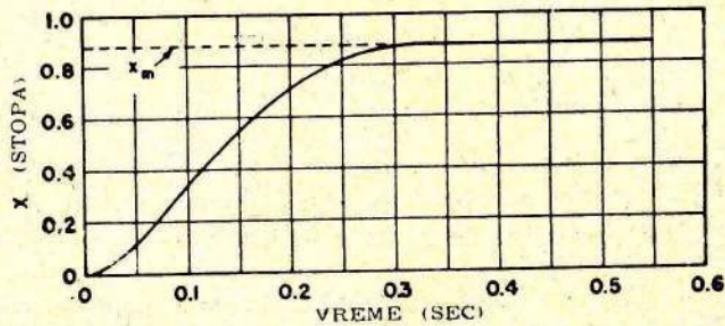


Sl. A. 7 — Brzina težišta kao funkcija vremena.

A. 8 — Grafička integracija brzine na slici A. 7 daće pomeranje težišta postrojenja pošto je:

$$x_m = \int_0^{t^2} v dt \dots \dots \dots \quad (\text{A. 8. 1})$$

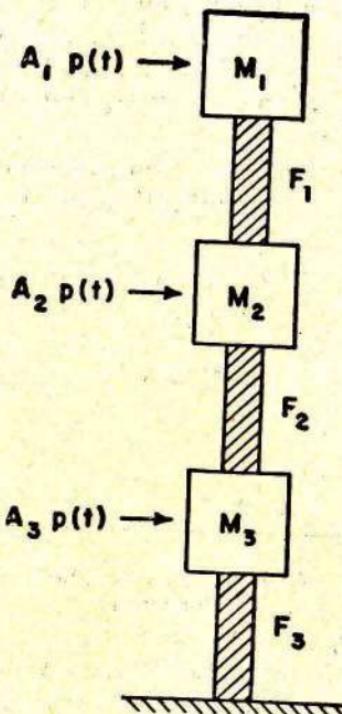
Maksimalna vrednost pomeranja x_m težišta zgrade nađeno je da iznosi 0,88 stopa (slika A.8). Ako bi se težište nalazilo u centru zgrade onda bi pomeranje na vrhu iznosilo približno 1,76



Sl. A. 8 — Pomeranje centra mase kao funkcije vremena.

stopa. Ovaj grubi proračun ima ograničenu praktičnu vrednost ali pretstavlja ilustraciju metoda obuhvaćenih u analizi modela u plastičnom domenu.

A.9 — Precizniji postupak koji se može primeniti na složenje postrojenje, kao što je višespratna zgrada, pretstavljaljalo bi razmatranje datih dinamičkih opterećenja koja deluju na nivoima spratova i masa koncentrisanih u istim tačkama. Sile koje se suprotstavljaju smicanju na svakom spratu proračunavale bi se izrazima relativnog pomeranja gornjeg i donjeg sprata. Postrojenje se tada pretstavlja modelom prema slici A.9 gde su M_1 , M_2 i M_3 koncentrisane mase na svakom spratu a F_1 , F_2 i F_3 konstantni otpori u domenima plastičnosti koji de-



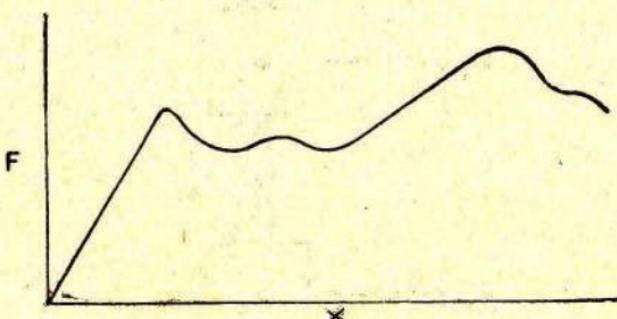
Sl. A. 9 — Mase poduprte plastičnim oprugama ekvivalentne višespratnom postrojenju.

luju između svakog sprata. $A_1 p(t)$, $A_2 p(t)$ i $A_3 p(t)$ predstavljaju odgovarajuće sile opterećenja od eksplozionog udara koje deluju na svaki sprat.

A.10 — Takav model zahteva složeniju grupu zavisnih koeficijenata kao što se vidi iz pregleda slike A.9 jer, naprimjer, na kretanje mase M_2 utiče kretanje mase M_1 i M_3 kao i sile otpora F_1 i F_2 i vrednost $A_2 p(t)$, koja predstavlja direktnu

silu koja deluje na masu M_2 . Sile koje se suprotstavljaju smicanju na svakom spratu mogu se sračunati izrazima relativnog pomeranja gornjeg i donjeg sprata. Ako bi se za prvu aproksimaciju takve sile otpora mogle smatrati kao otpori plastičnog popuštanja konstantne vrednosti, onda bi bilo moguće da se grubo proračuna ponašanje svakog sprata. Gornji sprat težio bi u svakom slučaju da se pomeri brže ili sporije od sprata koji se nalazi neposredno ispod njega, pa bi ubrzao ili usporio kretanje nižeg sprata i obratno. Videće se da će na ponašanje svakog nezavisno posmatranog dela zgrade uticati ponašanje dela ispod ili iznad njega. Posle prve aproksimacije opšte ponašanje bilo bi jasno. Kod dobro konstruisane zgrade verovatno je da će relativno pomeranje svakog sprata biti iste veličine.

A.11 — Konstantnost silâ otpora pretstavlja doduše samo prvu aproksimaciju ka stvarnoj sili koja može da bude složena



Sl. A. 11 — Sila koja deluje na višespratno postrojenje kao funkcija pomeranja.

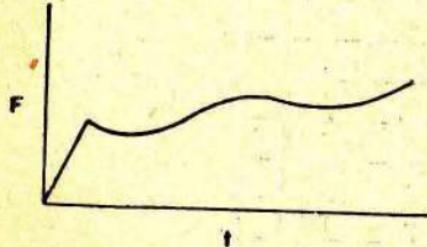
funkcija pomeranja, kao što je prikazano na slici A.11. U ovom slučaju je rešenje problema jedne mase i sile otpora složenije, pošto jednačina koju treba rešiti glasi:

$$M \frac{d^2x}{dt^2} + F(x) = F(t). \dots \quad (A. 11. 1)$$

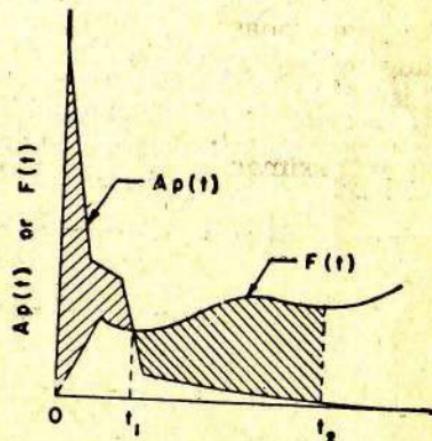
Jednačina ove vrste može da se reši neposrednim ali teškim metodama numeričkog integriranja koje daju ugib kao funkciju vremena. Rešenje jednačine može se pokušati na drugi način uzimajući da je vrednost $F(x)$ konstantna pa se dobija ugib, grafičkim metodama, kao funkcija vremena. Ovo se rešenje može primeniti na $F(x)$ da se dobije prva aproksima-

cija vrednosti $F(t)$. Da bi se dobilo bolje rešenje ovaj se postupak može ponoviti, pod uslovom da su funkcije takvog oblika da postupak učine konvergentnim.

A.12 — Rešenje se može izvesti na isti način kao što je gore pokazano, izuzev što F nije više konstanta, već bi mogla da bude donekle slična slici A.12a. U ovom bi slučaju superpozicija krive $A_p(t)$ kao funkcija vremena (sl. A.12b) omogućila grafičko integriranje razlika između funkcija. Ovo bi dalo količinu kretanja kao funkciju vremena, te bi tako omogućilo da se maksimalni ugib sračuna na isti način kao i pre.



Sl. A. 12a — Sila kao funkcija vremena.



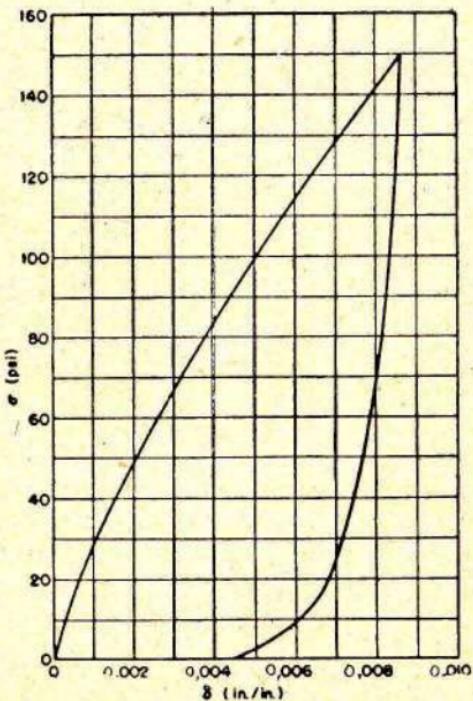
Sl. A. 12b — Pritisak i sila kao funkcija vremena.

DODATAK B¹

PODZEMNE EKSPLOZIJE

ŠIRENJE TALASA PRITiska OD EKSPLOZIJE

B.1 — U blizini gasnog mehura visokog pritiska (§ 4.86) zemlja deluje kao nelinearna plastična sredina. Ovo znači da Hukov zakon proporcionalnosti između istezanja i napona ne važi i da postoji složeniji odnos između napona i istezanja. Ova karakteristika zemlje kao sredine za prenošenje talasa

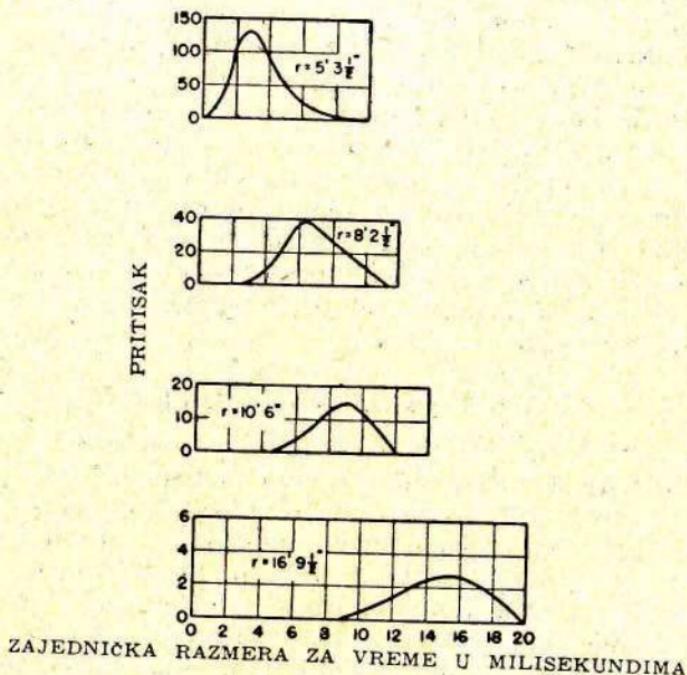


Sl. B. 1 — Eksperimentalne dinamičke krive napon-istezanja za slobodnu zemlju (glinovito zemljишte).

¹⁾ Od C. W. Lampson-a.

pritiska prikazana je na slici B.1 koja pokazuje eksperimentalno dobijenu dinamičku krivu istezanje-napon za neku vrstu muljevito-glinastog zemljišta u Oklahomi.

B.2.— Čisto dejstvo plastičnog ponašanja sredine treba da prouzrokuje izrazitu distorziju talasa ukoliko se dalje on širi od eksplozije (vidi sl. B.2). Iz teorije širenja talasa u čvr-



Sl. B. 2 — Krive pritisak-vreme na različnim udaljenjima od punjenja od 64 funte TNT u zemlji.

stim sredinama, poznato je da je brzina priraštaja razlike pritiska proporcionalna kvadratnom korenu nagiba položaja koju bi ona zauzela na krivoj istezanje-napon. Odatle se može odmah videti pregledom slike B.1 da će brzina vrha talasa biti manja od brzine početnog dela talasa. Veći nagib opadajućih delova krive istezanje-napon, izuzev na vrlo niskim pritiscima, pokazuje da zadnji deo talasa ima veću brzinu od čela.

B.3 — Posledica ovih osobina krive istezanje-napon je da talas trpi stalnu promenu oblika kako na zadnjem delu tako i na čelu. Vrh je istovremeno usporen u odnosu na čelo talasa i progutan bržim razređujućim delom koji ga prati. Mala br-

zina kraja talasa ima za posledicu opšte širenje talasa u prostoru i vremenu, pored drugih promena.

B.4 — Kada radijalni talasi pritisaka od ukopanog punjenja stignu na površinu zemlje oni se odbijaju sa promenom faze. U praksi talas se širi po vremenu i prostoru tako da je odbijanje progresivno a odbijeni se deo oduzima od talasa kompresije ispod njega, tako da proizvodi povećano slabljenje pritiska blizu površine sa udaljenošću, pre nego čisti upadni i odbijeni talas. Granični uslovi na površini zahtevaju postojanje pomoćne grupe površinskih talasa od kojih su Rayleigh-evi (Relejevi) talasi specijalan slučaj. Ovi se talasi kreću manjom brzinom i sa manjim slabljenjem nego direktni kompresivni talasi i oni su uzrok za većinu površinskih dejstava na velikim udaljenostima od eksplozije. Veličina ovih dejstava od eksploziva normalnih količina dosta je mala, tako da je njihovo poнаšanje u pogledu izazivanja štete samo od teoriskog značaja. Ovo, međutim, više ne važi kada se razmatraju eksplozije veličine atomske bombe.

UTICAJ KARAKTERISTIKA ZEMLJIŠTA

B.5 — Na veličinu prenesenog talasa pritiska od eksplozivnog punjenja uveliko utiču osobine zemljišta kroz koje talas prolazi. Izvesna zemljišta, kao što je vlažna glina, vrlo su dobri provodnici pritiska, dok su druga zemljišta, kao što je peskovita glina i les, vrlo slabi u ovom pogledu. Odnos prenosivosti između dva ekstrema može da iznosi od 100 do 1. Ovaj široki odnos ne znači da se poluprečnici štete od eksplozivnih punjenja u zemlji nalaze u ovim razmerama. Kao što će se kasnije videti, ovi će poluprečnici imati maksimalan odnos od približno 2:1 ili 3:1. Prenosivost zemljišta kvantitativno se izražava brojem koji se zove zemljišna konstanta k , koja se nalazi u grubom uzajamnom odnosu sa početnim nagibom krive istezanja-napon. Ista se obično zove početni *modulo elastičnosti*, premda je materijal pre plastičan nego elastičan. Veličina drugih pojava u sredini, kao što je brzina čestica, ubrzanje, prolazno pomeranje i impuls, pokazali su se proporcionalnim nekoj funkciji ove zemljišne konstante, koja postaje time veličina koja najbolje objašnjava osobine zemljišta za rasprostiranje talasa.

B.6 — U odnosu na sliku B.1 koja pretstavlja krivu istezanje-napon za neko određeno zemljište moguće je uočiti dve činjenice, koje se lako mogu potvrditi opitim. To su: 1) ograničena površina zahvaćena krivom istezanje-napon pokazuje

da se znatna energija rasipa na jedinicu zapremine materijala tako da talasi moraju vrlo brzo da oslabe, i 2) pomerena tačka preseka opadajuće krive sa apscisom grafikona ukazuje da sredina ostaje pod stalnim istezanjem ili pomerena po prolasku talasa. Kada bi materijal bio elastičan najveći bi se pritisak smanjio sa recipročnom vrednošću udaljenja. Putem opita nađeno je da u zemlji blizu punjenja stalno pomeranje i najveći pritisak opadaju po veličini približno kao recipročna vrednost trećeg stepena udaljenja od punjenja, pokazujući da je stepen rasipanja energije u zemlji vrlo veliki.

B.7 — Veličine pritiska, ubrzanja i prolaznog pomeranja blizu kratera mogu da budu vrlo velike. Naprimjer, u tipično peskovito-glinovitom zemljишtu, najveći pritisak blizu ivice kratera može da iznosi za atomsku bombu 1.000 funti po kvadratnom palcu, dok je ubrzanje oko 60 puta veće od ubrzanja zemljine teže, a prolazno pomeranje može da bude blizu 100 stopa. Ne postoji nikakav podatak o veličinama ovih vrednosti u oblasti kratera pošto je normalno sve razoren, uključujući sve sprave za merenje koje bi se tamo mogle postaviti.

PROMENA MAKSIMALNOG PRITISKA U SLOBODNOJ ZEMLJI

B.8 — Pritisak u zemlji kao posledica detonacije eksplozivnog punjenja na površinu ili ispod nje širi se kao talas koji je karakterističan po neprekidnoj promeni oblika, amplitude i dužine sa udaljenjem od izvora. Ova promena amplitude i oblika je posledica sfernog širenja talasa i karaktera odnosa istezanje-napon sredine, koji prouzrokuju da se viši stupnjevi pritiska šire sporije od niskih stupnjeva pritiska. Veličina najvećeg pritiska talasa određena je uglavnom sa 5 faktora: 1) udaljenosću od punjenja, 2) karakterom zemljишta, 3) spajanjem eksplozivne energije sa zemljишtem, tj. dubinom ukopavanja punjenja, 4) količinom i vrstom eksploziva i 5) dubinom merenja.

B.9 — Opšta jednačina za koju se našlo da odgovara svim rezultatima dobijenim u granicama udaljenosti $2 \leq \lambda \leq 15$ glasi:

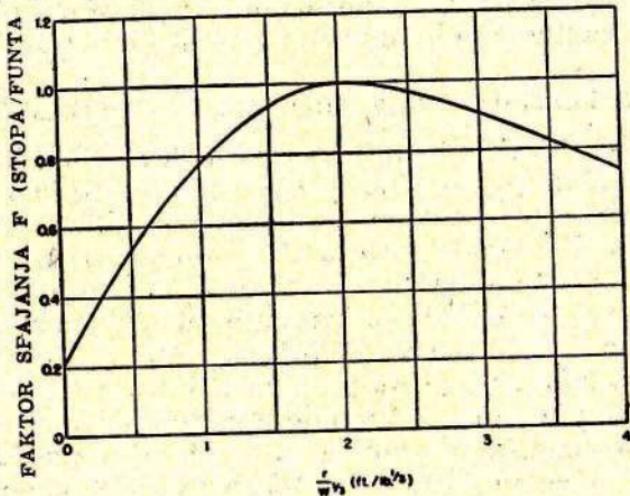
$$p = F E k \lambda^{-n}, \quad \dots \quad (B. 9. 1)$$

gde je p najveći pritisak u funtama po kvadratnom palcu, λ je jednako $r/W^{1/3}$, tj. udaljenje u stopama podeljeno sa kubnim korenom težine eksplozivnog punjenja u funtama, k je konstanta koja karakteriše zemljiste, F predstavlja faktor spajanja u zavisnosti od dubine ukopavanja punjenja, E je faktor ener-

gije koji zavisi od vrste eksploziva a n eksponent čija je vrednost određena dubinom punjenja ili instrumenta za merenje.

B.10 — Normalna vrednost eksponenta n iznosi 3, izuzev za dubine punjenja ili instrumenta koje su manje od kritične vrednosti od približno $3^{1/2} W^{1/3}$ stopa. Na dubinama koje su manje od ove, eksponent se približava vrednosti 4. Uzrok očiglednog povećanja gubitka blizu površine nije dovoljno objašnjen, ali može da bude usled popuštanja površine ili usled odbijanja talasa pritiska od površine u suprotnoj fazi, sa odgovarajućim smanjenjem visine pritiska, ukoliko udaljenje od punjenja raste. Na dubinama koje su veće od kritične dubine vrednost $n = 3$ utvrđena je pomoću više serija opita u različnim vrstama zemljišta.

B.11 — Eksplozioni faktor E kreće se u granicama od 1 — 1,4 za obične eksplozive. U ovom razmatranju usvojena je kao vrednost jedinica. Faktor spajanja F je funkcija dubine ukopavanja punjenja i prikazan je na slici B.11 sa apscisom u



Sl. B. 11 — Faktor spoja kao funkcija dubine punjenja / (težina punjenja) $^{1/3}$.

jedinicama dubine (stopa)/ $W^{1/3}$ (u funtama). Ova eksperimentalno određena kriva ima maksimalnu vrednost na dubini ukopavanja koja odgovara $r/W^{1/3} = 2$, i opada brže na manjim, a sporije na većim dubinama. Razlog za manju vrednost na pličim dubinama očigledno se pripisuje umicanju gasova pre nego što materijal sredine blizu eksplozije dostigne granicu

svoje ekspanzije. Opadanje na većim dubinama ukopavanja smatra se da dolazi usled odbijanja od površine koje verovatno ne bi bilo očigledno kad bi se i pritisak merio na većim dubinama. Najupadljivija karakteristika je skoro linearna brzina opadanja na manjim dubinama od kritične, koja iznosi $\frac{3}{2} W^{1/2}$ stopa i relativna konstantnost na većim dubinama.

B.12 — Za ukopana punjenja TNT na dubinama od približno $2 W^{1/2}$ stopa sa instrumentom za merenje pritiska na dubinama većim od $\frac{3}{2} W^{1/2}$ stopa, jednačina pritiska kao funkcija udaljenosti svodi se na:

$$p = k\lambda^{-3}. \dots \quad (B. 12. 1)$$

Ovaj prosti oblik empiričke jednačine za promenu pritiska sa udaljenjem dozvoljava da se karakteristike prenošenja zemljišta izraze jednim jedinim parametrom k , tj. zemljišnom konstantom. Ako se λ uzme kao neimenovana promenljiva, onda k ima dimenzije modula elastičnosti čiji opseg vrednosti predstavlja promenu u zemljištu s tim da se pri svakom opaljenju oslobađa ista energija po funti eksploziva. Stalnost oslobađanja energije proverena je pri drugim opitima eksploziva. Sistematska promena konstante k sa težinom eksplozivnog punjenja bila bi dokaz srazmernog dejstva. Niukom od podataka nije otkrivena takva promena.

B.13 — Zemljišna konstanta može da se menja za faktor od preko 100 u zavisnosti od vrste i uslova zemljišta, dok faktor spajanja ne pokazuje opseg promena koje prelaze vrednosti od 7 do 1. Ovo pokazuje da je vrsta zemljišta najvažnija jedina promenljiva koja utiče na prenošenje pritiska. Tablica B.13 pokazuje granice vrednosti za k koje se susreću

TABLICA B. 13

Zemljišne konstante za pritiske kao funkcije vrste zemljišta i nalazišta

Vrsta zemljišta	Nalazište	k (min.)	k (max.)	k (prosečno)
Les	Natchez, Misisipi	400	1.700	800
Glinovita zemlja (ilovača)	Princeton, N. J.	1.300	2.500	2.000
Muljevita glina	Camp Gruber, Oklahoma	1.300	9.000	5.100
Glina, nezasićena	Houston (Teksas)	10.000	20.000	15.000
Glina, zasićena	Houston (Teksas)	50.000	150.000	100.000

kod različnih vrsta zemljišta. Opšta promenljivost koja se očekuje u zemljištima može da se vidi iz granica maksimalnih i minimalnih vrednosti za k datih u tablici za svaku vrstu zemljišta. Ova se granica uveliko pripisuje razlikama u sadržaju vlage koji se menja na način koji se ne može predvideti. Na izvesnim mestima menja se zemljišna konstanta brzo sa dubinom, što izgleda da je posledica visokog vodostaja podzemne vode.

B.14 — Postoji grubi uzajamni odnos između zemljišne konstante k i brzine širenja seizmoloških talasa male amplitude u materijalu. Brzina talasa male amplitude vezana je sa početnim nagibom krive istezanje-napon te je treba razlikovati od brzine maksimuma konačnog talasa. Takva su merenja izvršena kod plitke refrakcije izazivajući eksplozije sa vrlo malim punjenjima, koristeći modifikaciju metode geofizičkih istraživača pri traženju nafte. Jednačina koja veže ove dve veličine, čija je tačnost približno $\pm 25\%$, glasi:

$$k = \frac{1}{25} pv^2, \quad \dots \quad \text{(B. 14. 1)}$$

gde je k zemljišna konstanta u funtama po kvadratnom palcu, p je gustina zemljišta u funtama po kubnom palcu podeljena sa 384 palaca u sec^2 , a v brzina seizmičkog talasa u palcima po sekundu (384 palca po sec^2 pretstavlja ubrzanje usled zemljine teže).

B.15 — Opiti na terenu pokazali su da će najveći pritisak koji deluje na neki masivni zid usled odbijanja biti oko dva puta veći od pritiska koji bi postojao u slobodnoj zemlji kada ne bi bilo zida.

PROMENA IMPULSA PO JEDINICI POVRŠINE U SLOBODNOJ ZEMLJI

B.16 — Pozitivan impuls talasa pritiska u zemlji po jedinici površine pretstavlja količinu kretanja (zamah) prenesenu poprečnim presekom jednog talasa i dat je integralom pritiska po vremenu do vremena t_0 u kome vremenu pritisak pada, na kraju talasa na nulu, tj.

$$I = \int_0^{t_0} pdt. \quad \dots \quad \text{(B. 16. 1)}$$

Opitna određivanja impulsa od punjenja u slobodnoj zemlji pokazala su da se impuls pokorava empiričkoj jednačini oblika:

$$I = E' F' k' W^{1/3} \lambda^{-5/2}, \dots \quad (B. 16. 2)$$

gde je I impuls po jedinici površine u psi-sec (funtama po kvadratnom inču — sekund); E' , F' i k' su faktori eksploziva, faktori spajanja i zemljija konstanta za impuls, a W i λ imaju isto značenje kao u § B.9.

B.17 — Faktor eksploziva E' nema istu vrednost za impuls kao za najveće pritiske, ali je tako usvojen da mu je vrednost 1,00 za TNT kao što je i za najveći pritisak. Faktor spoja F' je isti kao F za najveći pritisak i prikazan je kao funkcija dubine punjenja na slici B.11.

B.18 — Kao i u slučaju maksimalnog pritiska, ako je eksploziv TNT, a dubina ukopavanja 2 $W^{1/3}$ stopa, impuls po jedinici površine može se izraziti prostom empiričkom jednačinom:

$$I = k' W^{1/3} \lambda^{-5/2} \dots \quad (B. 18. 1)$$

U ovoj jednačini postoji samo jedan proizvoljan parametar koji se može vezati sa prenosivošću zemljija. Konstanta impulsa k' ima mnogo manje područje varijacije sa vrstom zemljija nego što ima zemljija konstanta k . Merene vrednosti ove konstante za nekoliko različnih vrsta zemljija date su u tablici B.18. Ova je konstanta takođe u grubom odnosu sa seizmičkom brzinom, međutim sa nešto većom disperzijom nego

TABLICA B. 18

Zemljija konstante impulsa za razna zemljija

Vrsta zemljija	Nalazište	k' (prosečno)
Les	Natchez, Mišisipi	1,60
Glinovita zemlja (ilovača)	Princeton N. J.	4,77
Muljevita glina	Camp Gruber, Oklahoma	5,44
Glina	Houston, Teksas	6,64

za najveći pritisak, ali još uvek dosta dobra da pruži grubi putokaz ka očekivanim vrednostima. Jednačina glasi:

$$k' = 1,15 \rho v = 5,75 \rho^{1/2} k^{1/2}, \dots \quad (\text{B. } 18.2)$$

gde su k' i k odnosno zemljишne konstante za impuls i pritisak, ρ gustina zemljишta u istim jedinicama kao u § B.14, a v je brzina širenja seizmičkog talasa u palcima na sekund.

B.19 — Očekivalo bi se da impuls koji pretrpi masivna meta bude približno dva puta veći od impulsa upadnog talasa, ali je opitnim putem nađeno da je ovaj odnos veći. Ovo proizlazi iz činjenice da zemlja oko cilja može da ostane sa više ili manje stalnom deformacijom koja može da ispolji dugotrajni zaostali pritisak. Zaostali pritisak na kraju talasa uključen je pri integraciji krive pritisak-vreme, sa razumljivim povećanjem impulsa. Opitnim putem se našlo da se odnos odbijenog prema upadnom impulsu približava vrednosti od 3 do 1, ali je podložan znatnoj fluktuaciji pošto će relativno neznatan ugib cilja ublažiti u znatnoj meri naknadni pritisak.

PROMENA UBRZANJA ČESTICA I POMERANJA U SLOBODNOJ ZEMLJI

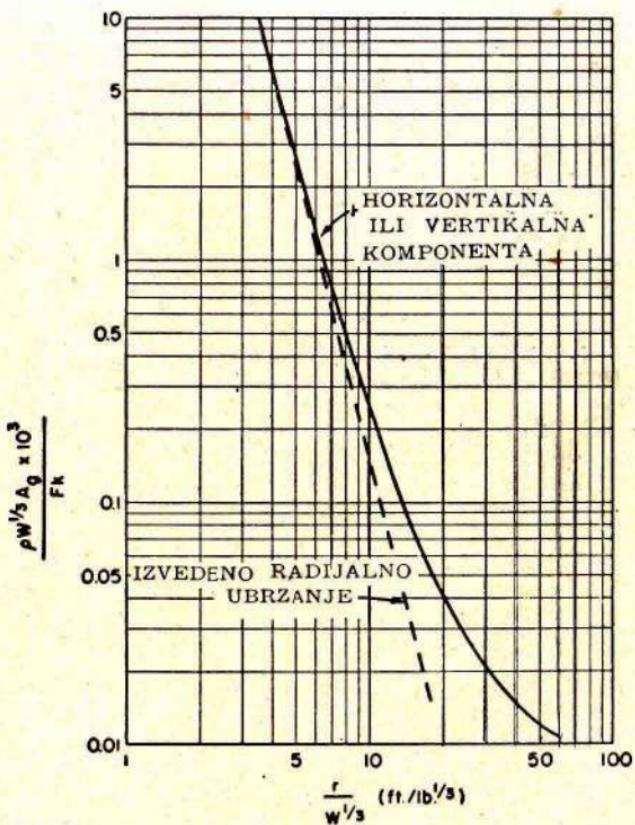
B.20 — Mnogobrojne serije merenja ubrzanja čestica blizu površine koje nastaje od detonacije ukopanih punjenja TNT dale su rezultate koji se mogu izraziti empiričkom jednačinom:

$$A_g = F \frac{k}{\rho W^{1/3}} (120 \lambda^{-4} + 0,3 \lambda^{-2} + 0,04 \lambda^{-1}) \times 10^{-5}, \dots \quad (\text{B. } 20.1)$$

gde je A_g horizontalno ili vertikalno ubrzanje u jedinicama ubrzanja zemljine teže (384 palca u sekundu²); ρ je gustina zemljишta u istim jedinicama kao i u § B.14, a F , k , W i λ imaju isto značenje kao i pre. Iz ovih opita može se zaključiti da je promena ubrzanja sa dubinom ukopavanja punjenja ista kao i promena u maksimalnom pritisku, tako da se faktor spajanja koji je izведен iz opita pritiska može takođe primeniti i na ubrzanje čestica.

B.21 — Ubrzanje je, razume se, vektorska veličina koja se mora odrediti po pravcu ili pomoću komponenata duž osovina koordinatnog sistema. Opitnim putem nađeno je da su horizontalna i vertikalna komponenta ubrzanja bile približno jednake jedna drugoj na svakom udaljenju pri dubinama punjenja upotrebljenih u ovim opitima (slika B.21). Izlazni ugao vektora ubrzanja prema površini iznosio je prema tome 45°.

B.22 — Pomeranje čestica u sredini usled prolaska talasa kompresije može da se nađe integrisanjem istezanja u svakoj sfernoj ljušpi preko koje se talas širi u momentu maksimalnog pomeranja. Jedna od prvih aproksimacija je pretpostavka da



Sl. B. 21 — Komponente maksimalnog ubrzanja kao funkcija udaljenja od punjenja.

maksimalno pomeranje svake čestice nastaje pre nego što čestice dostignu primetnu negativnu brzinu. Ako se ova pretpostavka učini, pomeranje D pri proizvoljnom poluprečniku r iznosi:

$$D = \int_r^\infty \delta dr, \quad \dots \quad (B. 22. 1)$$

gde je δ istezanje materijala. Ako se za ova zemljišta koriste empiričke krive pritisak-udaljenje i istezanje-napon, mo-

guće je izvesti izraz sledećeg oblika za maksimalno pomeranje kada se eksplozivno punjenje nalazi na dubini od $2 \times W^{1/2}$:

$$\frac{D}{W^{1/2}} = \frac{k^{1/2} \lambda^{-3}}{8}, \dots \quad (B\ 22.\ 2.)$$

gde je D pomeranje u stopama. Ovo je pomeranje verovatno u radijalnom pravcu u dubinama ispod površine.

B.23 — Eksperimentalne vrednosti prolaznog pomeranja pri dubinama punjenja $2 W^{1/2}$ mogu da se izraze sledećim empiričkim jednačinama:

$$D \text{ (horizontalno)} = W^{1/2} (3,94\lambda^{-3} + 0,0018\lambda^{-1}) \text{ stopa} \quad (B.23.1)$$

$$D \text{ (vertikalno)} = W^{1/2} (1,05\lambda^{-3} + 0,0027\lambda^{-1}) \text{ stopa}. \quad (B.23.2)$$

Maksimalna horizontalna i vertikalna pomeraњa na površini ne postižu se neophodno jednovremeno već su ona približno u fazi, izuzev na većim udaljenjima. Otuda se približno našlo da je na manjim udaljenjima ukupno prolazno pomeranje:

$$D_r = 4 W^{1/2} \lambda^{-3} \text{ stopa}. \quad (B.23.3)$$

B.24 — Iz izvedenog obrasca, uvezši da prosečna vrednost za k iznosi 5100, izlazi da je vrednost

$$D_r = 2,15 W^{1/2} \lambda^{-3} \text{ stopa}. \quad (B.24.1)$$

Odnos između ovih vrednosti mogao bi se lako objasniti dejstvom površinskog odbijanja koje bi težilo da poveća amplitudu kretanja na površini, kao što je pokazano opitnim rezultatima. Izvedeni rezultat dozvoljava da se izvrše procene pomeranja i u drugim vrstama zemljišta, a ne samo u onima gde su opiti vršeni.

B.25 — Prethodne jednačine ne uzimaju u obzir uticaj dubine punjenja pošto je podatak na kome su one zasnovane uzet kao da je jedna jedina dubina eksploziva. Međutim, shvatljivo je da se kao prvo približavanje uvede faktor spoja F u jednačinu za druge dubine ukopavanja. Verovatno je da između horizontalnih i vertikalnih pomeranja mogu da nastanu nekoliko drugi odnosi na različnim dubinama punjenja ali nema dovoljno dokaza da se ovo pitanje raspravi kvantitativno.

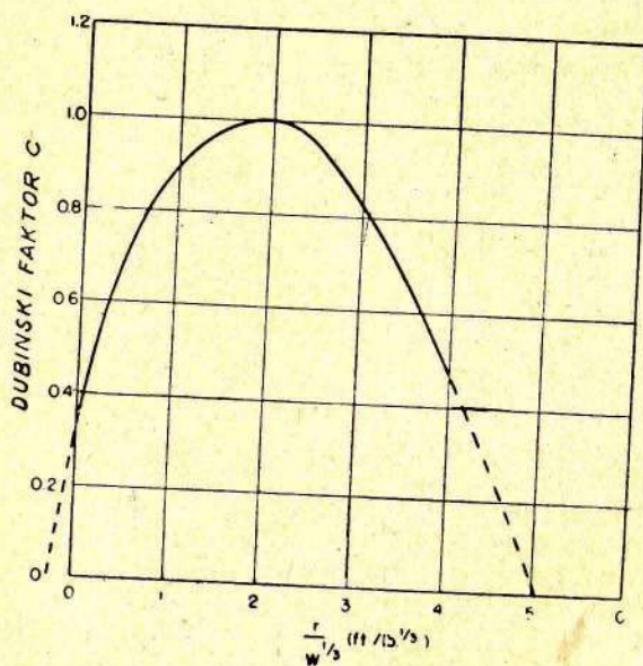
B.26 — Opit pokazuje da trajno horizontalno pomeranje iznosi približno $\frac{1}{3}$ maksimalnog prolaznog pomeranja datog gornjom jednačinom. Ovo je nešto manje nego što bi pokazala

kriva istezanje-napon, ali usled uticaja površine uvodi se opet modifikujući faktor tako da bi bila pogrešna neposredna predviđanja na osnovu krive istezanje-napon.

B.27 — Usvajanje zavisnosti pomeranja od numeričke vrednosti $k^{1/3}$ dozvoljava da se izvrši grafički prikaz λ prema $(D/W^{1/3})(1/k^{1/3})$, što olakšava procenu pomeranja u zemljištima koja imaju različne vrednosti konstante k .

DEJSTVO UKOPANOG EKSPLOZIVNOG PUNJENJA NA STVARANJA KRATERA

B.28 — Opitima se pokazalo da je veličina kratera koja se stvara od ukopanog punjenja mnogo manje osetljiva prema vrsti zemljišta i eksploziva nego prema dubini ukopavanja punjenja. Tačna tehnika obrazovanja kratera nije dovoljno objasnjena da bi se omogućila bilo kakva teorijska predviđanja koja se odnose na faktore koji utiču na veličinu kratera. Pokazalo se, međutim, da se obrazovanje kratera pokorava zakonu model-ske sličnosti i da su predviđanja o veličini, zasnovana na empiričkim podacima, dovoljno tačna.



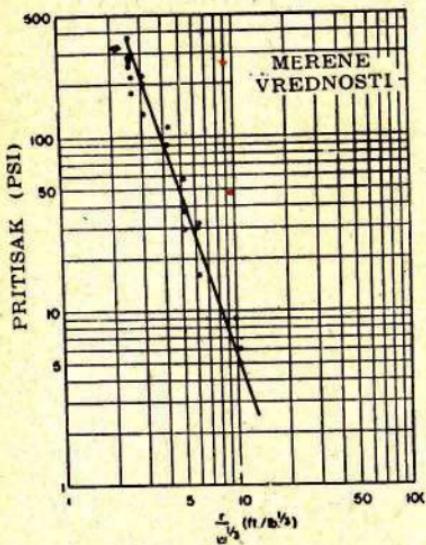
Sl. B. 29 — Faktor dubine za veličinu kratera kao funkcije dubine punjenja / (težina punjenja) $^{1/3}$.

B.29 — Analiza raspoloživih podataka pokazala je da se veličina kratera može empirički pretstaviti proizvodom eksplozivnog faktora E , faktora dubine C , zemljишnog faktora koji je jednak $1,3 k^{1/12}$, i kubnog korena težine punjenja, tj. $W^{1/3}$. Poluprečnik kratera iznosi tada:

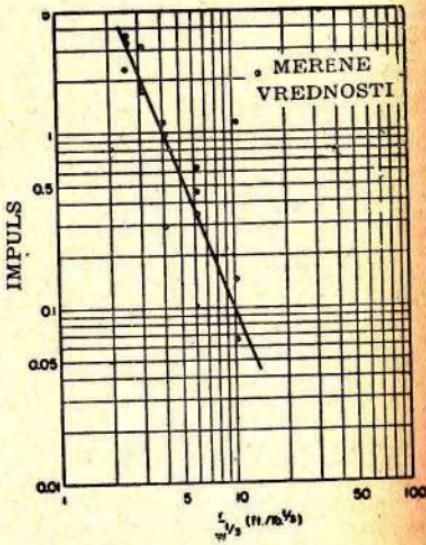
$$R \text{ (u stopama)} = 1,3 CE k^{1/12} W^{1/3} \quad (\text{B.29.1})$$

Eksplozioni faktor E uzet je kao jedinica za TNT, što je u skladu sa ranijim postupkom. Faktor dubine (sl. B.29) varira u širem intervalu nego drugi faktori, pokazujući maksimalnu vrednost na dubini punjenja od $2 W^{1/3}$ stopa i opadajući veoma naglo ka nuli ukoliko se dubina punjenja približava nuli. Opadanje sa povećanjem dubine punjenja sporije je posle maksimuma, ali ekstrapolacija izmerenog dela krive pokazuje da se na oko $5 W^{1/3}$ stopa poluprečnik kratera približava nuli sa obrazovanjem kamufleta.

B.30 — Na slikama B.30a, b i c dati su primeri opitnih podataka o pritiscima, impulsima i ubrzanjima da bi se dobio pojam o opsegu opitnih podataka. Empiričke jednačine su iz-



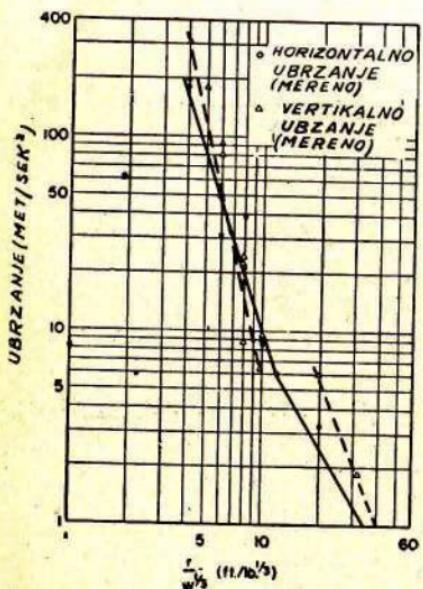
Sl. B. 30a — Pritisak u slobodnoj zemlji kao funkcija dubine punjenja / težinu punjenja $^{1/3}$.



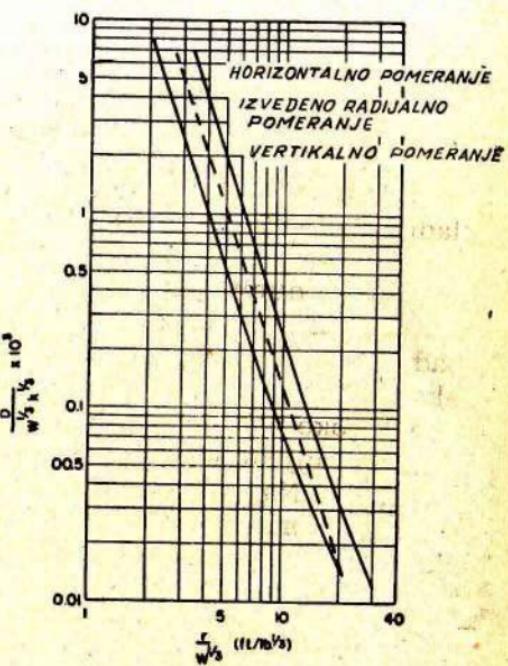
Sl. B. 30b — Impuls u slobodnoj zemlji kao funkcija dubine punjenja / težinu punjenja $^{1/3}$.

vedene iz mnogo takvih merenja i pretstavljaju prosečne rezultate koji se mogu očekivati. Slika B.30d pretstavlja grafički

prikaz empiričkih i izvedenih jednačina za pomeranje tla koji važi na dubinama punjenja $2 W^{1/3}$. Pomeranja koja se očekuju



Sl. B. 30c — Ubrzanje kao funkcija dubine punjenja / (težinu punjenja) $^{1/3}$.



Sl. B. 30d — Prolazno pomeranje tla na površini kao funkcija dubine punjenja / (težinu punjenja) $^{1/3}$.

kod manjih dubina ukopavanja punjenja mogu se naći kao prva aproksimacija jednostavnim množenjem sa faktorom spoja F .

DODATAK C¹

MERENJE X-ZRAKOVA I GAMA ZRAKOVA U RENDGENIMA

ZNAČENJE RENDGENA

C.1 — Energija koju tkivo apsorbuje u vezi je do izvesne mere sa jonizacijom koju u vazduhu proizvode X ili gama zraci, preko izvesne granice energije, koja uglavnom odgovara većini bioloških slučajeva. Jedinica doze zove se rendgen (r) i definisana je kao »takva količina X ili gama zračenja koja pri korpuskularnom emitovanju na 0,001293 grama vazduha proizvodi u vazduhu jone koji nose tovar od jedne elektrostatičke jedinice oba znaka«. (Vrednost od 0,001293 grama pretstavlja masu od 1 cm³ suvog vazduha na 0°C i 760 mm živinog stuba.)

C.2 — Za X i gama zrake umerene prodorne moći, praktično celokupnu jonizaciju u vazduhu prouzrokuju sekundarni elektroni koje zračenje izbacuje iz atoma vazduha. Prosečna kinetička energija koju izgubi jedan od ovih elektrona pri proizvođenju jonskih parova u vazduhu iznosi oko 33 elektron-volti (ev), nezavisno od širokih granica kinetičke energije elektrona, naime od nekoliko hiljada do nekoliko miliona elektron-volti. Usled toga izlazi da je ukupan broj jonskih parova koje proizvedu elektroni dobro merilo početne kinetičke energije sekundarnog elektrona, pod uslovom da se njegova početna energija nalazi u gore spomenutim granicama. Jedna elektrostatička jedinica električnog tovara odgovara $2,083 \times 10^9$ elektronskih tovara, te otuda $2,083 \times 10^9 \times 33 = 6,8 \times 10^{10}$ elektron-volti, ili 0,11 erga. Zato je ova mera ukupne početne kinetičke energije svih elektrona izbačenih zračenjem od jednog rendgena iz 0,001293 grama vazduha. Zbog toga dogod se energija iz snopa gubi jedino pretvaranjem u kinetičku energiju elektrona rendgen je mera energije zračenja apsorbovane u vazduhu. Jedan rendgen odgovara usled toga apsorpciji od 84 erga po gramu vazduha.

¹⁾ Materijal dobijen od F. R. Shonka-a, L. S. Taylor-a, T. N. White-a.

C.3 — Za prilično široko područje zračenja postoji skoro konstantna razlika između energije apsorbovane po gramu vazduha i energije apsorbovane po gramu tkiva, koje je najvećim delom voda. Kroz celo ovo područje jedan rendgen zračenja daje apsorpciju energije od oko 93 erga po gramu vode. Pri energijama fotona toliko niskim da fotoelektrična apsorpcija postane važna u elementima tkiva, rendgen gubi mnogo od svoje koristi kao mera izloženosti zračenju. Ovo je zato što postaje teško da se proceni odnos između apsorpcije energije u vazduhu i u tkivu. Ova teškoća raste naglo ukoliko energija fotona opada ispod 50 kiloelektron-volta (Kev). Tačkoće mora da postoji neka gornja granica za korisnu upotrebu rendgena. Pošto je ovde glavna stvar energija apsorbovana u tkivu, jasno je da tačna količina energije koju izgubi jedan foton u nekoj tački tkiva nije od velikog interesa, ako najveći deo ove energije do udaljenih delova tkiva nose sekundarni elektroni na koje se ova energija prenela. Značaj merenja u rendgenima postaje sumnjiv kada je zračenje sposobno da proizvede elektrone sa dometom većim od 1 cm u tkivu. Ove teškoće postaju značajne kada energija fotona poraste iznad nekoliko mev.

C.4 — Za one koji su navikli da misle o X i gama zračenju izraženom u broju fotona po cm^2 korisno je da se sete da pravi koeficijent apsorpcije vazduha ostaje konstantan u granicama do 12% za veličinu energije fotona od 0,08 do skoro 2,5 mev. U ovim granicama jedan rendgen odgovara $(2 \times 10^9) / E$ upadnih fotona po cm^2 , gde je E energija fotona u mev.

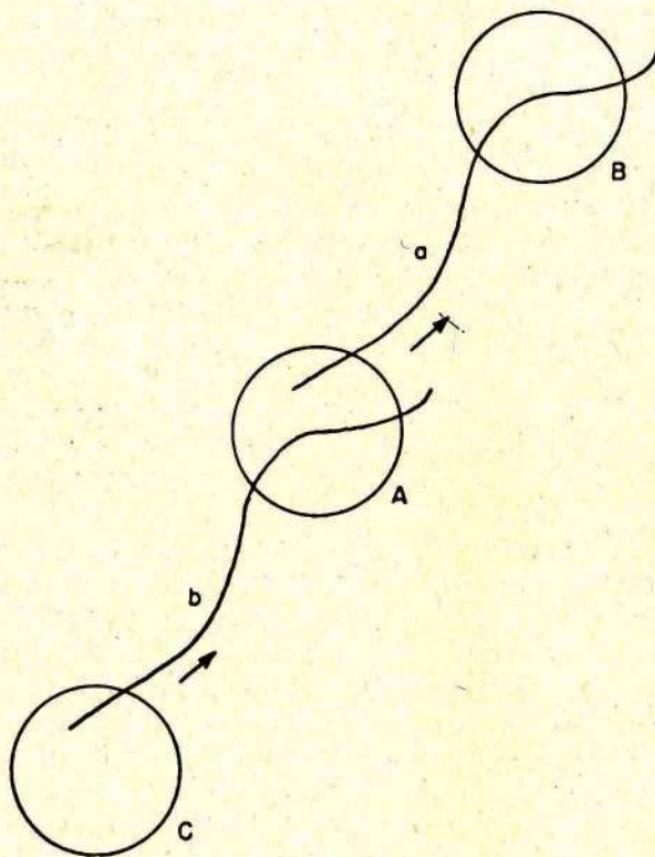
C.5 — Jednu karakteristiku rendgena trebalo bi uvek imati na umu: on daje meru apsorbovane energije na *jedinicu mase tkiva*. Snop zračenja koji je tako ograničen da oslobodi 1.000 rendgena zračenja samo na jedan kužan čir može da ga izleći. Hiljadu rendgena oslobođenih na celo telo biće smrtonosni.

MERENJE RENDGENA

C.6 — Iz definicije rendgena očigledno je da isti mora meriti sve jone proizvedene duž puštanja sekundarnih elektrona koji su nastali primarnim fotonima u određenoj masi ili zapremini vazduha. Uopšte, dometi sekundarnih elektrona mnogo su veći od dimenzija određene zapremine te otuda zapremina treba da bude okružena većom zapreminom slobodnog

vazduha tako da obuhvati ustvari celu putanju sekundarnih elektrona. Pod takvim okolnostima gubitak jona duž putanja, elektrona koji se stvaraju u unutrašnjosti, ali izlaze izvan određene zapremine, može se tačno nadoknaditi drugim jonima proizvedenim u toj zapremini pomoću sekundarnih elektrona stvorenih u okolnom vazdušnom prostoru.

C.7 — Radi ispitivanja uslova tačnog nadoknađenja treba posmatrati deo vazduha normalne gustine kroz koji prolazi



Sl. C. 7 — Snop zračenja u prolazu kroz vazduh.

snop zračenja (sl. C.7). U ovom delu vazduha određujemo zapreminu A (1 cm^3) i posmatramo putanju elektrona koji vrši ionizaciju a koji je izbačen iz zapreminе A. Da se u A utvrdi zračenje u rendgenima potrebno je da se izmeri celokupna jo-

nizacija duže putanje a. Razmotrimo sada ionizaciju koja nastaje u zapremini B (1 cm^3), kao što je pokazano na slici. Ako se izmeri ionizacija u A, nedostaje ionizacija u B. Ako međutim postoji neka zapremina C koja stoji sa A u tačno istom fenomenološkom odnosu kao što A stoji prema B, onda će za ionizaciju koja nastaje u B postojati tačna kompenzacija u A. Ako se ovaj zahtev proširi da obuhvati i druge delove putanje a i sve ostale moguće putanje koje nastaju u A onda sledi da:

a) svaka zapremina tipa C iz koje se elektroni mogu ubaciti u zapreminu A mora da bude predena zračenjem istog intenziteta i pravca kao i ono zračenje koje prolazi kroz zapreminu A;

b) u zapremini A ne sme da bude nikakve druge ionizacije sem one usled elektrona koji nastaju u A i ionizacije usled kompenzacionog uticaja zapremina tipa C.

C.8 — Čak i ako bi se ionizacija u 1 cm^3 slobodnog vazduha mogla meriti bez uvođenja uticaja — smetnji; još uvek bi bilo teško da se u praksi zadovolje gornji uslovi, naročito kod zračenja koja izbacuju elektrone u vazduhu na udaljenja od više metara. Moguće je, međutim, da se isti rezultati postignu merenjem ionizacije u šupljini okruženoj čvrstim zidovima od materijala čiji se redni broj ne razlikuje mnogo od rednih brojeva vazduha. Da se ovo shvati, pretpostavimo da je zapremina A zadržana kao i pre, ali je sav okolni vazduh sabijen za faktor 1.000, da bi se obuhvatila najudaljenija zapremina tipa C. Najveće otstojanje bilo koje zapremine C prestatvljao bi jednostavno domet u vazduhu najjače zračenjem izbačenog elektrona. Zapremina A bila bi tada okružena omotačem gustog vazduha u kome bi sve elektronske putanje od zapremine C do zapremine A bile reprodukovane u 1.000-struko manjoj razmeri. Ionizacija u zapremini A bila bi upravo ista uz ova dva uslova, pošto bi kroz nju prolazili isti sekundarni elektroni iz sabijenog kao i iz slobodnog vazduha.

C.9 — Ionizacija po jedinici zapremine u ovoj šupljini prestatvljala bi meru zračenja u rendgenima. Ovaj je uslov u suštini zadovoljen kod komore poznate kao komora »naprstak« koja ima zidove od materijala »ekvivalentnog vazduhu«. Izuzev za vrlo niske energije zračenja (ispod 100 kv X zrakova sa 1 mm Al filtracije) kao »ekvivalentan vazduhu« može se smatrati zid od plastičnog materijala (fleksi staklo, bakelit itd.), a debljine koja je jednaka dometu najjačih sekundarnih elektrona proizvedenih zračenjem. Takve komore sa zapreminom

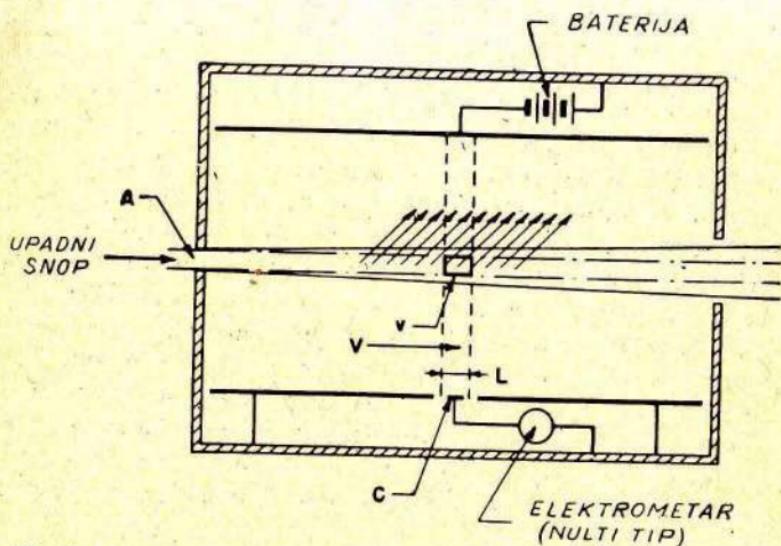
od oko 1 cm^3 korišćene su kao sekundarni standardi za merenje zračenja u rendgenima.

C.10 — Pošto je rendgen definisan kao ionizacija proizvedena u poznatoj masi (ili zapremini) neograničenog vazduha to je potrebno da se ima pogodna naprava da se ovo izradi na nedvosmislen način. Ova je naprava poznata kao ionizaciona komora slobodnog vazduha i jedna vrsta prikazana je šematski na slici C.10. To je ustvari ionizaciona komora sa paralelnim pločama, sa zaštitnim pločama takve širine da je električno polje jednoliko u oblasti kolektorske elektrode. Svi joni proizvedeni u području širine L biće tada privučeni na kolektor-elektrodu C i mereni u obliku struje.

C.11 — Izuvez u slučaju izvora zračenja u vidu prave tačke, precizno određivanje zračene zapremine vazduha na širini L teško je zbog postojanja područja polusenke. Isti fluks zračenja prolazi kroz dijafragmu u A i kroz područje L, izuzev male razlike usled apsorpcije koja se može popraviti ako je potrebno. Zbog toga je uobičajeno da se zračena zapremina vazduha V smatra kao cilindar dužine L sa površinom poprečnog preseka jednakom površini dijafragme, a doza zračenja se smatra da je merena na dijafragmi.

C.12 — Da bi se video da li postoji ili ne postoji tačna kompenzacija, stvari će se uprostiti ako se pretpostavi da su putanje svih sekundarnih elektrona prave, istog smera, i da je duž putanje ionizacija jednolika. Putanje su na sl. C.10 predstavljene strelicama. Pod ovim uslovima definicija rendgena uslovjava da se ionizacija meri u paralelogramu sa osnovom širine L i stranama koje su obrazovale strelice od krajeva ove osnove. Pošto je ionizacija proporcionalna površini paralelograma, jasno je da je jednak jonizaciji koja nastaje u pravouglom prostoru opitnog merenja, koji ima istu osnovu i istu visinu. Može se pokazati da će tačna kompenzacija nastati i sa stvarnim sekundarnim elektronima sa krivim putanjama, nejednolikom ionizacijom i različnim smerovima, pod pretpostavkom da se usretredi pažnja na grupu putanja sa jednakim osobinama u svakom stanju argumenta. Opitni uslovi koji se moraju zadovoljiti da bi se osigurala tačna kompenzacija lako se izvode, tj. 1) zapremina V je isto toliko daleko od A kao što je maksimalni domet sekundarnih elektrona u pravcu snopa; 2) razmak između elektroda i središnjog snopa zračenja isto je tako veliki kao i maksimalni bočni domet sekundarnih elektrona iz snopa; 3) oslabljenje snopa između A i L je neznatno;

4) da se upotrebi takav metod električnog merenja jona koji dostižu kolektor-elektrodu C, tako da postoji neznatna distorsija električnog polja na ivicama kolektor-elektrode.



Sl. C. 10 — Šema ionizacione komore slobodnog vazduha.

C.13 — Udaljenja koja su utvrđena gore pod 1) kreću se od oko 5 cm za 50 kilovolti do 15 cm, za 200 kilovolti X-zrakova, i do 10 metara za gama zrake radijuma. Slične se vrednosti zahtevaju za ukupna razdvajanja ploča, radi usklađivanja prema zahtevu pod 2. Slabljene između A i L može obično da se zanemari u granicama od 2% za zračenje čije komponente nisu manje od oko 100 kilovolti, ali se mora uzeti u obzir za slabije komponente. Za obična praktična razmatranja nije izvodljivo da se konstruišu standardne ionizacione komore za slobodni vazduh koje rade pri atmosferskom pritisku, za merenja iznad 250 kilovolti, mada su one napravljene za upotrebu sve do oko dva miliona volti, za rad na višim vazdušnim pritiscima.

C.14 — Da se kalibrira sekundarni instrument (komora oblika naprstka, instrument za otkrivanje itd.) kalibrira se snop zračenja u određenoj tački P pomoću standarda za slobodni vazduh sa ograničavajućom dijafargmom A, postavljenom u tački P. Standard se potom uklanja a sekundarna komora je kalibrirana u istoj tački P u snopu. Takva su kalibriranja naročito važna za zračenja čije su komponente manje od oko 150

kilovolti, pošto u području niže energije većina pomoćnih instrumenata kritično zavisi od energije. Naprimer, komora oblika naprstka, koja u suštini ne zavisi od energije za filtrovana zračenja iznad 100 do 150 kilovolti, može lako da greši do 30% za nefiltrovano zračenje od 50 kilovolti. Bitno je da se svi instrumenti kalibriraju u ovom području jer će često postojati tako slabe komponente u zbivanjima atomske energije.

C.15 — Sekundarne komore napravljene od organskih materijala manje su kritične u odnosu na energiju iznad 150 kilovolti gde fotoelektrični efekat postaje beznačajan. U ovom je području najvažnije obezbediti da debљina zidova komore bude najmanje isto toliko velika kao domet najjačih sekundarnih elektrona vezanih sa zračenjem koje se meri. Ovaj je zahtev u suprotnosti zahtevu za merenja zračenja sa vrlo malim komponentama, gde apsorpcija zračenja u zidovima komore može da izazove velike greške. Ustvari, ako se zahteva da se izmeri zračenje koje obuhvata široki pojas energije onda je poželjno da se upotrebe dve komore — jedna sa debelim zidovima za veće energije i jedna sa tanjim zidovima za manje energije.

C.16 — Komore koje su po veličini skoro približne komorama oblika naprstka mogu da se upotrebe za merenja pri ispitivanju kada se traži ukupna doza. Međutim, ako se upotrebe kao merači količine doze aproksimirajući dozvoljene stepene zračenja, oni su uopšte suviše neosetljivi zbog male komore u kojoj se proizvode joni. U takvim se prilikama traže veće komore (100 do 1.000 cm³). Takve velike komore, međutim, mogu da budu nepogodne za merenje vrlo slabih komponenata zračenja (ispod 100 kv) dok se zato brižljivo ne kalibriraju.

DODATAK D¹

POSEBNI PROBLEMI U PRENOŠENJU GAMA ZRAKOVA

KRUŽNA POVRŠINA RADIOAKTIVNE KONTAMINACIJE NA ZEMLJI

D.1 — Posebni slučaj koji se ovde razmatra je procena ionizacije proizvedene u vazduhu kao funkcije udaljenja h iznad kružne površine na zemlji jednoliko zatrovane radioaktivnim materijalom. Ovo stanje može da nastupi iz taloženja produkata cepanja na zemlji posle eksplozije atomske bombe. Neka je $j(\alpha_0)$ broj gama zrakova energije α_0 (mev) emitovanih sa zatrovane prostorije u sekundu i po cm^2 . U ovom slučaju su od interesa udaljenja h , koja su tako mala u poređenju sa srednjom slobodnom putanjom fotona u vazduhu, da treba razmatrati samo nerasuti doprinos primljenom zračenju. Dalje, brzina doziranja će se sračunati u nekoj tački h iznad centra površine. Na ovom mestu za dato h dobija se maksimalna brzina doziranja, a ako je poluprečnik R zatrovane površine mnogo veći od h , može se dokazati da će brzina doziranja biti ustvari konstantna na visini h iznad celokupne površine izuzev oko ivice.

D.2 — Nerasuti intenzitet energije gama zraka u mev jedinicama po cm^2 u sekundu primljen na h od osnovne površine $2\pi \rho d\rho$ (uporedi sliku D.2a) dat je jednačinom:

$$dE(h) = \frac{2\pi\rho d\rho j(\alpha_0) \alpha_0 \exp[-\mu_c(\alpha_0)(\rho^2 + h^2)]^{1/2}}{4\pi(\rho^2 + h^2)} \quad (\text{D. 2. 1})$$
$$dE(h) = \frac{j(\alpha_0) \alpha_0}{2} \frac{\exp[-\mu_c(\alpha_0)(\rho^2 + h^2)]^{1/2}}{(\rho^2 + h^2)} \rho d\rho,$$

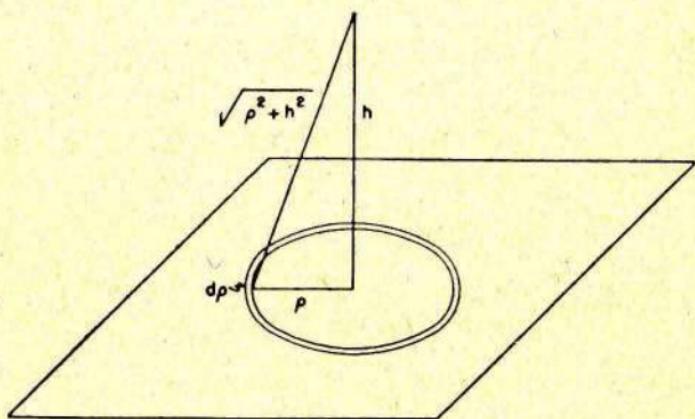
gde je μ_c nov koeficijent Komptonovog rasipanja. Integral daje

¹⁾ Od S. T. Cohen-a i M. S. Plesset-a.

intenzitet energije koja dolazi sa celokupne zatrovane površine i iznosi:

$$E(h)_R = \frac{j(\alpha_0) \alpha_0}{2} [Ei(-\mu_c \sqrt{h^2 + R^2}) - Ei(-\mu_c h)] \frac{\text{mev}}{\text{cm}^2}. \quad (\text{D.2.2})$$

Brzina doziranja u rendgenima/sec iznosi $1,45 \times 10^{-5} \mu_A (\alpha_0) E(h)$. Ovde je μ_A Klajn-Nišinov (Klein-Nishina) koeficijent apsorpcije energije u vazduhu pri normalnim uslovima kao što je

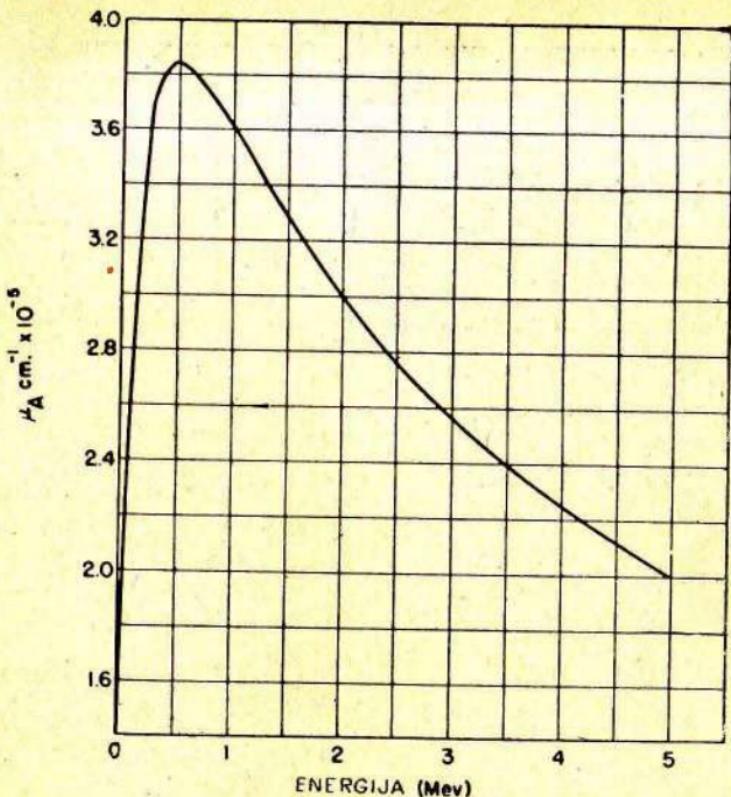


Sl. D. 2a — Jednoliko zatrovana kružna površina.

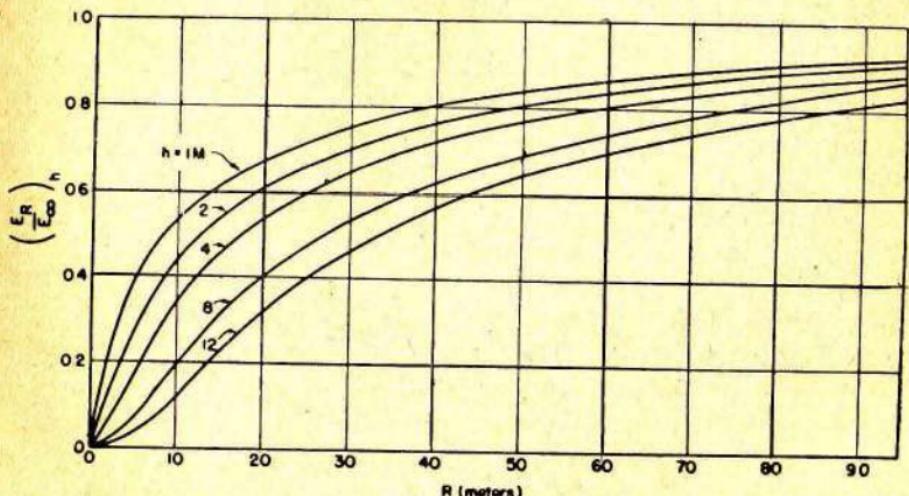
dato na slici D.2b. Za vrlo veliko R postoji poseban oblik jednačine (D.2.2), naime

$$E(h)_\infty = \frac{j(\alpha_0) \alpha_0}{2} [-Ei(-\mu_c h)], \dots \quad (\text{D. 2. 3})$$

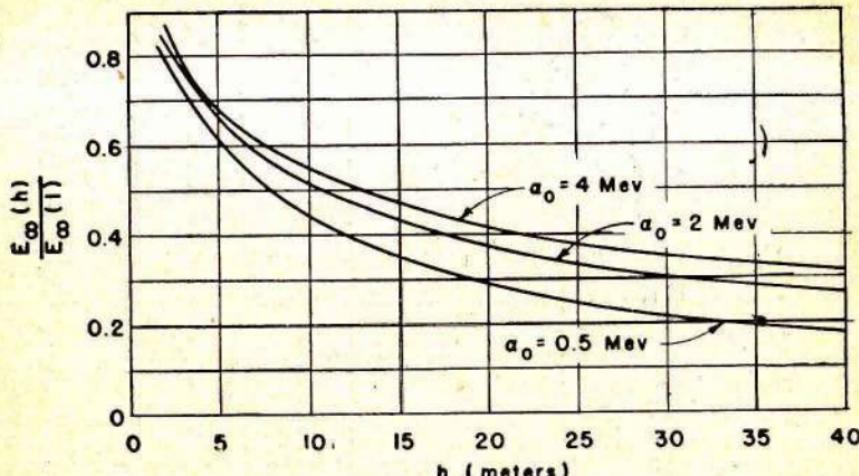
tako da jednačina (D.2.3) odgovara neograničenoj zatrovanoj ravni. U slici D.2c prikazan je odnos $E(h)_R/E(h)_\infty$ za različne vrednosti h , kao funkcija od R . Ove krive važe za slučaj kada emitovano gama zračenje ima energiju 1 mev. Na slici D.2d prikazan je odnos brzine doziranja $E_\infty(h)$ na visini h u metrima iznad neograničene zatrovane površine na zemlji prema brzini doziranja $E_\infty(1)$, na visini od jednog metra iznad neograničene zatrovane površine, kao funkcija h za tri vrste vrednosti emitovane energije gama zrakova.



Sl. D. 2b — Klajn - Nišinin koeficijent apsorpcije za vazduh.



Sl. D. 2c — Relativna brzina doziranja na raznim visinama iznad jedne ograničene zatrovane ploče kao funkcija poluprečnika za gama zračenje od 1 mev.



Sl. D. 2d — Relativna brzina doziranja za razne energije gama zrakova kao funkcija visine iznad jedne ograničene zatrovane ploče.

POLUOGRANIČENA ZATROVANA PLOČA

D.3 — Ovaj bi slučaj mogao da odgovara velikoj količini vode zatrovane od površine do izvesne dubine koja je velika u poređenju sa prednjom slobodnom putanjom gama zrakova u vodi. Intenzitet energije emitovanog gama zračenja odrediće se u vazduhu na visini h iznad vode. Broj gama zrakova energije α_0 emitovanih po cm^3 u sekundu za čitavu zatrovani zapreminu uzeće se kao konstantan i jednak $i(\alpha_0)$. Kad se utvrdi fluks gama zrakova, koji polaze sa površine vode, koji je smanjen usled samooslabljenja, onda postaje ovaj problem sličan gore razmotrenom slučaju. Značajan doprinos fluksu gama zrakova koji polazi sa površine dolazi od sloja vode blizu površine čija debљina iznosi samo nekoliko slobodnih srednjih putanja. Prilikom proračunavanja ovog polaznog fluksa dobije se samo neznatno niža vrednost s obzirom da je značajan samo doprinos nerasutog zračenja.

D.4 — Sa ovom aproksimacijom intenzitet energije (u mev/sec.cm^2) na površini vode iznosi (uporedi sl. D.4)

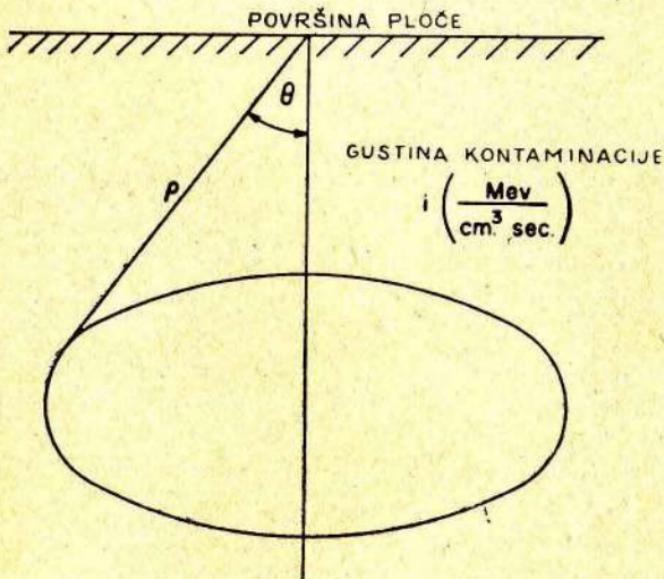
$$d^2 E_s = \alpha_0 i(\alpha_0) \frac{2\pi \rho^2 \sin \Theta d\Theta d\rho e^{-\mu_c(\alpha_0)\rho}}{4\pi \rho^2}, \quad (\text{D. 4. 1})$$

gde je μ_c koeficijent Komptonovog rasipanja za vodu. Ekviva-

lentni izotropni intenzitet energije na površini vode dobija se integracijom kao

$$E_s = \frac{\alpha_0 i(\alpha_0)}{2 \mu_c(\alpha_0)}. \dots \quad (D. 4. 2)$$

Ako se sada ova vrednost E_s koristi za $\alpha_0 j(\alpha_0)$ u jednačini (D.2.3) izlazi da je vrednost intenziteta energije u vazduhu na udaljenju h iznad površine vode



Sl. D. 4 — Poluograničena zatrovana ploča.

$$E(h) = \frac{\alpha_0 i(\alpha_0)}{4 \mu_c(\alpha_0)} [-Ei(-\mu_c h)], \dots \quad (D. 4. 3)$$

gde je μ_c koeficijent Komptonovog rasipanja za vazduh za energiju fotona α_0 . Brzina doziranja (rendgena u sekundu) iznosi opet

$$1,45 \times 10^{-5} \mu_A(\alpha_0) E(h)_\infty.$$

D.5 — Brzina doziranja u zapremini radioaktivno zatrovane vode, velike u poređenju sa srednjom slobodnom putanjom u vodi, data je sa

$$1,45 \times 10^{-5} \mu_A(\alpha_0) i(\alpha_0) \alpha_0 \int_0^\infty e^{-\mu_c(\alpha_0) l} B(\alpha_0, l) dl.$$

DODATAK E¹

PRORAČUN OPASNOSTI OD OPŠTE KONTAMINACIJE

I. PLUTONIJUM

Pretpostavka:

1. Bomba sa energijom koja je ekvivalentna energiji od 20 kilo-tona TNT ostavlja 100 funti plutonijuma.
2. Površina zemlje iznosi $5,1 \times 10^{18} \text{ cm}^2$.
3. Kontaminacija je raspodeljena jednolik po površini zemlje.
4. Opasnost za ljudi dolazi od agrikulturnih površina, na kojima je kontaminacija jednolik pomešana sa 1 cm gornjeg sloja zemljišta.
5. Koncentracija plutonijuma u pepelu pojedene hrane ista je kao i u zemljištu. Ova postavka precenjuje opasnost, pošto je poznato da biljke ne primaju plutonijum.
6. Čovek pojede 1.000 funti hrane godišnje od koje je 1% pepeo.
7. Od plutonijuma koji se gutanjem unese u organizam 0,007% se zadržava u telu (J. G. Hamilton, *Rev. Mod. Phys.* 20, 718, 1948).
8. Bezopasna količina plutonijuma u telu iznosi 0,07 mikrograma godišnje.

Iz ovih se pretpostavki može odmah proračunati da: od jedne bombe, u jednoj se funti zemlje nalazi $2,5 \times 10^{-6}$ mikrograma plutonijuma. Iz hrane koju jedan čovek utroši za godinu dana on apsorbuje $1,8 \times 10^{-10}$ mikrograma plutonijuma od svake bombe koja je eksplodirala do tog vremena. Otuda broj bombi potrebnih da ugroze čovečji život iznosi 0,07 podeđeno sa $1,8 \times 10^{-10}$ ili 4×10^8 .

¹⁾ Materijal dobijen od E. S. Gilfillan-a, H. Scoville-a Jr.

Da se proračuna opasnost od udisanja plutonijuma potrebne su sledeće dopunske prepostavke:

9. Da pojedincu ostaje godišnje prosečno 5 grama prashine u plućima.

10. Da celokupni plutonijum koji uđe u pluća kao prashina ostaje fiksiran u telu.

Iz ovih postavki proizlazi da godišnja količina apsorpcije iznosi 10^{-9} mikrograma, a broj bombi potrebnih da ugroze život iznosi 0,07 podeljeno sa 10^{-9} ili 7×10^7 .

II. PRODUKTI CEPANJA

Prepostavka:

1. Svi produkti cepanja su se jednoliko staložili po površini zemlje, te u vazduhu nije preostala nikakva aktivnost od produkata cepanja.

2. Površina zemlje iznosi $5,1 \times 10^{18} \text{ cm}^2$.

3. Aktivnost od produkata cepanja iznosi 6×10^9 kirija na jedan sat posle detonacije nominalne atomske bombe, a produkti cepanja se raspadaju prema zakonu $t^{-1,2}$.

4. Sve su bombe eksplodirale u isto vreme i vreme posle detonacije za koje su izvršeni ovi proračuni iznosi 6 meseci.

5. Stepen aktivnosti iznosi 0,1 rendgena na 24 časa.

6. Hiljadu kirija po kvadratnoj milji izazvaće izloženost od 0,1 r na 24 časa.

7. Zaštita ne postoji.

Broj kirija posle 6 meseci (4.320 časova) iznosiće:

$$= 6 \times 10 \times \frac{1}{(4.320)^{1,2}}$$

$$= \frac{6 \times 10^9}{23.040} = 2,6 \times 10^5 \quad \begin{array}{l} \text{kirija po bombi 6} \\ \text{meseci posle detona-} \\ \text{cije} \end{array}$$

Kirija po cm^2 po bombi posle 6 meseci:

$$= \frac{2,6 \times 10^5}{5,1 \times 10^{18}} = 5,1 \times 10^{-14} \quad \text{c/cm}^2 \text{ bomba}$$

Kirija po cm^2 za 0,1 r/24 časa izlaganja

$$= \frac{1.000}{2,6 \times 10^{10}} = 3,85 \times 10^{-8} \frac{\text{c}/\text{cm}^2}{\text{dratna milja}} \\ = 2,6 \times 10^{10} \text{ cm}^2)$$

Broj bombi potrebnih za 0,1 r/24 časa iznosi:

$$= \frac{3,85 \times 10^{-8}}{5,1 \times 10^{-14}}$$

$= 7,55 \times 10^5 = 755.000$ bombi za 0,1 r/24 časa na 6 meseci posle detonacije.

DODATAK F¹

METEOROLOŠKA ANALIZA PUTANJE

Trag taloženja aktivnog materijala iz radioaktivnog oblaka može se proceniti na sledeći način ako su poznate brzine vetra na izvesnim visinama: $h_1 < h_2 < h_3 < \dots < h_n$. Neka je $V_x(h_i; \tau)$ komponenta brzine vetra sa severa na visini h_i u vreme τ (a negativna vrednost V_x odgovara južnoj komponenti) $V_y(h_i; \tau)$ neka bude komponenta brzine vetra sa istoka; x je udaljenje severno od nulte tačke; y je udaljenje istočno od nulte tačke. Zamislimo jednu česticu koja se nalazi na visini h_j u nekoj tački (x_0, y_0) u vreme $t=0$ a potrebno je vreme t da stigne do zemlje. Ova će se čestica spustiti u tačku (x, y) , koja je data jednačinama:

$$x = x_0 - \frac{t}{h_j} \sum_{i=1}^{i=j} (h_i - h_{i-1}) V_x \left(h_i; \tau = t \left(\frac{h_i - h_{i-1}}{h_j} \right) \right)$$
$$y = y_0 - \frac{t}{h_j} \sum_{i=1}^{i=j} (h_i - h_{i-1}) V_y \left(h_i; \tau = t \left(\frac{h_i - h_{i-1}}{h_j} \right) \right)$$

Ako se grubo pretpostavi neka početna raspodela aktivnog materijala u vreme $t=0$, onda su ove jednačine dovoljne da se nacrti trag. Naprimer, može se pretpostaviti da se prvobitno celokupni materijal nalazi u jednom cilindru-valjku, poluprečnika 1 ili 2 milje koji se pruža do stratosfere. Proračuni za niz tačaka na površini cilindra i niz pretpostavljenih vremena taloženja t biće dovoljni da grubo dadu trag taloženja aktivnog materijala iz radioaktivnog oblaka i vreme pristizanja aktivne čestice. Ovaj je način analize upotrebljen uspešno u Alamo-gordou i na Bikiniju u vezi sa probnim opitima bombi.

¹⁾ Od J. O. Hirschfelder-a.

Pregled mera

1 inch (in.)	inč	= 2,5399 cm
1 foot (ft.)	stopa	= 30,4799 cm
1 yard (yd.)	jard	= 0,9144 m
1 mile (m)	milja (obična)	= 1,5234 km
1 mile nautical (m)	milja nautička	= 1,8532 km
1 square inch (sq.in.)	kvadratni inč	= 6,4516 cm ²
1 square foot (sq.ft.)	kvadratna stopa	= 0,09290 m ²
1 square yard (sq.yd.)	kvadratni jard	= 0,8362 m ²
1 square mile (sq.m.)	kvadratna milja	= 2,589979 km ²
1 cubic inch (cu.in.)	kubni inč	= 16,3872 cm ³
1 cubic foot (cu.ft.)	kubna stopa	= 28,3170 cm ³
1 cubic yard (cu.yd.)	kubni jard	= 0,7644 m ³
1 long ton	duga tona	= 1,016047 t.
1 short ton	kratka tona	= 0,907185 t.
1 registerton	registarska tona	= 2,8317 m ³
1 pound (1b.)	funta	= 0,4536 kg
1 lb/yd		= 0,4082 kg/m
1 lb/ft.		= 1,2245 kg/m
1 lb/in.		= 14,6946 kg/m
1 long ton/sq.ft.		= 10 9367 t/m ²
1 long ton/sq.yd.		= 1,2152 t/m ²
1 short ton/sq.in.		= 140,614 kg/cm ²
1 lb/sq.yd.		= 0,5425 kg/m ²
1 lb./sq.in.		= 0,07031 kg/cm ²
1 long ton/cu.yd.		= 1,3289 t/m ³
1 long ton/cu.ft.		= 35,8815 t/m ³
1 short ton/cu.yd.		= 1,1866 t/m ³
1 short ton/cu.ft.		= 32,0709
1 lb./cu.yd.		= 0,59338 kg/m ³
1 lb/cu.in.		= 0,02768 kg/cm ³

INDEKS

A

- »Able« opit, efekat maglene komore, 2.19, 2.20
 - kiša koja sledi 2.36
 - oblak boje kajsije 2.18, 6.10
 - odbijanje udarnog talasa 3.18
 - oštećenje brodova 5.79—5.82
 - radioaktivnost 8.62
- Apsorpcija, alfa zračenja 8.28, 8.46
 - beta zračenja 8.38—8.42
 - gama zračenja 7.19—7.40
 - koeficijent 6.12, 6.17, 7.21, 7.22—7.24
 - kod obojenih materijala 6.45
 - maseni koeficijent 7.25—7.27
 - toplotnog (termičkog) zračenja 6.24—6.26
 - vazduha 6.17
- Agensi kompleksije, 10.17, 10.30, 10.43, 10.51
- Agensi za uklanjanje pri dekontaminaciji, 10.51
- Agranulocitis, 11.70
- Akustička teorija kod udarnih talasa, eksplozija u vazduhu 3.23, 3.35—3.40
 - kritika 3.41—3.43
 - otstupanja 3.44
 - podvodna eksplozija 4.4, 4.7, 4.13
- Akutni sindrom zračenja, 11.32—11.70, vidi takođe Radijaciona bolest
- »Alamogordo« opit, vidi opit »Triniti«
- Alfa zračenje, 1.17
 - apsorpcija 8.28, 8.46
 - biološko dejstvo 11.24
 - domet 8.46, 11.76, 11.89
 - ionizacija 8.47, 9.1—9.3, 9.6—9.13
 - merenje 9.22, 9.24, 9.37—9.42
- od plutonijuma i uranijuma 8.26—8.28
- opasnost 8.46, 11.76, 11.93
- zatrovanje 12.65, 12.67
- Aluminijum, apsorpcija gama zračenja 7.22
- Aminotriacetična kiselina pri dekontaminaciji 10.51
- Armiranobetonske skeletne gradevine, u Japanu, 5.5, 5.54—5.56
 - u SAD, 5.71—5.73
 - nove zgrade, projektovanje, 12.22a, 12.22b.
 - obloga, 12.32
- Atomska bomba, eksplozija, fenomeni 2.1—2.51
 - dejstva boje, 2.17, 2.18
 - dejstva oblaka, 2.18—2.28
 - eksplozija pod vodom 2.37—2.49
 - eksplozija u vazduhu 2.7—2.36
 - principi, 1.1—1.62
 - vatrena lopta 2.7—2.16
- Atomska bomba, gubici 6.53, 11.1, 11.5—11.14, 11.20—11.23
 - efikasnost, 2.2
 - eksplozija nad vodom, 5.79—5.82
 - eksplozija pod zemljom 5.83—5.93
 - eksplozija pod vodom 5.94—5.122
 - eksplozija u vazduhu 5.40—5.78, 6.68—6.82
 - i nuklearno cepanje 1.27, 1.31—1.55
 - i obične bombe 1.1, 6.2, 12.3
 - i potres zemlje, poređenje 1.37, 4.84, 4.85, 5.84—5.86
 - kao zapaljivo oružje 6.68—6.83

- kritična veličina (ili masa) 1.43—1.45, 8.27
- nominalna 1.36, 2.1, 2.2, 4.10
- oslobođenje energije 1.36, 2.1, vidi takođe Zakon sličnosti
- oslobođenje energije i maksimalno razaranje, 5.29
- osvetljenost, 2.7, 2.16, 6.20—6.23
- oštećenje (šteta) 5.40—5.122, 6.68—6.82

- Atomska bomba, pritisak 2.6
- atomski broj 1.9
 - atomski broj i izotopi 1.10
 - ekvivalent TNT 1.36, 2.1
 - i vreme (atmosferske prilike) 2.31—2.36
 - načela 1.1—1.62
 - nuklearno zračenje 7.1—7.71
 - prilike 2.31—2.36
 - temperatura 2.6—2.13, 6.4—6.10
 - toplotno zračenje 6.1—6.67
 - zračenje 1.59—1.62

- Azot dioksid, obrazovanje, 2.18, 6.10

B

- »Baker« opit, 2.37—2.47

- dekontaminacija brodova 10.2—10.6, 10.39, 10.46, 10.51
- efekat maglene komore, 2.40
- geofizička dejstva, 4.58—4.62
- kube vodenog praha, 2.46
- obrazovanje oblaka 2.42—2.44
- obrazovanje talasa, 4.40—4.57
- oštećenje od udarnog talasa u vodi 5.110—5.114
- oštećenje vodenim talasima 5.118—5.119
- oštećenje od udarnog talasa u vazduhu 5.115—5.117
- pulsevi pritiska, 5.106
- radioaktivno zatrovanje 8.85—8.99
- radioaktivno zatrovanje laguna, 8.94—8.99
- seizmička dejstva, 4.84
- stvaranje »glatkog prstena« 2.39
- šuplji vodeni stub, 2.42—2.44
- taloženje, 2.44
- udarni talas u vazduhu 4.21

- vatrena lopta, 2.38
- veliki talas u podnožju stuba 2.45—2.48, 4.63—4.82, 8.87—8.93
- Bele krvne ćelije, dejstva zračenja, 11.37, 11.44, 11.46—11.49, 11.52, 11.66, 11.92, 11.93
- Beta zračenje, 1.14
- apsorpcija, 8.38—8.42
- biološko dejstvo, 11.25
- dejstvo na kožu, 8.45, 8.112, 11.78, 11.79
- domet, 8.40—8.42, 11.78
- energija, 8.13
- fiziološka šteta, 8.3
- ionizacija, 9.1—9.4
- merenje, 9.24, 9.25, 9.34—9.36, 12.78
- negativno i pozitivno, 1.15
- od produkta cepanja, 8.13
- opasnost, 11.78, 11.79, 12.66, 12.78
- raspadanje produkata cepanja, 8.13—8.15
- snaga (moć) zaustavljanja sredine 8.42
- u radiološkom ratu, 8.111, 8.112

- Beton, apsorpcija gama zračenja 7.27, 7.28
- dekontaminacija, 10.39
 - domet beta zračenja u betonu, 8.44
 - kao konstruktivni materijal, 12.2, 12.53
 - kao neutronska zaštita 7.70
 - kao zaštita od gama zračenja, 7.34, 7.37, 7.45, 7.48
 - zidovi, 12.33
 - vidi takođe Armirani beton

- Bikarbonatni ion kao agens kompleksije, 10.30

- Bikinski opiti, vazdušna eksplozija, vidi »Able«

- podvodna eksplozija, vidi »Baker«

- Biološko vreme poluraspada, 11.87—11.89

- Boje kao efekti atomske eksplozije, 2.17, 2.18, 6.10

- Bor kod zaštite od neutrona, 7.70

- Brodovi, oštećenje od eksplozije u vazduhu, 5.79—5.82

- oštećenje kod podvodne eksplozije, iskustva sa Bikinija, 5.110—5.119
- plitka eksplozija, 5.102—5.109
- teoretska razmatranja, dubina eksplozije, 5.120, 5.121
- Brojnost kod postrojenja, 5.38b, 12.23, 12.25
- Brzina materijala, 3.13, 5.22
- Brzina zvuka, u vazduhu, 3.13
 - kao funkcija pritiska, 5.22
 - u vodi, 4.4.
- C**
- Cepanje, *vidi* Nuklearno cepanje
 - agensi kompleksije, 10.17, 10.30, 10.43, 10.51
 - beta zračenja od fragmenata cepanja, 8.13, 8.14, 8.43, 8.44
 - fragmenti, 1.52
 - i položenje aktivnog i aktiviranog materijala, 8.66, 8.70, 8.73, 8.75, 8.78, 8.79
 - ionizacija, 9.7
 - kontaminacija, *vidi* Zatrovanje
 - raspadanje, 8.8, 8.10, 8.15
 - sastav fragmenata, 1.48—1.53, 8.7, 10.14—10.16
 - usled eksplozije na površini, 8.78
 - usled eksplozije pod zemljom, 8.103—8.105
 - zatrovanje, 8.1, 8.7, 8.64, 10.1, 10.8—10.10, 10.14—10.18, 10.51, 10.52, 10.65, 11.4, 11.73, 12.65, 12.70
- Cepanje jezgra, 1.27—1.30
 - emitovanje neutrona, 7.50, 7.51
 - fragmenti, 1.52
 - i atomska bomba, 1.27, 1.31, 1.55
 - iznosi, 1.48
 - lančana reakcija, 1.39—1.45
 - naknadno zračenje kod atomske eksplozije, 8.1—8.121
 - opasnost naknadnog zračenja kod atomske eksplozije, 11.73—11.95
 - opasnost naknadnog zračenja, kod atomske eksplozije, izvori, 8.1, 8.72
- oslobođenje energije, 1.48
- plutonijuma, 1.30, 1.36—1.55
- početno zračenje, kod atomske eksplozije 7.2—7.70, *vidi takoče Gama zračenje, Neutroni.*
- produkti, 1.48—1.53, *vidi takoče Produkti cepanja*
- raspodela energije, 1.54, 1.55
- sile, 1.32
- uranijuma 235, 1.28, 1.35—1.55
- uranijuma 238, 1.28, 1.45
- zračenje, kod atomske eksplozije, 1.59, 1.61, 7.1
- Crep, klobučanje usled topotnog zračenja, 6.66
- Creva, *vidi* Gastro-intestinalni trakt
- Crvene krvne čelije, dejstva zračenja, 11.45, 11.47, 11.67, 11.91, 11.92
- Čelične fabričke zgrade, oštećenje 5.5, 5.58—5.62, 5.75
 - projektovanje, 12.22c
- Čelo udara, 1.57
 - brzina, 3.7, 3.13
 - i vatrena lopta, 2.9—2.12, 6.5, 6.8
 - jačina, *vidi* Jačina čela udara
 - kod atomske eksplozije, 2.9—2.12
 - kretanje, 3.6, 3.7
 - pritisak, *vidi* Pritisak čela udara
 - razilaženje, 2.12, 6.5, 6.8
 - talas, *vidi* Talas čela udara
 - tok materijala 3.5
 - vreme dolaska, 3.13
- Čelije, dejstvo nuklearnog zračenja, 11.51—11.53
 - osetljivost, 11.53
- Čorak, *vidi* »Fizzle«
- D**
- Dejstva nuklearnog zračenja na ljudе, 11.20—11.164
 - *vidi takoče Povreda od zračenja, Radijaciona bolest*
- Dejstvo nuklearnog zračenja na oči, 11.17, 11.18
- Dejstvo topotnog zračenja na oči, 11.17—11.19
- Dekontaminacija (uklanjanje zatrovanih), 10.1—10.69, 12.64c, 12.72

- agensom kompleksije, 10.17, 10.30, 10.43, 10.51
- bezbednost osoblja, 10.34, 10.35
- brodova kod Bikinija, 10.2—10.6, 10.39, 10.46, 10.51
- čvrsto prionulog materijala, 10.50—10.54
- deponovanje materijala koji zrači naknadnu radioaktivnost, 10.54
- destilacijom, 10.63
- doziranje zračenja, 8.17, 8.18, 10.20—10.25, 12.77
- fizičke metode, 10.41—10.49
- gradova, 10.55—10.57
- hemiske metode, 10.41—10.45, 10.50—10.52
- hitne (prve) mere, 10.26—10.36
- hrane i vode, 10.58—10.65
- industrijskog filma, 10.33
- lako prionulog materijala, 10.46—10.49
- lična, 10.28—10.31
- lična bezbednost, 10.34, 10.35
- od produkata cepanja, 10.17, 10.18
- osoba, 10.28—10.31
- pomoću sredstava za izdvajanje, 10.51
- postupci, 10.26—10.57
- prskanjem vlažnim peskom, 10.37
- sredstva za čišćenje, 10.29, 10.33, 10.44, 10.49, 10.53
- svežom parom, 10.33, 10.44
- uklanjanjem sa površine 10.6, 10.37—10.45
- uklanjanje sa površine, fizičke metode, 10.39—10.41, 10.44, 10.45
- uklanjanje sa površine, hemiske metode, 10.41—10.45
- vode, algama i bakterijama, 10.64
- vodom pod pritiskom, 10.47
- vremenski faktor, 10.2, 10.4, 10.19—10.25
- zamenom jona, 10.52
- zgrada, 10.55—10.57
- Difrakcija udarnog talasa, *vidi* Prelamanje
- Dimnjaci, 5.6, 5.14, 5.33d, 5.64
- Domovi (kuće), u Japanu, 5.44, 5.66
- radioaktivno zatrovanje, 10.57
- u SAD, 5.76
- Dozimetar, neposredno očitavanje, džepni, 9.18, 9.30, 12.75
- Doziranje, zračenje, 8.2, 8.17, 8.18, 10.20—10.25, 12.77
- akutno i hronično, 8.5
- dopustivo (ili tolerancija), 10.65, 12.72
- hronično, 8.5, 11.80
- i genetička dejstva, 11.96
- kod dekontaminacije, 10.20—10.25, 12.77
- merenje, *vidi* Merenje
- na kopnu posle podvodne eksplozije, 8.101, 8.102
- na tlu posle opita »Triniti«, 8.64
- od atomske bombe, 7.42—7.48
- od produkata cepanja 8.15—8.18, 8.32—8.36
- smrtonosno (letalno), 11.26, 11.28, 11.32—11.34, 11.43
- srednje smrtonosno, 7.43, 11.28, 11.30, 11.35—11.38, 11.43
- u atomskom oblaku, 8.80—8.83
- u bikinskem lagunu, 8.94
- usled permanentnog zračenja, 8.50
- u vodi i iznad vode, 8.37
- Doziranje, zračenje, umereno, 11.28, 11.30, 11.39—11.43
- dopustivo (ili tolerancija) 8.4, 10.65, 11.26, 12.72
- od plutonijuma, 8.30, 11.94, 12.72
- primljeno odjednom, 8.2
- tolerancija produkata cepanja, u vazduhu, 12.72
- tolerancija produkata cepanja u vodi, 10.65, 12.72
- tolerancija produkata cepanja plutonijuma, po površini, 8.30
- tolerancija produkata cepanja plutonijuma, u telu, 11.94
- tolerancija produkata cepanja plutonijuma, u vazduhu, 12.72
- tolerancija produkata cepanja plutonijuma, u vodi, 12.72
- Drvo, ugljenisanje i paljenje, 6.49, 6.50, 6.51, 6.64, 6.72, 6.73

- Dubina eksplozije, pod zemljom, 5.88, 5.92
 — pod vodom, 5.102—5.107
- Džepna komora, 9.17, 9.30, 12.76
 — dozimetar, 9.18, 9.30, 12.75
- Džepna komora za ličnu upotrebu, 9.17, 9.30, 12.76
- Džepni dozimetar za ličnu upotrebu 9.18, 9.30, 12.75
- E**
- Efekat maglene komore, 2.19, 2.20, 2.40, 3.12
- Einstein-ova ekvivalentnost mase i energije, 1.34, 7.17
- Ekliptično slepilo, 11.18
- Eksplozija, atomska, 1.4—1.6
- Eksplozija na zemlji, povrede, 11.3
 — udar usled eksplozije u vazduhu, 5.30, 5.31
 — uloga, 5.30
- Eksplozioni udar, oštećenje postrojenja, 5.40—5.82, 12.4
 — povrede kod ljudi, 11.5—11.8
 — talasi, deformacija postrojenja, proračuni, A.1—A.12, *vidi takođe* Udarni talasi
 — zaštita, 12.49—12.57
 — zaštita postrojenja, 12.16—12.33
 — zaštitni zidovi, 12.35
- Eksplozija u vazduhu, 5.40—5.82
 — dopustivi nivoi zatrovanja, 12.72
 — fenomeni 2.7—2.36
 — nad vodom, 5.78—5.82
 — načela, 1.1—1.62
 — nuklearna zračenja, 7.1—7.71
 — potres zemlje, 5.30, 5.31
 — radioaktivno zatrovanje, 8.57—8.77, 8.80—8.83
 — šteta, 5.40—5.82
 — vrste povreda (ozleda), 11.2, 11.3
 — zaštita, 12.16—12.61
 — zaštita od radioaktivnog zatrovanja, 12.63—12.81
- Elastične deformacije, postrojenja, 5.39a, 12.18
 — granica za postrojenja (objekte) 5.32, 5.96, 12.18, 12.20, 12.26
- Elektron, pozitivan i negativan, 1.14
vidi takođe Beta zračenje
- Elektron-volt, 7.16
- Elektroskop, 9.16
- Endosteum, 11.93
- Epilacija, *vidi Kosa*
- Eritema i ultra ljubičasto zračenje 6.56—6.60
- Eritociti, 11.45, *vidi takođe Crvene krvne ćelije*
- Eritroblasti, 11.91
- Etilen dijamin-tetracetična kiselina u dekontaminaciji, 10.51
- F**
- Filmska značka, 9.32, 12.76
- Filteri, za merenje alfa zatrovosti, 9.24, 12.68
 — za zaštitu, 11.86, 12.56
- »Fizzles«, definicija, 1.44
 — radioaktivna opasnost, 8.31, 12.63
- Fluks, energija, 7.21
 — fotona gama zraka, 7.20, 7.39
 — zračenje energije, 6.17—6.23, 6.33
- Fluorescencija, usled nuklearnog zračenja, 9.3, 9.8—9.10
- Fotodetekcija nuklearnog zračenja 9.32, 9.33, 9.36, 9.39
 — dejstva, 9.11, 9.12
- Fotoelektrični efekat gama zračenja, 7.15, 7.17, 7.19—7.29, 7.35
- Fotoni, 6.11—6.14
 — gama zraci, 7.13—7.17, 7.19—7.21, 7.30, 7.32, 7.33, 7.39, 7.40
 — rasipanje, 6.27
 — srednja slobodna putanja, 6.12, 7.30, 7.32, 7.33
- Front udara, *vidi Čelo udara*
- G**
- Gajger - Miler - ov (Geiger - Miller) brojač, 9.25, 9.26, 9.31, 9.34, 9.41
- Gama zračenje, 1.23
 — apsorpcija, 7.19—7.40
 — biološko dejstvo, 11.24
 — koeficijenti apsorpcije, tabularno, 7.37
 — slabljenje, 7.30—7.40, 7.42—7.48, 8.32—8.37
 — usporeno, 7.10, 7.11
- Gama zračenje, doziranje kod atomske eksplozije, 7.42—7.48

- raspodela po vremenu, 7.46
- zakoni sličnosti, 7.46, 12.13
- Gama zračenje kod naknadnog nuklearnog zračenja, 8.8, 8.10—8.12, 8.14—8.18, *vidi takođe* zatrovanje
- izvori, 7.7—7.12
- kod naknadnog nuklearnog zračenja na tlu, 8.32—8.36
- naknadnog nuklearnog zračenja u vodi, 8.37
- opasnost (spoljašnja) kod naknadnog nuklearnog zračenja, 11.79, 12.65, 12.78
- prenošenje, 7.30—7.40, 7.42—7.48, D.1—D.5
- slabljenje kod naknadnog nuklearnog zračenja, 8.32—8.37
- zaklanjanje, 7.5, 7.31—7.37, 7.43—7.45, 7.48
- zaštita od naknadnog nuklearnog zračenja, 12.2, 12.10
- Gama zračenje, materijali koji emituju zračenje u radiološkom ratu, 8.113, 8.119
- energija i koeficijent apsorpcije, 7.22—7.24
- fiziološke povrede, 7.18, 7.41
- intenzitet, 7.39
- interakcija, *vidi* Uzajamno dejstvo sa materijom
- ionizacija, 7.18, 9.4
- kod početnog nuklearnog zračenja, 7.3—7.12, 7.44
- merenje, 9.28—9.33, 12.74
- prodornost, 7.3
- slabljenje 7.30—7.40, 7.42—7.48
- trenutno, 7.9, 7.11
- uzajamno dejstvo, fotoelektrični efekat, 7.15, 7.17
- uzajamno dejstvo, Komptonov efekat, 7.13, 7.14, 7.17.
- uzajamno dejstvo sa materijalom, 7.13—7.48
- uzajamno dejstvo sa materijalom, stvaranje parova, 7.16, 7.17
- Gasna amplifikacija, 9.23, 9.25
- ekspanzija i kontrakcija, *vidi* Sirenje i skupljanje
- kod podvodne eksplozije, 2.38, 2.39, 2.42, 2.49, 4.1, 4.8, 4.10, 4.22—4.31, 4.37—4.39, 5.108
- mehur kod podzemne eksplozije, 4.2, 4.86, B.1
- obrazovanje vodenog stuba, 4.37, 4.38
- perioda oscilacije, 4.24, 4.25
- poluprečnik, 4.24
- širenje i skupljanje, 4.22—4.28
- Gastro-intestinalni trakt, dejstva zračenja, 11.34, 11.36, 11.37, 11.65, 11.66, 11.70
- Genetička dejstva kod ljudi, 1.25, 11.97—11.104
- Genetička dejstva zračenja, 11.25, 11.96—11.104
- Geni, 11.97
- »Glatki prsten« kod podvodne eksplozije, 2.39, 2.40, 4.33
- Gorenje, *vidi* Paljenje
- Granica vidljivosti i koeficijent slabljenja, 6.31
- Granit, rapavljenje od topotnog zračenja, 6.65
- Granulociti, dejstva zračenja, 11.44, 11.45, 11.46, 11.58, 11.59, 11.70
- Gubici usled eksplozionog udara, 11.5
 - i visina eksplozije, 11.2—11.4
 - kobni, otstojanje od eksplozije 12.15
 - usled opeketina, 6.53, 11.1, 11.9—11.16, 11.20
 - usled radijacione bolesti, 11.1, 11.20, 11.31, *vidi takođe* Povrede
- Gvožđe, koeficijent apsorpcije za gama zračenje, 7.22
 - oksidi u betonu kao zaklon od neutrona, 7.70

H

- Hemija za otkrivanje radioaktivnih tragova, 10.11—10.13
- Hemorogija, usled zračenja, 11.34, 11.36, 11.65, 11.67—11.70, 11.79
- Hirošima, *vidi* Japansko iskustvo
- Hloridni joni kao agens kompleksije, 10.17
- Hromozomi, 11.97
- Hvatanje periferiskog neutrona, 1.17

I

- Impuls, kao kriterij štete, 5.24—5.29
 — udarnog talasa pod vodom, 4.12, 4.14
 »Independence« brod SAD, radioaktivno zatrovanje, 10.4, 10.5
 Inducirana radioaktivnost, *vidi Izazvana radioaktivnost*
 Industrijske zgrade, oštećenje, 5.5, 5.58—5.62, 5.75
 — film, dekontaminacija, 10.33
 — projektovanje, 12.22c
 Infracrveno zračenje i opekotine kože, 6.61, 6.62
 Instalacije za ublažavanje nesreće, 12.46—12.48
 Instrumenti (sprave) za ispitivanje (zračenje), 9.19, 9.29, 9.31, 9.35, 9.37—9.41, 12.78
 Instrumenti za nuklearno zračenje, *vidi Merenje, Upozoravanje*
 Intenzitet zračenja, 7.21, *vidi takođe Fluks*
 Ispitivanje zatrovanosti (kontaminacija) iz vazduha 8.35, 8.36, 12.66, 12.78
 Isteđljivost postrojenja, 5.38c, 12.23, 12.26
 Izazvana (inducirana) radioaktivnost, 8.1, 8.19—8.25, 8.57, 8.62, 8.64, 8.78, 10.1
 Izloženost zračenju, akutna, 8.5, 11.25, 11.27—11.72
 — hronična, 8.5, 11.25, 11.27, 11.80, 11.90—11.94
 — *vidi takođe Doziranje*
 Iznenadenje, postupak kod atomske eksplozije, 12.58, 12.61, *vidi takođe Mere izbegavanja.*
 — dekontaminacija, 10.26—10.36
 Izotermička kugla, 2.8, 6.5
 Izotopi, definicija, 1.10
 — identifikacija, 1.22, 10.11—10.13
 — radioaktivni, 1.11—1.23
 — vreme poluraspada, 1.18—1.21
 Izvori materijala za radiološki rat, 8.107—8.109

J

- Japansko iskustvo, gubici, 6.53, 6.61, 6.83, 11.1, 11.2, 11.5—11.8, 11.20

- dejstvo na oči, 11.17—11.19, 11.71, 11.72
 — dejstva topotnog zračenja, 6.52, 6.53, 6.61, 6.63—6.67
 — genetička dejstva zračenja, 11.102, 11.103
 — katerakte, 11.91, 11.92
 — objekti otporni prema zemljotresu, 5.54, 5.71, 12.18, 12.22a
 — obrazovanje keloida, 11.11
 — oštećenje konstrukcija, 5.40—5.69
 — povrede, 11.2
 — povrede usled eksplozionog udara, 11.5—11.8
 — povrede usled opekotina, 6.53, 6.61, 6.83, 11.1, 11.2, 11.9—11.14
 — požari, 6.68—6.82, 12.43—12.45
 — požarna oluja, 6.80—6.82
 — požarne stanice, 6.78
 — radijaciona bolest, 11.30, 11.31, 11.39, 11.43—11.45, 11.55, 11.57, 11.61—11.64, 11.79
 — radioaktivno zatrovanje, 8.59, 11.74
 — skloništa, 5.70
 — smrtnost i udaljenje od eksplozije, 12.18
 — snabdevanje vodom, onesposobljenje, 6.78
 — temperatura i nulta tačka, 6.46
 — zapaljiva dejstva, 6.68—6.82, 12.43—12.45
 Jačina čela udara, definicija, 3.51
 Jezgro, složeno, 1.25, 7.7
 — pobuđeno, 1.23, 1.25, 7.7, 7.8
 Jonizacija i fiziološka povreda, 7.18, 7.41, 8.3, 8.39, 8.47, 11.21, 11.24
 — i rendgen, 7.41
 — specifična, 9.7, 9.35
 Jonizaciona komora, 9.14—9.22, 9.29, 9.30, 9.34, 9.35, 9.38, 9.39
 Jonizaciona struja, 9.20
 Jonizacija usled alfa zračenja, 8.47, 9.1—9.4
 — usled beta zračenja (ili elektrona), 7.18, 8.39, 9.1—9.4
 — usled čestica sa električnim nabojem, 9.1—9.3
 — usled gama zračenja, 7.18, 9.4

- usled neutralnih čestica, 9.4, 9.5
- usled neutrona, 9.5

K

Kalijum, radioaktivnost u bikinskem lagunu, 8.97
— u telu, 8.49

Karakteristična vremena kod eksplozije u vazduhu, 5.13
— kod eksplozije pod vodom, 5.98, 5.101, 5.103

Katarakte, usled nuklearnog zračenja, 11.71, 11.72

Kavitacija kod podvodne eksplozije, 4.18, 4.19, 4.34, 4.35, 5.100

Kiri, definicija, 8.9

Kiša, usled velikog talasa u podnožju vodenog stuba i taloženja, 8.86, 8.90, 8.92
— radioaktivna, 8.75

— usled požarne oluje, 6.80, 6.81

Klein-Nishina-nov obrazac, 7.41

Ključne instalacije, konstrukcija, 12.28—12.30
— kontrolni centri i centri prve pomoći, 12.46—12.48

— vojne, 12.30

Koefficijent apsorpcije, 6.12, 6.17, 7.21, 7.22—7.24

Komisija za gubitke od atomske bombe, 11.28, 11.71, 11.102

Kompleksni joni, 10.10, 10.17

Komptonov efekat (ili rasipanje), 7.13—7.14, 7.17
— i apsorpcija gama zračenja, 7.19—7.40

— i atomska težina, 7.14, 7.26
— i nepovoljna okolnost, 7.30

— i povoljna okolnost, 7.29
— i višestruko rasipanje, 7.30—7.40

Konstrukcija, projektovanje novih, 12.6—12.27
— bitna, 12.28—12.30, 12.46—12.48

— podzemlja, 12.28, 12.29, 12.45
— skloništa, 12.52—12.56

— zaštitne mere, 12.9—12.14

Kontaminacija, *vidi* Zatrovanje

Kontrolni centri (komandna mesta) konstrukcija, 12.46—12.48

Kosa, dejstvo nuklearnog zračenja, 11.34, 11.37, 11.40, 11.63, 11.64, 11.71
— dejstvo topotnog zračenja, 11.14

Kosmički zraci, 8.49, 8.50
Kost, taloženje radioaktivnosti, 11.83, 11.90, 11.91, 11.93
— endosteum, 11.93
— periosteum, 11.93
— srž, dejstva zračenja, 11.45, 11.50, 11.53, 11.58, 11.59, 11.67, 11.70, 11.93
— trabekula, 11.93

»Kretanje nasumce« neutrona, 7.66
— protona, 6.14

Kristalni detektori, 9.9, 9.10
Kritična veličina (ili masa) za atomsku bombu, 1.43—1.45, 8.27

Kritične energije — topotne za paljenje, itd. 6.48—6.52

Krive pritisak-vreme, 5.10, 5.15, 5.32, 5.33d, 12.17, 12.18, 12.20, 12.39, A.1

Krustost postrojenja, 5.38a, 12.23, 12.24

Krv (i krvne ćelije), dejstva zračenja, 11.36, 11.37, 11.40, 11.42, 11.44, 11.49, 11.50, 11.51, 11.58, 11.59, 11.66, 11.67, 11.69, 11.70, 11.91, 11.92

Kube vodenog praha, kod podvodne eksplozije, 2.41, 2.43, 4.33—4.36

Kvantna mehanika, 7.20, 8.40
— teorija, 6.12

L

Leukociti, 11.44, *vidi takođe* Bele krvne ćelije

Lična zaštita od dejstva nuklearnog zračenja, 12.1—12.82

Limfatična tkiva, dejstva zračenja, 11.44, 11.53—11.57

Limfne žlezde, dejstva zračenja, 11.54, 11.58, 11.67

Limfociti, dejstva zračenja, 11.44, 11.45, 11.46, 11.56, 11.58, 11.94

Limfoidno tkivo, dejstva zračenja, 1.53—11.57

Limunska kiselina kao agens kompleksije, 10.17, 10.51

Linearni koeficijent apsorpcije, 7.25, *vidi takođe* Koeficijent apsorpcije

M

- Mahov efekat, 3.42, 3.49, 3.52—3.72, 5.17, 5.18
 — i razaranje, 3.71
 — i trojna tačka, 3.55—3.58, 3.62—3.67
 — odbijanje, *vidi* Udarni talas, stablo, 3.42—3.49
 — ravni udarni talasi, 3.52—3.58
 — sferni udarni talasi, 3.59—3.67
 — Y, 3.53, 3.56, 3.62, 3.66, 3.67, 3.71, 5.18

Masa, koeficijent apsorpcije, 7.25—7.27

- definicija, 1.9
- distorzija zgrada, 5.41
- *vidi* Maseni broj

Maseni broj, 1.9

- izotopa, 1.10
- pri cepanju, 1.48—1.51

Maseni koeficijent apsorpcije, 7.25—7.27

Maske, zaštitne, 12.81

Mašjne alatljike, oštećenje u Japangu, 5.63

Materijal koji se cepa, *vidi* Plutonijum i Uranijum 235

Megakiri, definicija, 8.9

Merači u vidu značke za ličnu upotrebu, 9.32

Mere izbegavanja, gama zračenja, 7.46

- neutronskog zračenja, 7.66, 7.67
- toplotnog zračenja, 6.62, 12.58—12.61

Merjenje nuklearnog zračenja, 9.1—9.42

- Fluorescencijom, 9.8—9.10
- foto dejstvima, 9.11, 9.12
- hemiskim dejstvima, 9.13
- ionizacijom, 9.1—9.7, 9.14—9.26, 9.28—9.31
- *vidi takođe:* Alfa zračenje, Beta zračenje, Kristalni detektor, Gama zračenje, Geiger-Milerov brojač, Jonizaciona komora, Neutroni, Proporcionalni brojač.

Meteorološki uslovi i veliki talas, 4.80—4.82

- analiza putanje (trajektorije), 8.77, F.1
- radioaktivno zatrovanje, 8.61, 8.87
- taloženje aktivnog i aktiviranog materijala, 8.74—8.77

Mev, *vidi* Milion elektronvolti

Milion elektronvolti, 7.16

Morska voda, eksplozija u vazduhu nad morskom površinom, 8.57, 8.62

- inducirana radioaktivnost, 8.25

Mostovi, projektovanje, 12.22d

- u Japanu, 5.37, 5.67
- u SAD, 5.77

N

Natpritisak, udar, definicija, 3.2, *vidi takođe* Udarni pritisak

Nagasaki, *vidi* Japansko iskustvo

Najveća aproksimacija za udarni talas, 4.11

Natrijum, radioaktivni, 1.26, 2.30, 8.22—8.25, 8.62, 8.84

Neptunijum, 1.29

Neutroni, 1.7

- biološka efikasnost, 11.24
- brzi i spori, 1.45, 7.57, 7.59—7.61
- difuzija, 7.53—7.60
- elastično rasipanje, 7.54
- hvatanje, 1.25, 1.26
- i cepanje, 1.39, 7.50, 7.51
- opasnost, 7.49, 7.52
- otkrivanje (detekcija), 9.5
- spektar energije od atomske bombe, 7.52—7.61
- usporeni, 7.50, 7.52

Neutroni, intenzitet, kao funkcija otstojanja, 7.58, 7.59, 7.63

- izvori, 7.49

— jonizacija, 9.4, 9.5, 11.21

— kao izvori gama zračenja, 7.7—7.9, 7.12

— naknadna radioaktivnost, *vidi* Naknadna radioaktivnost.

— odnos prema protonima, 1.12

— odnos prema protonima i cepanje 1.50, 1.51

i maseni broj 1.33

i radioaktivnost 1.13, 1.14, 1.17

— prodornost, 7.3

- radijalna raspodeљa od atomske bombe 7.58, 7.59, 7.63
- smrtonosna granica, 7.62, 7.66, 7.67
- smrtonosni (letalni) intenzitet, 7.62
- srednja slobodna putanja, 7.58, 7.59
- toplotni, 7.55
- usporavanje, 7.53—7.61
- zaklanjanje, 7.66, 7.69—7.76
- zakoni sličnosti, 7.68, 12.13

Nominalna atomska bomba, definicija, 1.36, 2.1, 2.2, 4.10

Nuklearno zračenje, naknadno, vidi takođe Beta zračenje, Gama zračenje, Izazvana (inducirana) radioaktivnost.

- dejstva na ljude, vidi Povrede od zračenja, Radijaciona bolest
- dejstvo na fotografске emulzije, 9.11, 9.12
- doziranje, vidi Doziranje
- fluorešcencija usled, 9.3, 9.8, 9.7
- jonizacija usled, 9.1—9.7
- merenje, 9.1—9.42, vidi takođe Merenje nuklearnog zračenja
- neutralno, 9.1
- osobine, 9.1—9.13, vidi takođe Alfa, Beta, Gama zračenje, Neutroni, Nuklearne reakcije, 1.24—1.30
- otkrivanje, 9.1—9.42, vidi takođe Merenje nuklearnih zračenja
- sa električnim nabojem, 9.1

Nukleon, definicija, 1.7

O

Oblak atomski, 2.21—2.28

- brzina dizanja, 2.25
- dostignuta visina, 2.26, 2.28
- i inverzioni slojevi, 2.27
- i položenje, 2.29, 2.30, vidi takođe Taloženje
- i veliki talas u podnožju vodenog stuba, 2.46, 4.67—4.70, 4.80—4.82
- kod podvodne eksplozije, 2.42—2.44, 8.86

- radioaktivnost, 8.57, 8.60, 8.61, 8.66, 8.68, 8.70, 8.75, 8.80, 8.83

Obrazovanje keloida, 11.11

Obrazovanje kratera, 2.24, 3.32

- gubitak energije, 2.23, 2.32
- kod podzemne eksplozije, 5.92—5.93, 12.36, 12.37, 12.39, B.27—B.29
- radioaktivno zatrovanje, 8.66, 8.78, 8.104, 8.105

Oči, dejstvo topotnih zračenja, 11.17—11.19

Odbijanje udarnih talasa, koeficijent, 3.60, 5.18

- kao funkcija upadnog ugla, 5.18
- vidi takođe Udarni talasi, odbijanje

Odelo i alfa zračenje, 8.28, 8.46

- i beta zračenje, 8.45
- i gama zračenje, 7.43, 11.30
- i topotno zračenje, 6.55, 6.67, 11.9, 11.13
- zaštitno, 10.35, 12.79—12.81
- zatrovanje, 10.28, 10.57

Ojačanja, 12.33

Oksidi azota, stvaranje, 2.18, 6.10

Olovo, koeficijent za gama zračenje, 7.22, 7.23, 7.28

- višestruko rasipanje gama zračenja, 7.36
- zaklanjanje, 7.36, 7.37, 7.40

Opasnost od spoljašnjeg zračenja, 8.29, 11.75—11.80

Opasnost unutrašnjeg zračenja, 8.30, 8.31, 10.18, 11.75, 11.81—11.95, 12.72, 12.74

Opekotine kože, 6.48, 6.50, 6.52, 6.53—6.67, 11.9—11.16, 12.4

Opekotine, gubici usled opekotina, 6.53, 11.1, 11.2—11.4, 11.20

- kože 6.48, 6.50, 6.52, 6.53—6.67, 11.9—11.16, 12.4
- lečenje (postupak) 11.15, 11.16
- od bleska (munje), 6.48, 6.50, 6.53—6.67, 11.1, 11.9—11.16
- od plamena, 6.83, 11.1, 11.9—11.16
- profilne, 6.54, 11.9
- srazmerni značaj infracrvenih i ultraljubičastih zračenja, 6.56—6.62

- zaštita, 12.59
- Opekotine od bleska (munje), *vidi* Opekotine
- Opekotine od plamena, *vidi* Opekotine
- Opterećeni (masivni) zidovi, 5.5, 5.65, 5.90
- Opterećenje na konstrukcije, dinamičko i statičko, 12.18, 12.21, 12.54
- Organske kiseline, kao agensi kompleksije, 10.17, 10.51
- Oslobađanje energije pri cepanju, 1.31—1.38, 1.54, 1.55
 - kao gama zračenje, 1.55, 7.4
 - kao eksplozionali udar, 1.38, 1.55
 - kao neutronska energija, 1.55, 7.49
 - kao toplotno zračenje, 6.2, 6.35
- Osvetljenost, 6.20
- Osvetljenost, *vidi* Fluks, zračena energija
- Osvetljenost vatrene lopte, 2.7, 2.16, 6.18—6.23
- Oštećenje, mašina alatljika, 5.63
 - brodova usled eksplozije u vazduhu, 5.79—5.82
 - brodova usled eksplozije pod vodom, 4.30, 5.110—5.113, 5.116, 5.118—5.121
 - i energija bombe, 5.48
 - i ugao udara eksplozionog talasa, 5.17, 5.18
 - kriterij, 5.23, 5.29
 - ljudi, *vidi* Povrede
 - mostova, 5.67, 5.77
 - postrojenja, usled eksplozije u vazduhu, 5.1—5.77, 12.4, 12.5
- Oštećenje postrojenja, uticajni faktori, 5.7—5.16, 5.32—5.39
 - armirani beton, 5.54—5.56
 - barake, 5.58—5.62, 5.75
 - čelični skelet, 5.57, 5.74
 - domovi (kuće), 5.66, 5.76
 - drveni skelet, 5.66, 5.76
 - i Mahov efekat, 3.70, 3.72
 - i oblik, 5.6
 - i udarni pritisak, 3.2, 3.50, 3.70, 5.23—5.27
 - i visina eksplozije, 3.20, 3.31—3.34, 3.68—3.72
- industrijske zgrade, 5.58—5.62, 5.75
- i sišuće dejstvo vетра, 5.2, 5.6
- jačina konstrukcije, 5.4, 5.5
- kao funkcija otstojanja, 5.45—5.47
- na velikim daljinama, 5.52—5.53
- otpornost prema oštećenju, 5.38, 12.22—12.27
- sa opterećenim (konstruktivnim) zidovima, 5.65
- u Japanu, 5.40—5.66
- usled podzemne eksplozije, 5.116, 5.117
- usled udarnog talasa, 3.1—3.3, 5.1—5.121
- usled vatre, 6.68—6.82
- Otkrivanje zatrovanoosti, vazdušnim putem, 8.35, 8.36, 12.66, 12.78
 - instrumenti, 9.27—9.42, 12.75—12.78
 - područja, 9.19, 9.29, 9.31, 9.34—9.41, 12.8, 12.66—12.68
 - vazduha, 12.68
- P**
- Paljenje materijala, 6.48—6.51, 6.72, 6.73
- Periosteum, 11.93
- Permanentno zračenje, 8.48—8.51
 - bikinskog laguna, 8.97
- Pirofosforna kiselina kod dekontaminacije, 10.51
- Plankova teorija kvanta, 6.12
 - funkcija zračenja, 6.15, 6.18
 - zakon, 6.15
- Plastična deformacija postrojenja (konstrukcije), 5.32, 5.38c
 - granica, 12.21
 - projekat, 12.19, 12.21
 - vreme, 5.98
- Pločice (krvne), 11.58, *vidi takođe* Trombociti
- Plutonijum, 1.29
 - alfa čestice, 11.89, 11.93
 - biološko vreme poluraspađa, 11.88, 11.89, 11.93
 - cepanje, 1.30, 1.45, *vidi takođe* Cepanje jezgra
 - dopustive količine (tolerančija)

- u vazduhu, 12.72
- u telu, 11.94
- po površini, 8.30
- u vodi, 12.72
- opasnost od, 8.30, 8.31, 11.81, 11.84, 11.93
- radioaktivno zatrovanje (kontaminacija), 8.1, 8.26—8.31, 10.1, 10.18, 11.14, 11.73, 12.65
- vreme poluraspada, 1.30
- zatrovanje sveta, mogućnost, 8.52, 8.54, E.1
- Pobudeno stanje, 1.23, 1.25, 7.7, 7.8, 8.38, 9.3
- Početno nuklearno zračenje, 7.2—7.70.
 - opasnost, 11.27
 - *vidi takođe* Gama zračenje, Neutroni
- Područja cilja, 12.16
- Podvodna eksplozija, »pozniji izliv«, 4.5
 - dubina eksplozije, 5.102—5.107
 - fenomeni, 2.37, 2.49
 - fenomeni, duboka eksplozija, 2.48, 2.49
 - fenomeni, plitka eksplozija, 2.37—2.47
 - gasni mehur, 2.33, 2.39, 2.42, 2.49, 4.1, 4.8, 4.10, 4.22—4.31, 4.37—4.39, 5.108
 - geofizička dejstva, 4.58—4.62
 - »glatki prsten«, 2.39, 2.40, 4.33
 - kuge vodenog praha, 2.41, 2.43, 4.33—4.36
 - obrazovanje oblaka, 2.42—2.44
 - povrede, vrste, 11.4
 - preplavljivanje, 5.104
 - radioaktivno zatrovanje (kontaminacija) usled velikog talasa u podnožju vodenog stuba i taloženja, 8.86—8.102, 11.74, 12.5, *vidi takođe* Zatrovanje (kontaminacija).
 - radioaktivno zatrovanje vode, 8.25, 8.37, 8.94—8.99
 - stub raspršene vode, 2.42—2.44, 5.118
 - šteta, dubina eksplozije, 5.120—5.122
 - šteta, plitka eksplozija, 5.105, 5.106, 5.110—5.119, 12.5, 12.40, 12.41, *vidi takođe* Oštećenje
 - talasi, 4.40—4.57, *vidi takođe* Opiti »Baker«
 - udarni talas, u vazduhu, 4.21, 5.115—5.117, 12.5
 - udarni talas, u vodi, *vidi* Udarni talas u vodi
 - vatrena lopta, 2.38
 - veliki talas u podnožju stuba, 2.45—2.50, 4.63—4.82, *vidi takođe* Veliki talas u podnožju stuba
 - vodeni stub, 2.42—2.44, 4.36—4.39, 4.64—4.69, 5.118, 8.86
- Podzemna eksplozija, odbijanje udarnog talasa, 4.89—5.88
 - i karakteristike tla, 4.89—4.91, 5.86, 5.87, B.5—B.7, B.13, B.14
 - konstruktivno projektovanje, 12.36—12.39
 - konstrukcija, 12.28, 12.29, 12.45
- Podzemna eksplozija, veliki talas na podnožju stuba, 2.50
 - dubina eksplozije, 4.86—4.88
 - eksperimentalna studija, B.1—B.29
 - gasni mehur, 4.2, 4.86
 - impuls u slobodnoj zemlji, B.16—B.19
 - i potresi zemlje (zemljotresi), upoređenje, 4.84, 4.85, 5.83—5.86
 - najveći pritisak u slobodnoj zemlji, B.8—B.18
 - obrazovanje kratera, 5.92, B.27—B.29
 - oštećenje, procenjeno, 5.88—9.93
 - radioaktivno zatrovanje, 8.1, 8.24, 8.103—8.106, 11.74
 - širenje udarnog talasa, B.1—B.4
 - ubrzavanje čestica u slobodnoj zemlji, B.20—B.27
- Podzemne komunikacije, 12.39
- Polja (strane) dejstva udarnog talasa, 5.15
- Positron, 1.14, *vidi takođe* Beta zračenje (pozitivno)

- Postrojenja, dejstva eksplozionog udara, uticajni faktori, 5.32—5.39**
- jačina, 5.4, 5.5
 - oblik i veličina, 5.6, 5.33d
 - pravac eksplozije, 5.33c
 - visina eksplozije, 5.33b
 - zaklanjanje, 5.34
- Postrojenja, odbijanje eksplozionih talasa, 5.7—5.16**
- kriva pritisak—vreme, 5.10, 5.15, 12.17, 12.18, A.1—A.12
 - opterećenje, statičko i dinamičko, 12.18, 12.21, 12.54
 - otporna prema potresu zemlje, 5.44, 5.54, 5.71, 5.73, 12.8, 12.22a, 12.22b
 - otpornost prema oštećenju, uticajni faktori, 5.32—5.39
 - zaštita, 12.9—12.14
- Postrojenja, oštećenje, vidi Oštećenje**
- deformacija od eksplozionog talasa, proračun, A.1—A.12
 - dekontaminacija, 10.55
- Postrojenja, projektovanje novih, 12.16—12.27, 12.36—12.41**
- armiranobetonska, 12.18, 12.22a, 12.22b
 - čelična fabrička, 12.22c
 - ključna, 12.28—12.30
 - mostovi, 12.22d
 - otporna prema potresu zemlje (zemljotresu), 12.18, 12.22a, 12.22b
 - otporna prema požaru, 12.42
 - sa čeličnim skeletom, 12.22a
 - smanjenje zatrovanja (kontaminacije), 10.67
- Postrojenje, projektovanje novih, 12.16—12.27, vidi takođe Konstrukcija**
- Potresi zemlje, i atomska eksplozija, 4.84**
- projektovanje otporno protiv potresa zemlje, 5.54, 5.71, 5.73, 12.18, 12.22a, 12.22b
 - projektovanje otpornih postrojenja, 5.44, 5.54
 - Rihterova (logaritamska) skala, 4.84
 - veličina, 4.84
- Povrede očiju kod ljudi, 11.17, 11.19, 11.71, 11.72**
- Povrede od eksplozionog udara kod ljudi, 11.5—11.8**
- Povrede od opekotina kod ljudi, 11.9—11.16**
- Povrede od zračenja, 11.22, 11.24, 11.74, 11.80**
- genetička, 11.96—11.104
 - unutrašnja, 11.81
 - usled beta zračenja, 11.78, 11.79
- Povrede usled eksplozionog udara, 11.5—11.8**
- i visina eksplozije, 11.2—11.4
 - očiju, 11.17, 11.19, 11.71, 11.72
 - usled nuklearnog zračenja, 7.18, 8.3, 8.39, 8.47, 9.28, vidi takođe Povreda od zračenja, Radijaciona bolest
 - usled opekotina, 6.52—6.55, 6.61, 11.9, 11.16, 11.20
 - vrste, 11.1
- Površine cilja, vidi Područje cilja**
- Površina oštećenja, 5.47, 12.4, 12.5**
- i energija bombe, 5.27, 5.28, 12.13
- Pozniji izliv kod podvodne eksplozije, 4.5**
- Požar (vatra) usled atomske bombe, 6.68—6.82**
- borba protiv požara, 12.44, 12.45
 - dejstvo eksplozionog udara, na širenje, 6.77
 - i snabdevanje vodom, 6.79
 - kapci, 6.75
 - otpornost postrojenja (objekata), 12.42
 - požarna oluja, 6.80—6.82
 - požarni odredi u Japanu, 6.78
 - širenje, 6.69, 6.75, 6.81
 - uzroci, 6.73—6.74
- Požarna oluja, vidi Požar**
- Požarne stanice, konstrukcija, 12.46—12.48**
- Prašina, rastojanja koja pređe, 8.72, 8.73**
- filter, za merenje alfa zračenja, 9.24, 12.68
 - filter za zaštitu, 11.86, 12.56
 - radioaktivna, 8.65, 8.67, 11.86, 12.81

- radioaktivna u taloženju, 8.67
— 8.74
 - Prečnik vatrene lopte, 2.7—2.12,
2.15, 6.4—6.6
 - Prelamanje udarnog talasa na po-
strojenjima (objektima) 3.21, 3.22,
5.7—5.16, 5.23, 5.24
 - Prepreke protiv pošara, 6.76, 12.43
 - Preseći dejstva, 8.19
 - i apsorpcija gama zračenja,
7.19—7.21
 - Pristanišne instalacije, oštećenje,
5.114, 5.122, 12.5, 12.40
 - radioaktivno zatrovanje, 8.95,
8.100, 12.5
 - Pritisak čela udara (ili natpritisak),
3.2
 - i jačina udara, 3.51
 - i oštećenje, 3.62, 5.24—5.29
 - i podvodna eksplozija, 4.11,
4.14
 - i upadni ugao, 3.35, 3.50, 3.51
 - i visina eksplozije, 3.72
 - na postrojenja (objekte), 5.7—
5.16, 5.19, 5.20, A.1—A.12
 - upadni i odbijeni, 3.23, 3.24;
3.37, 3.38, 3.60, 3.61
 - zakoni sličnosti, 3.14—3.19
 - Pritisak stagnacije, 5.12, 5.15 5.16,
5.35
 - Probijanje površine, kod podvodne
detonacije, 4.18, 5.101
 - dejstva kod podvodne eksplo-
zije, 4.32—4.39
 - dejstva na kretanje mehura,
4.27
 - eksplozija, radioaktivno za-
trovanje, 8.78, 8.79
 - vrste povreda, 11.3
 - Produkti cepanja, zatrovanje zemljji-
šta (kontaminacija) pored obala i
brodova, 8.89—8.93, 8.101
 - domen, 1.48
 - dopustivi nivoi (ili tolerancije)
u vazduhu, 12.72
 - dopustivi nivoi u vodi, 10.65,
12.72
 - doziranje zračenja, 8.15—8.18
 - doziranje zračenja nad ze-
mljom (tlom) 8.33—8.36
 - doziranje zračenja u vodi,
8.37
 - gama zračenje od produkata
cepanja, 7.4, 7.10, 8.8, 8.10—
8.12, 8.14
 - maseni broevi, 1.45—1.51
 - opasnost, hronična, 11.27
 - opasnost unutrašnja, 11.81,
11.84, 11.90, 11.91, 11.94
 - opit, 10.8
 - radioaktivnost, 1.50—1.53, 1.61,
8.8, 8.10—8.18
 - raspadanje, 8.8, 8.10—8.15
 - slabljenje gama zračenja, 8.32
— 8.37
 - svetsko zatrovanje, mogućnost,
8.52, 8.53, E.2
 - voda, 8.84, 8.85, 8.94—8.99
 - vreme poluraspada, 1.53
- Profilne opeketine, *vidi* Opekotine
- Projektovanje postrojenja, *vidi* Kon-
strukcije i postrojenja
- Promene, 11.97
 - prouzrokovane zračenjem, 11.98
— 11.104
- Proporcionalni brojač, 9.23, 9.24,
9.31, 9.34, 9.40
- Proton i atomski broj, 1.9
 - definicija, 1.7
 - ionizacija usled, 9.5
 - odbijanje, 9.5
 - odnos prema neutronima, *vidi*
Neutron — odnos prema pro-
tonima
- Prozori, 5.6, 5.33d, 5.47d, 5.47c, 5.56g,
6.75, *vidi takođe* Staklo
- R**
- Radijaciona bolest, 11.22—11.24, 11.28
 - 11.70, 11.74, 11.80
 - dijagnoza, 11.47—11.49
 - klinički sindrom, 11.32—11.50,
11.80
 - latentni period, 11.33, 11.35,
11.40
 - patologija, 11.51—11.72, 11.80
 - postupak, 11.50
 - promene krvi, 11.44—11.49
 - temperatura tela, 11.34
 - *vidi takođe*, Alfa, Beta, Gama
zračenje, Zračenje jezgra, To-
plotno zračenje, Neutroni
- Radioaktivnost, 1.11—1.23
 - alfa, 1.17

- beta, 1.14—1.16
 - izazvana neutronima u morskoj vodi, 8.25
 - izazvana neutronima u zemlji, 8.21—8.24
 - u ljudskom telu, 8.49
 - Radioaktivna kontaminacija, *vidi Radioaktivno zatrovanje*
 - Radioaktivno zatrovanje, *vidi Zaštitu od radioaktivnog zatrovanja*
 - izotopi, *vidi Izotopi*
 - raspadanje, 1.18
 - vreme poluraspada, 1.18—1.21
 - Radioizotopi, *vidi Izotopi, radioaktivni*
 - Radiološka odbrana, 12.7, 12.8, *vidi takođe Zaštita od radioaktivnog zatrovanja*
 - Radiološki rat, 8.107—8.121
 - identifikacija izotopa, 10.10—10.13
 - izvori materijala za, 8.107—8.109
 - kao izvor zatrovanja (kontaminacije), 10.1, 10.47, 11.74
 - nedostaci, 8.117—8.120
 - prednosti, 8.114—8.116
 - zaštita, 12.51, 12.62—12.81
 - Rankine-Hugoniot-ovi uslovi, 3.5, 3.7, 3.11, 3.12
 - Rasipanje, gama zračenja, 7.13, 7.14, 7.21, 7.25, 7.30, *vidi takođe Komptonov efekat*
 - neutriona, 7.54
 - toplotnog zračenja, 6.24—6.26
 - višestruko, 7.30—7.37
 - Raspodjni organi, dejstva zračenja, 11.34, 11.52, 11.60—11.62
 - »Razilaženje« kod čela udara, 2.11, 6.8
 - Rayleigh-ovo rasipanje, 6.25, 6.26, 6.31
 - Reakcije radijativnog hvatanja, 1.25, 1.26, 7.7, 7.69, 8.19, 8.26, 8.109
 - Rendgen, definicija, 7.41, C.1
 - i apsorpcija energije C.2, C.3
 - kao mera fiziološkog dejstva, 11.24
 - merenje, C.6—C.16
 - Respiratori, 11.86, 12.81
 - Retikulo-endotelijalni sistem, dejstva zračenja, 11.67, 11.70
 - Retke zemlje (elementi) kao zatrovaci, 10.15, 10.16
 - Riba i radioaktivno zatrovanje vode, 8.99
- S**
- »Saratoga« brod SAD, oštećenje, kod Bikinija, 5.118
 - Sigurnost ljudstva kod dekontaminacije, 10.35, *vidi takođe Povrede*
 - Sisanje, koeficijent, 5.16
 - pritisak, 5.16
 - sila, 5.13, 5.33d
 - Sišući talas, *vidi Talas sisanje*
 - Sišuće dejstvo vetra, 5.2, 5.6
 - brzina i udarni pritisak, 5.22
 - i otstojanje od detonacije, 5.45
 - opterećenje, osnovno, za projektovanje postrojenja, 12.22a, 12.22c, 12.24
 - Skeletne građevine od čelika, 5.5, 5.15
 - projektovanje novih, 12.22a
 - u Japanu, 5.57
 - u SAD, 5.74
 - za ojačanje, 12.27
 - Skloništa u slučaju iznenadnog napada, 12.58—12.61
 - izvan zgrada, 12.52—12.56
 - kućna, 12.57
 - u Japanu, 5.70
 - u zgradama, 12.49—12.51
 - *vidi takođe Zaštita, zaklanjanje*
 - Slabljenje, atmosfersko, gama zračenje, 7.38—7.40
 - neutroni, 7.53—7.60
 - toplotno zračenje, 6.27—6.36
 - toplotno zračenje, koeficijent, 6.30, 6.31, 6.33, 6.34
 - toplotno zračenje, faktor, 6.35, 6.36
 - toplotno zračenje i granica vidljivosti, 6.31
 - Slepilo, usled nuklearnog zračenja, 11.71, 11.72
 - usled toplotnog zračenja, 11.18
 - Sličnost eksplozija, 3.17
 - Specifična ionizacija, 9.7, 9.35
 - Sprava za ispitivanje sa kvarenim vlaknom, 9.19
 - Srazmernosti eksplozija, 3.17

Srednja slobodna putanja, neutrona, 7.58, 7.59
 — od zračenja, 6.12, 7.30, 7.32

Srednja smrtonosna doza zračenja, 7.43, 11.30
 — dejstva, 11.28, 11.35—11.38

Sredstva za čišćenje kod dekontaminacije, 10.29, 10.33, 10.44, 10.49, 10.53

Sredstva za vlaženje kod dekontaminacije, *vidi* Sredstva za čišćenje

Staklo, opasnost, 12.22, 12.33

Stefan-Boltzmann-ov zakon, 6.16

Stokes-ov zakon, 8.67

Stubovi, dejstvo eksplozionog udara 5.56d, 12.24, 12.25

Stvaranje parova kod gama zračenja, 7.16, 7.17, 7.19—7.29, 7.35

Sunce, jedinica osvetljenosti, 6.22

Svetsko radioaktivno zatrovanje (kontaminacija), mogućnost, 8.52
 — 8.56, E.1, E.2

S

Šed konstrukcije, oštećenje, 5.5, 5.58
 — 5.62, 5.75
 — projektovanje, 12.22c

Šteta, *vidi* Oštećenje

T

Talas čela udara, akustička, teorija, 2.23, 3.35—3.40, 4.7
 — dužina, 3.26, 5.24
 — impuls, 4.12, 5.25, 5.28
 — i atomska eksplozija, 2.9—2.12, 2.16
 — krajnji ugao za akustičko (pravilno) odbijanje, 3.50—3.53, 3.58, 3.59, 5.17
 — kretanje, 3.6—3.9
 — neakustička teorija, 3.42—3.70
 — obrazovanje, 1.56—1.58
 — odbijanje od postrojenja, 3.20—3.22, 3.25—3.30, 5.7—5.16, 5.23
 — oštećenje, 3.1—3.3, 5.45
 — pozitivna faza, 3.7, 3.10—3.13, 3.27
 — raspored pritiska, 3.6, 3.7, 3.13
 — raspored pritiska kao funkcija otstojanja, 3.10, 3.13, 3.72, 3.45
 — raspored pritiska kao funkcija vremena, 3.9, 3.11, 3.13

— razorno dejstvo, 3.1—3.3, 5.45
 — razvoj, 3.4—3.13
 — spajanje upadnog i odbijenog, 3.42, *vidi takođe* Mahov efekat
 — trajanje, 3.3, 3.13, 3.27, 5.20, 5.21, 5.23, 5.45.
 — upadni ugao, 3.35
 — u neograničenoj sredini, vazduh, 3.4—3.13, voda 4.3—4.15

Talas sisanja, *vidi* Razređivanje

Talas razređivanja, u vazduhu, 2.19, 2.40, 3.7, 3.9—3.11, 5.1, u vodi, 2.39, 4.18, 4.19, 4.34

Talasi, oštećenje, 5.109, 5.118, 5.119

— erozija, 4.61, 4.62
 — kod podvodne eksplozije, 4.40—4.57

Taloženje aktivnog i aktiviranog materijala, 2.29—2.30, 8.66—8.77

— i kišni oblaci, 8.75
 — i veliki talas, 8.86—8.102
 — i visina eksplozije, 2.30
 — kod opita »Triniti«, 8.66
 — kod podvodne eksplozije, 2.44, 2.46
 — nejednaka raspodela, 8.74
 — opasnost usled toga, 8.76, 8.77
 — prečnik čestica, 8.67, 8.68
 — radioaktivno zatrovanje usled toga, 2.30, 8.60, 8.61, 11.4, 12.63—12.81
 — taloženje radioaktivnosti, 8.68—8.77
 — usled eksplozije na površini, 8.78
 — vreme taloženja svih čestica, 8.67

Temperatura, vatrena lopta, 2.6—2.13, 2.22, 6.4—6.10
 — na zemlji usled eksplozije u vazduhu, 6.46, 6.65, 6.66

Termičko zračenje, *vidi* Toplotno zračenje

Tkanine, dejstvo topotognog zračenja, 6.55, 6.67, *vidi takođe* Odelo

Tkivo, radioosetljivost, 11.53

Tle, *vidi* Zemljište

Toplotno zračenje, apsorpcija, 6.17, 6.18

- brzina emitovanja, 6.8
- dejstva na oči, 11.17—11.19
- energija, 6.2, 6.35
- fluks, 6.17—6.23
- gubici, atmosferski, 6.27—6.35
- intenzitet, 6.47
- opekotine kože, 6.48, 6.50, 6.52—6.57, 11.9—11.16, *vidi takođe Opekotine, blesak*
- oslobođena energija po jedinici površine, 6.33—6.36, 6.42
- oštećenje, 6.36, *vidi takođe Oštećenje*
- paljenje materijala, 6.48, 6.58, 12.42
- Plankov zakon, 6.15
- područje oštećenja, 6.40, 6.41, 12.40
- prenošenje, 6.11—6.14
- Stefan-Bolzmann-ov zakon 6.16
- trajanje, 6.47
- ultraljubičasto i infracrveno, srazmerni značaj, 6.56—6.62
- zaklanjanje, 6.52, 6.55, 6.62
- zakoni sličnosti, 6.37—6.42, 6.50, 12.13
- zapaljiva dejstva, neposredno, 6.72, 6.73, 12.42
- zaštita od, 6.52, 6.62
- zaštita odelom, 6.55

Trabekula, 11.93

- »Trinit« opit, vatrena lopta, 12.15
- čestica prašine u oblaku, 8.68
- obrazovanje kratera, 2.24
- predena otstojanja čestica prasine, 8.73
- radioaktivno zatrovanje, 8.55
- radioaktivno zatrovanje, tla, 8.64—8.66
- seizmička dejstva, 4.84
- visina oblaka, 2.26

Trojna tačka kod Mahovog efekta, 3.55

- eksperimentalno određivanje, 3.64
- i visina eksplozije, 3.63
- putanja (trajaktorija), ravan talas, 3.56—3.58
- putanja, sferni talas, 3.62—3.67

- Trombociti, dejstva zračenja, 11.36—11.58
- Tuneli, 12.39

U

- Udarni talas osobine, 3.1—3.72, 4.1—4.39, 4.84, 4.89
- akustičko odbijanje (ili pravilno), 3.23, 3.24, 3.35—3.40
- brzina, 3.13, 5.22
- i postrojenja (objekti), 5.7—5.16, 5.45
- koeficijent odbijanja, 3.60, 5.18
- krajnji ugao akustičkog odbijanja, 3.50—3.53, 3.58, 3.59
- kod podzemne eksplozije, *vidi Udarni talas kod podzemne eksplozije*
- kod podvodne eksplozije, *vidi Udarni talas kod podvodne eksplozije*
- nepravilno (ili Mahovo) odbijanje, 3.42—3.72
- nepravilno odbijanje za ravne talase, 3.52—3.58
- nepravilno odbijanje za sferne talase, 3.59—3.67
- odbijanje, 3.18, 3.20, 3.23, 3.30, 3.32, 3.33
- razredjivanje (ili sisanje) u vazduhu, 2.19, 2.40, 3.7, 3.9—3.11, 5.1
- razredjivanje (ili sisanje) u vodi, 2.39, 4.18, 4.19, 4.34
- skretanje akustičkog odbijanja, 3.41, 3.42
- temperatura, promena sa vremenom, 3.12

Udarni talas kod podzemne eksplozije, 4.83, 4.86

- i dubina eksplozije, 4.86—4.88
- i karakteristike tla (zemljista), 4.89—4.91
- odbijanje, 4.89, 5.88

Udarni talas kod podvodne eksplozije, 2.39, 2.40, 4.3—4.31

- akustički postupak, 4.7
- energija, 4.13, 4.14
- impuls, 4.12, 4.14
- najveća aproksimacija, 4.11
- najveći pritisak, 4.14

- promena pritisak-vreme, 4.11, 4.14
- širenje, 4.8, 4.9
- vremenska konstanta, 4.11, 4.14, 4.34, 5.98
- Udarni talas, u vodi, 2.39, 4.3—4.21
 - energija, 4.14
 - impuls, 4.14
 - najveći pritisak, 4.14
 - odbijanje, 4.16—4.21
 - širenje, 4.8, 4.9
 - vremenska konstanta, 4.11, 4.14, 4.34, 5.98
- Uklanjanje zatrovanosti, *vidi* Dekontaminacija
- Uklanjanje zatrovanosti kod ljudi, 10.28
- Ultrajubičasto zračenje i opeketine kože, 6.56—6.62
 - od vatrene lopte, 6.58
- Upadni ugao udarnih talasa, 3.35
 - krajnji, 3.50, 3.51, 3.57, 3.58
- Upozorenje ljudi, 9.17, 9.18, 9.30, 9.32, 12.75—12.77
- Uranijum 235, 1.28
 - cepanje, 1.28, 1.35—1.45, *vidi takođe* Cepanje jezgra
 - opasnost, 11.81, 11.84, 11.95
 - proizvodnja, 1.46
 - radioaktivno zatrovanje, 8.1, 8.26—8.31, 11.4, 11.73, 12.65
- Uranijum 238, 1.28
 - cepanje, 1.28
 - radijativno hvatanje neutrona, 1.29, 1.45
- Uranijum, izotopa i sastav, 1.28
 - otrovnost, 11.95
- Uređaji i instalacije, 5.42, 5.43, 5.68, 5.69
 - kod podzemne eksplozije, 5.91
 - zaštita, 12.38
- Uslovi, dobri, 7.29, 7.32
 - i višestruko razbijanje gama zračenja, 7.31
 - slabi, 7.30
- V**
- Vatra, *vidi* Požar
- Vatrena lopta, 2.7—2.16, 2.21—2.23
 - gubici usled atmosferskog uticaja, 6.27—6.36
 - kao crno telo, 6.15
- minimalna osvetljenost, 6.23
- osvetljenost, 2.7, 2.16, 6.18—6.23
- poluprečnik, 2.7—2.12, 2.15, 6.4—6.6, 8.58
- rasipanje i apsorpcija, 6.24—6.26
- temperatura, 2.6—2.13, 2.22, 6.4—6.10
- zračenje iz lopte, 6.15—6.42
- Vazduh, apsorpcija gama zračenja, 7.22, 7.23
 - eksplozija, šteta, 5.40, 5.82, zaštita, 12.16—12.61
 - višestruko rasipanje, 7.34
- Vazdušni eksplozioni udar, šteta, 5.40, 5.82
- Veliki talas u podnožju stuba, 2.45—2.50
 - brzina, 4.71, 4.72
 - brzina vetra, 4.80, 4.81
 - dimenzije, 4.71, 4.73—4.77
 - dubina vode, 4.88
 - i atmosferski uslovi, 4.80—4.81
 - kao aerosol, 4.65, 4.81
 - masa, 4.78
 - na Bikiniju, 2.45—2.48, 4.63—4.82, 8.87—8.93
 - radioaktivno zatrovanje, 8.1, 8.87—8.93, 11.4
 - stvaranje, 4.63—4.70
 - taloženje, 8.86—8.102
 - u mekom tlu, 2.50
 - zaštita od radioaktivnog zatrovanja, 8.93
 - zgušnjavanje, 4.70
- Ventilacija u skloništima, 12.51, 12.55, 12.56
- Visina eksplozije, 2.5, 2.15, 2.23, 3.2
 - i granica normalnog odbijanja udarnih talasa, 3.63
 - i lične povrede, *vidi* Povrede ljudi
 - i Mahov efekat, 3.63—3.72
 - i obrazovanje kratera, 2.24
 - i povrede ljudi, 11.2, 11.3
 - i radioaktivno zatrovanje (kontaminacija) 8.58—8.77, 11.2, 11.8
 - i šteta od eksplozionog udara, 3.20, 3.31—3.34, 3.68—3.72, 5.33b

- i položenje aktivnog i aktiviranog materijala, 2.29, 2.30, 8.60, 8.66—8.70
- i zaklanjajuće dejstvo zgrada 5.36
- Voda, koeficijent apsorpcije za gama zračenje, 7.22
 - dopustivi nivoi zatrovanja, 10.65, 12.72
 - radioaktivno zatrovanje, vodovoda, 10.59—10.65
 - i širenje vatre, 6.79, 12.24, 12.25
 - zaklon od gama zraka, 7.37
 - zaklon od neutrona, 7.69
 - *vidi takođe Uređaji i instalacije*
- Vodeni stub kod podvodne eksplozije, 2.42—2.44, 4.36—4.39, 4.64—4.69, 5.118, 8.86
- Vodojače, 12.41
- Vreme, i atomska bomba, 2.31—2.36
 - i radioaktivno zatrovanje, 8.61, 8.87
 - i položenje aktivnog i aktiviranog materijala, 8.58, 8.74—8.77
 - i veliki talas u podnožju vodenog stuba 4.80—4.82
- Vreme poluraspada, 1.18—1.21
- Vremenska konstanta za širenje udarnog talasa, 4.11, 4.14, 4.34, 5.98
- Z**
- Zaklanjanje gvožđem, 7.37
- Zaklanjanje od eksplozionog udara,
 - debljina ploče, 7.37
 - konfiguracijom terena, 3.68, 5.50, 5.51
 - od gama zračenja, 7.30—7.37, 7.42—7.48, 12.2
 - od neutrona, 7.66, 7.69—7.71, 12.2
 - od nuklearnog zračenja, 7.5, 12.50, 12.52
 - od toplotnog zračenja, 6.52, 6.55, 6.62, 12.2
 - postrojenjima (objektima) 3.25, 3.68, 5.34—5.36, 5.49
 - *vidi takođe Zaštita*
- Zaklanjanje od toplotnog zračenja, 6.54, 6.63, 6.64
- Zakon reciprocitet za zračenja, 9.12
- Zakoni sličnosti za gama zračenje, 7.48, 12.13
 - kod podvodne eksplozije, 5.99—5.101
 - za intenzitet neutrona, 7.67, 12.13
 - za oštećenje postrojenja (objekata), 5.27, 5.28, 5.48, 12.13
 - za toplotno zračenje, 6.37—6.42, 6.50, 12.13
 - za udarni pritisak, 3.14—3.19, 3.67
- Zamena jona u dekontaminaciji, 10.52
 - energija, u vazduhu, 7.41, 9.6, C.2
 - parova, 7.41, 9.2, 9.3, 9.6, C.2
- »Zamišljena« bomba 3.35, 3.36
- Zapaljiva dejstva atomske bombe 6.68—6.83, 12.4
- Zaštita ljudi od dejstva nuklearnog zračenja, 12.63—12.81
- Zaštita od velikog talasa na podnožju vodenog stuba, 8.93
 - konstrukcija, 12.9—12.14, 12.16—12.45
 - lična, 12.1—12.82
 - odevanjem, 6.55
 - od nuklearnih zračenja, 7.5, 7.66, 12.2, 12.10, 12.46, 12.50, 12.52, *vidi takođe Zaklanjanje*
 - od radioaktivne zatrovosti, 10.66—10.69, 12.7, 12.8, 12.51, 12.63—12.81
 - od radioaktivno zatrovane prašine, 12.56, 12.81
 - od požara, *vidi Od vatre*,
 - od stakla koje leti unaokolo, 12.33
 - od toplotnog zračenja, 6.52, 6.62, 11.19, 12.2, 12.59
 - od vatre, 12.42—12.45
 - u radiološkom ratu, 8.111
 - zidovima protiv eksplozionog udara, 12.35, 12.46, 12.50
- Zaštitne debljine, 7.37
- Zatrovanje (kontaminacija), radioaktivna, 8.1—8.121, 10.1—10.18, 12.63—12.81

- bikinskog laguna, 8.94—8.99
- domaćih životinja, 10.57
- grada, 10.55—10.57
- hrane i vode, 10.58—10.65
- izvori, 10.1, 12.63
- i opasnost od zračenja, 11.74
- odela, 10.21, 10.37
- od produkata cepanja, 10.8—10.10, 10.14—10.18, 12.70—12.72
- otkrivanje, *vidi* Otkrivanje
- dopustivi nivoi 12.70—12.74
- osoba (lična) 10.28, 10.34
- otkrivanje iz vazduha, 8.35, 8.36, 12.66
- pijače vode, 10.59—10.65
- pod okolnostima kiše, 8.75
- raširena ribama, 8.99
- retkih zemalja, 10.15, 10.16
- spojene sa fizičkim oštećenjem, 12.63
- svetska, mogućnost, 8.52—8.56, E.1, E.2
- tla (zemljišta), 8.32, 8.64, 8.65
- u avionu, 8.80—8.83
- uklanjanje, *vidi* Dekontaminacija
- Umanjivanje, 10.2
- usled eksplozije u vazduhu, 8.57—8.83
- usled eksplozije u vazduhu, visina, 8.59—8.63
- usled eksplozije u vazduhu, zakon, 8.64—8.79
- usled eksplozije na površini, 8.78, 8.79
- usled eksplozije pod zemljom, 8.103—8.106
- usled eksplozije pod vodom, 8.102, 12.62, 12.63
- usled taloženja, 8.66—8.77
- uzroci, 8.57, 10.1, 12.62, 12.63
- vode, 8.37
- zaštita protiv, 10.66—10.69, 12.7, 12.8, 12.63—12.81
- zemljišta, *vidi* Zemljište
- zgrada, 10.55
- Zemljište, zatrovanje (kontaminacija), 10.56
- inducirana (uveđena) radioaktivnost neutronima, 8.21—8.24
- zaklon od gama zračenja, 7.45, 12.52
- Zemljotresi, *vidi* Potresi zemlje
- Zgrade sa drvenim skeletom u Japangu, 5.66
 - i podzemna eksplozija, 5.90
- Zidovi ispunjeni zemljom za zaštitu od eksplozionog udara, 12.35
 - skloništa, 12.52, 12.57
- Zidovi od opeka, 5.56g, 5.90
 - izbegavanje, 12.22
 - kod objekata (postrojenja) 5.5
- Zračena toploplota, *vidi* Toplotno zračenje
- Zračenja koja izazivaju ionizaciju, 9.1—9.13
- Zračenje crnog tela, 6.8, 6.1E, 6.16
- Zračenje jezgra, *vidi* Nuklearno zračenje
- Zračenje, katerakte, 11.71, 11.72
 - čelo, 2.9
 - doziranje, *vidi* Doziranje
 - elektromagnetsko, pri atomskoj eksploziji, 2.7
 - front, *vidi* Čelo
- Zračenje, povreda, *vidi* Povreda od zračenja
- X-zraci, 1.23, 7.41, 8.38

Tehnički urednik

major SLOBODAN M. MITIĆ

*

Korektori:

MIODRAG M. ŽIVANOVIĆ

i

DANICA Č. PETROVIĆ

*

Štampanje završeno 25. jula 1954

Tiraž: 4.000, cena 500 din.

I S P R A V K E

Strana	Red	Stoji	Treba
4	15 odozgo	280	800
85	11 odozdo	plozija	plozije
85	11 "	razorila	razorilo
94	sl. 4.14a	(10 ³ ft st/in ²	(10 ³ ft. 1b./in. ²
115	sl. 4.78	(tona × 10 ⁹)	(tona × 10 ⁹)
120	17 odozgo	deluju kako	deluje kao
131	prvi red u fusnoti	c _p u ² ρ	c _d u ² ρ
181	u fusnoti	irch	inch
188	u dnu sl. 5.105	eksplozija pritisak — vreme krive na ciljevima	pritisak-vreme krive na cilje- vima
207	sl. 6.31	vidljivost	vidljivost
207	sl. 6.31	koeficijent sla- bljenja	(kilometara)
288	24 odozgo	na zemlji	koeficijent
289	28 "	u prečniku	slabljenja (k km ⁻¹)
292	6 "	nuty«)	na zemlji (stopa)
304	1 "	fotoplanktoni	santimetara u
376	25 "	sredstvo	prečniku
380	6 "	300	nity«)
385	12 "	2 mev	fitoplanktoni
410	15 "	logičkih	sredstvu
450	2 "	W ^{1/2}	400
452	6 "	W ^{1/2}	3 mev
452	sl. B. 30b	impuls	logističkih
			W ^{1/3}
			W ^{1/3}
			impuls (lb-sec/in ²)

Na strani 104, u § 4.41, prva rečenica treba da glasi: Broj talasa koji se mogao meriti upotrebljenim instrumentima povećao se od 3 na 2.100 stopa od centra do 6 na 10.000 stopa, a do 14 ili više talasa na 22.000 stopa od mesta eksplozije.

Na strani 318 deseti red odozdo je ispušten a treba da glasi: Vrsta detektora Jonizaciona komora.