

N. PONIKAROV
V. TŠUMAKOV
A. DURIKOV

MIDA
PEAB
TEADMA
TUUMARELVAST
JA KAITSEST
SELLE
EEST

N. PONIKAROV . V. TŠUMAKOV . A. DURIKOV

MIDA PEAB TEADMA TUUMARELVA
JA
KAITSEST SELLE EEST

A-2454
N. PONIKAROV
V. TŠUMAKOV
A. DURIKOV

MIDA
PEAB
TEADMA
TUUMARELVA
ST
JA KAITSEST
SELLE
EEST

KIRJASTUS «EESTI RAAMAT» • 1968

Originaali tiitel:

Н. Д. Поникаров, В. И. Чумаков, А. П. Дуриков
ЧТО НЕОБХОДИМО ЗНАТЬ О ЯДЕРНОМ ОРУЖИИ
И ЗАЩИТЕ ОТ НЕГО

Под редакцией генерал-лейтенанта инженерных войск
М. П. Каменчука

Атомиздат
Москва 1965

Vene keelest tõlkinud H. Ernits

Каане kujundanud E. Tali

TARTU ÜLIKOOLI
RAAMATUKOGU

E E S S Ö N A

Käesoleva raamatu eesmärgiks on üldistada ja süstematiseerida andmeid, mis käsitlevad tuumarelva kahjustavat toimet ja kaitset selle eest.

Esimeses peatükis vaadeldakse lühidalt tuumareaktioone, mis on tuumarelva ehituse aluseks. Üksikasjaliselt kirjeldatakse tuumaplahvatuse liike ja tuuakse ära andmed, mille alusel saab ettekujutuse sellest, kuidas kulgeb tuumaplahvatus ja missugune toime on selle kahjustavatel teguritel. Käsitletakse peamiselt õhus toimuvaid, maapealseid ja veealuseid plahvatusi.

Teises peatükis vaadeldakse lähemalt tuumaplahvatuse kahjustavaid tegureid: õhus levivat lööklainet, valguskiirgust ja paikkonna radioaktiivset saastumist. Detailselt käsitletakse kahjustavaid tegureid iseloomustavate parameetrite — lööklaine ülerõhu, selle laine mõjumiskestuse ja päralejõudmise aja, valgusimpulsi suuruse, veealuse lööklaine rõhu jne. — arväärtuste määramise meetodit. Raamatus kirjeldatakse ka veepealsete ja veealuste tuumaplahvatuste puhul tekkivate gravitatsioonilainete kahjustavat toimet.

Samas tuuakse ära kahjustavate tegurite parameetrite arvutamise praktilised meetodid. Arvutamismeetodite käsitlemisel püüdsid autorid keerulisi ja pikki valemeid asendada suhteliselt lihtsate graafikutega, mille kasutamisel viga ei ületa lubatud ligikaudsuse piiri. Järelikult võib otsitavat suurust leida vahetult graafikust. Lööklaine parameetrite graafikud on koostatud ühemegatonnise võimsusega maapealse või õhus toimunud tuumaplahvatuse kohta. Teistsuguse võimsusega tuumaplahvatuse parameetreid saab mõnel juhul määrata, kui korrutada graafikust saadud väärtus sarnasuse seaduse põh-

jal tuletatud teguriga. Valgusimpulsi väärtuse erineva võimsusega tuumaplahvatuse korral saab määrata lihtsa, kolme paralleelskaalaga nomogrammi abil. Teises peatükis esitatud materjal võimaldab tuumaplahvatuse kahjustavaid tegureid kvantitatiivselt hinnata.

Kolmandas peatükis kirjeldatakse kahjustavate tegurite toimet mitmesugustesse objektidesse. Et hoonete ja ehitiste purunemist põhjustavad lööklaine ja valguskiirgus, siis on nende kahjustavate tegurite toime kirjeldamisele pööratud erilist tähelepanu. Raamatus tuuakse ära andmed mitmesuguste objektide purunemise kohta lööklaine ülerõhu ja valguskiirguse soojusimpulsi toimel, iseloomustatakse tuumakahjustuskoldes puhkevaid tulekahjusid, purustusi ja kaotusi. Üksikutes peatüki osades kirjeldatakse tuumaplahvatuse toimet inimesesse.

Neljas peatükk on pühendatud kaitseabinõude kirjeldamisele. Selles antakse soovitusi, kuidas kaitsta end lööklaine, valguskiirguse ja radioaktiivse kiirguse eest. Eraldi lõigus käsitletakse sihtmärgi tuumarelvaga tabamise tõenäosust. See on ainuke lõik raamatus, kus esinevad võrdlemisi keerulised valemid, mõisted ja definitsioonid. Kuid vaatamata andmete näilisele keerukusele, määratakse plahvatuse võimsus ja sihtmärgi tabamise tõenäosus suhteliselt kergesti graafikute, tabelite ja lihtsate arvutuste abil. Kõikide arvutuste kohta on toodud näited, mis hõlbustavad materjali mõistmist.

M. Kamentšuk

I. TUUMAMUUNDUMISED

1. Aatomi ja aatomituuma ehitus

Kõik ained koosnevad aatomitest, keemiliste elementide väikseimatest osakestest. See mõte avaldati esmakordselt enam kui 2500 aastat tagasi. Hiljem tõestasid aine atomaarse ehituse hüpoteesi õigsust paljude katsete tulemused.

Tehti kindlaks, et looduses esinev ainete mitmekesisus ja nende suur hulk (enam kui 400 000 ainet) sõltub suurel määral keemiliste elementide ühesuguste või erinevate aatomite lugematutest kombinatsioonidest.

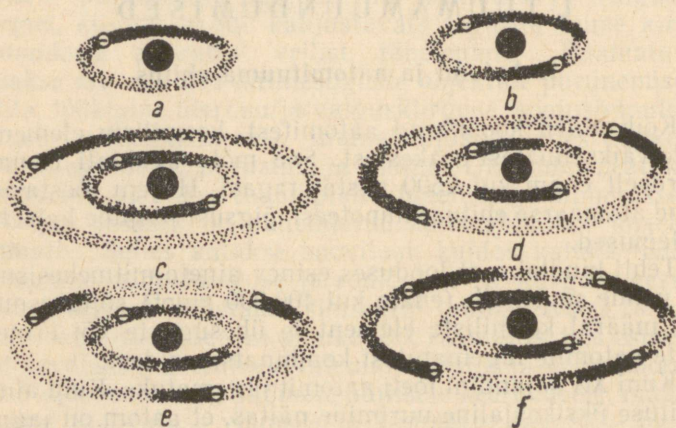
Kuni XX sajandini loeti aatomit jagamatuks. Kuid aine ehituse üksikasjaline uurimine näitas, et aatom on jagatav ja et tal on keeruline ehitus. Igasuguse keemilise elemendi aatomi keskmes on aineosake, mida nimetatakse aatomituumaks, ja selle ümber tiirlevad elektronid.

Elektron on kerge elementaarne aineosake, millel on negatiivne elektrilaeng; elektroni mass $m = 9,108 \cdot 10^{-28}$ g. Elektroni laeng on väikseim elektrilaeng, mis on looduses avastatud, seepärast nimetatakse elektroni laengut tavaliselt elementaarlaenguks.

Keemiliste elementide aatomite tuumad koosnevad kahte liiki osakestest — prootonitest ja neutronitest, mida tihti nimetatakse ühise nimetusega nukleonideks. Prooton on positiivse laenguga aineosake, mille laengu absoluutväärtus on võrdne elektroni laenguga. Kuid prootoni mass on elektroni massist 1836 korda suurem. Neutron on elektriliselt neutraalne aineosake ja tema mass on ligikaudu võrdne prootoni massiga.

Kergete elementide, nagu vesiniku, heeliumi, liitiumi, berülliumi jt. aatomite ehitus on kõige lihtsam. Vesiniku aatom koosneb ühest prootonist ja ühest elektronist. Heeliumi tuumas on kaks prootonit ja kaks neutronit ning tuuma ümber tiirleb kaks elektroni.

Raskete keemiliste elementide, nagu elavhõbeda, plii, uraani, plutooniumi jt. aatomite ehitus on keerulisem. Näiteks on uraani tuumas 238 tuumaosakest — nendest 92 prootonit ja 146 neutronit — ning tuuma ümber tiirleb 92 elektroni. Iga keemilise elemendi iga elektron liigub oma kindlat orbiiti mööda. Mõnede keemiliste elementide aatomite ehitus on kujutatud joonisel 1.1.



Joon. 1.1. Mõnede elementide aatomite ehituse skeemid:
a — vesinik; *b* — heelium; *c* — liitium; *d* — berüllium; *e* — boor;
f — süsinik.

Tavaliselt on keemiliste elementide aatomid püsivad (stabiilsed). Selleks et aatomist ühte elektroni eemaldada, on tarvis kulutada energiat, mida nimetatakse seoseenergiaks.¹

Elektroni ja tuuma vaheline seoseenergia sõltub nende kaugusest teineteisest. Mida lähemal asub elektron tuumale, seda suurem on seoseenergia. Ja vastupidi, mida kaugemal on elektron tuumast, seda väiksem on see energia.

¹ Energia mõõtühikuna kasutatakse aatomifüüsikas elektronvolti (*eV*). Elektronvolt on energia, mille omandab elektron elektriväljas potentsiaalide vahel 1 *V*. Suuremateks energia mõõtühikuteks on kiloelektronvolt (1 *keV* = 10^3 *eV*) ja megaelektronvolt (1 *MeV* = 10^6 *eV*).

Kui aatom saab väljastpoolt energiat juurde, siis ta ergutub, s. t. mingi elektron läheb oma põhiorbiidilt üle teisele orbiidile, mis asub tuumast kaugemal. Ergutatud olekus viibib tuum vähem kui miljondik sekundit. Selle lühikese ajavahemiku möödumisel läheb elektron tagasi oma algolekusse. Elektroni tagasipöördumisel madalale energianivoole kiirgub varem saadud liigne energia elektromagnetilise kiirguse kvantidena ümbritsevasse keskkonda. Aatomite ergutumine ongi peamine põhjus, miks tuumaplahvatuses kaasneb valguskiirgus.

Kui aatomile antav energia võrdub seoseenergiaga või on sellest suurem, siis rebitakse elektron aatomist välja. Elektroni väljarebimist aatomist nimetatakse ionisatsiooniks. Aatomi ioniseerumisel tekivad vaba elektron ja positiivselt laetudioon. Ioniseerumine ei muuda ühte keemilist elementi teiseks, kuid mõjutab tunduvalt aine füüsikalisi omadusi. Näiteks juhib ioniseeritud õhk elektrit. Elusorganismi kudede ioniseerumine hävitab või vigastab rakke, mille tagajärjeks võib olla kogu organismi haigestumine.

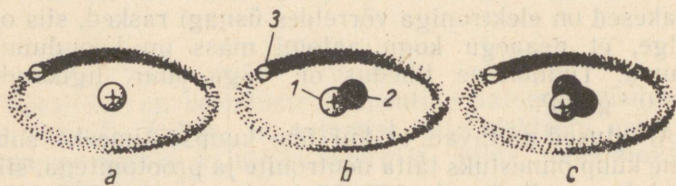
Keemiliste elementide aatomite mõõtmed on üliväikesed. Aatomi läbimõõt võrdub ligikaudu 10^{-8} cm. Tuuma läbimõõt on sellest veel 10 000 . . . 100 000 korda väiksem. Kui tuuma läbimõõtu suurendada 1 sentimeetriks, siis oleks aatom kera, mille läbimõõt oleks 1 km. Et tuumaosakesed on elektroniga võrreldes üsnagi rasked, siis on selge, et peaaegu kogu aatomi mass on koondunud tuuma. Tuumaaine tihedus on väga suur, ligikaudu $1 \cdot 10^{14}$ g/cm³.

Arvutused näitavad, et kui ühe kuupsentimeetri suurune kuup õnnestuks täita neutronite ja prootonitega, siis kaaluks see ligikaudu 100 000 t, s. o. peaaegu niisama palju kui 2500 raskekaalulist rongi.

Et iga aatom on tavaliselt elektriliselt neutraalne, siis peab tuumal olema positiivne elektrilaeng, mis absoluutväärtuselt on võrdne aatomi kõigi elektronide laengute summaga. Järelikult on iga keemilise elemendi aatomis prootonite ja elektronide arv võrdne. Prootonite arv määratakse kindlaks tuumalaengu Z järgi. Prootonite ja neutronite üldarv määrab aga tuuma massi ja nende osakeste masside summat nimetatakse massiarvuks M . Tuuma elektrilaeng Z on alati elementaarlaengu täisarv-kordne ja võrdne prootonite arvuga tuumas. Tuuma laeng

langeb ühte keemilise elemendi järjekorranumbriga Mendelejevi elementide perioodsuse süsteemis, seepärast nimetatakse arvu Z tihti aatomnumbriks. Mingi keemilise elemendi märkimiseks kirjutatakse selle elemendi sümbol ja indeksitena aatomnumber Z ning massiarv M . Näiteks tähistab ${}_{92}\text{U}^{238}$ uraani aatomituuma, mille järjekorranumber Mendelejevi perioodsuse süsteemis on 92 ja massiarv 238 (s. o. $Z = 92$, $M = 238$). Mõnikord ei märgita aatomituuma tähistamisel selle prootoneid arvu, näiteks U^{238} .

Peaaegu igal keemilisel elemendil on mitut liiki aatomeid, mille tuumades on ühepalju prootoneid, kuid erinev hulk neutroneid, s. o. aatomite järjekorranumber on sama, kuid massiarv teistsugune. Neid sellesama keemilise elemendi aatomite eri liike nimetatakse isotoopideks. Looduslik vesinik koosneb kolme isotoobi segust: tavalisest vesinikust (prootiumist), raskest vesinikust (deuteeriumist) ja ülraskest vesinikust (tritiumist). Prootiumi massiarv on 1, s. t. tema tuum koosneb ühest prootonist. Deuteeriumi aatomi tuum koosneb kahest tuumaosakesest — prootonist ja neutronist. Vesiniku kolmanda isotoobi — tritiumi — tuumas on üks prooton ja kaks neutronit. Vesiniku isotoopide ehituse skeemid on näidatud joonisel 1.2.



Joon. 1.2. Vesiniku isotoopide ehituse skeemid:

a — prootium; b — deuteerium; c — triitium; 1 — prooton; 2 — neutron; 3 — elektron.

Looduslikul uraanil on kolm isotoopi: U^{238} , U^{235} ja U^{234} . Peale selle on tehnikult saadud veel 11 uraani isotoopi. Käesoleval ajal tuntakse ligikaudu 300 looduslikku ja 1000 tehnikult saadud mitmesuguste keemiliste elementide isotoopi.

Sama keemilise elemendi isotoopide aatomitel on erinevad tuumaomadused, kuid kõigil neil on ühesugune elektronkate, mis, nagu eespool öeldud, sõltub tuuma elektrilaengust. Seepärast on isotoopide keemilised omadused peaaegu ühesugused.

2. Radioaktiivsus

Nagu teada, mõjuvad laetud osakeste vahel elektrostaatilised jõud. Et prootonitel on ühenimelised laengud, siis mõjuvad nende vahel tõukejõud. Kui aatomituumas ei oleks teisi jõude, siis paiskuksid prootonid vastastikuse tõukejõu mõjul tuumast välja. Kuid enamik keemiliste elementide tuumi on erakordselt püsivad. Aatomituumade püsivusel on kaks põhjust. Nagu teada, on kõikide aatomite tuumades, välja arvatud tavalise vesiniku aatomi tuum, peale prootonite veel neutronid. Neutronid vähendavad prootonite vastastikust elektrostaatilist tõukejõudu tuumas. Teisest küljest avastati nukleonide vahel mõjuvate jõudude uurimisel aatomiosakeste-vaheline külgetõmbejõud. Nukleonidevahelist külgetõmbejõudu nimetatakse tuumajõuks. Erinevalt elektrostaatilistest jõududest, mille mõju ulatub lõpmata kaugele, toimivad tuumajõud ainult 10^{-13} cm kaugusele, s. o. kaugusele, mis võrdub aatomituuma raadiusega. Tuumajõud, mis mõjuvad prootonitele ja neutronitele, nagu tõukaksid neid teineteisele lähemale, ja need jõud avaldavad seega elektrostaatilistele tõukejõududele vastupidist mõju. Tuumajõud on tohutult tugevad, kuid mitte kõik tuumad ei ole võrdselt püsivad. Sõltuvalt tuuma nukleonide üldarvust ja prootonite ning neutronite arvu suhtest on ühed tuumad püsivamad kui teised.

Kõige püsivamad on kergete keemiliste elementide, nagu heeliumi, liitiumi, süsiniku, lämmastiku, hapniku jt. aatomituumad, kus neutronite ja prootonite arvu suhe on võrdne ühega. Mida rohkem on tuumas prootoneid, seda suurem on prootonite ja neutronite arvu suhe, mis raskete keemiliste elementide nagu uraan 238 puhul ulatub kuni 1,6. Suhte kasv on tingitud sellest, et prootonite arvu suurenemisega kasvavad nendevahelised tõukejõud ja tuuma kooshoidmiseks on vaja rohkem neutroneid. Järelikult on teatava prootonite arvu korral vaja, et tuumas

oleks ka teatud kindel arv neutroneid, sest ainult siis on tuum püsiv. Kui neutronite ja prootonite arvu suhe tuumas erineb teatud kindlast väärtusest, siis on niisugune tuum ebapüsiv. Ebapüsivad tuumad lagunevad spontaanselt ja neist saavad püsivad tuumad.

Enamiku keemiliste elementide aatomid on väga püsivad ehk stabiilsed. Stabiilsete aatomite tuumad säilitavad oma omadused igasugustes füüsikalistes tingimustes ja keemiliste muundumiste korral.

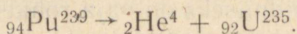
Kuid looduses esinevate ainete hulgas on mõningaid elemente, mille aatomituumad lagunevad (muutuvad) spontaanselt. Tuuma lagunemisega kaasneb nähtamatu kiirgus. Aatomituumade spontaanset lagunemist nimetatakse radioaktiivsuseks, elemente endid ja kiirgust vastavalt radioaktiivseteks aineteks ja radioaktiivseks kiirguseks.

Käesoleval ajal tuntakse plii, polooniumi, radooni, raadiumi, tooriumi, uraani jt. keemiliste elementide 25 looduslikult radioaktiivset isotoopi. Peale looduslikult radioaktiivsete ainete on veel väga palju kunstlikult saadud radioaktiivseid isotoope.

Radioaktiivsete ainete tekkimise võimsaks allikaks on tuumaplahvatus. Järgnevalt vaatleme radioaktiivsete isotoopide tekkimise põhjusi tuumareaktsiooni ajal.

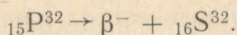
Käesoleval ajal on kindlaks tehtud keemiliste elementide aatomituumade radioaktiivse muundumise põhiliigid: alfalagunemine (α -lagunemine), beetalagunemine (β^- - ja β^+ -lagunemine), elektroni haare, aatomituumade spontaanne lõhustumine.

Alfalagunemise korral paiskub radioaktiivsest tuumast välja alfaosake, mille mass ja laeng on võrdsed heeliumi (${}^2\text{He}^4$) tuuma massi ja laenguga. Alfalagunemise korral muutub esialgne tuum uue keemilise elemendi tuumaks, mille laeng on algaengust 2 ja massiarv 4 ühiku võrra väiksemad. Näiteks alfalagunemisest toome keemilise elemendi plutooniumi (${}_{94}\text{Pu}^{239}$) lagunemise. Plutoonium 239 aatomid muutuvad alfalagunemise tulemusena uraani isotoobi ${}_{92}\text{U}^{235}$ aatomiteks, mille laeng on 2 ja massiarv 4 ühiku võrra väiksem kui plutooniumi tuumal, ja heeliumi aatomiteks. Seda lagunemist võib üles kirjutada järgmiselt:



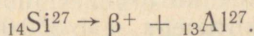
Alfalagunemine on iseloomulik peamiselt looduslikult radioaktiivsetele ainetele, mille järjekorranumber Z on suurem kui 83 (toorium, uraan, plutoonium jt.).

Beetalagunemine esineb kahel kujul: esiteks, kui aatomist paiskub välja üks elektron (β^- -lagunemine), ja teiseks, kui sealt eraldub üks positron (β^+ -lagunemine). Aatomi massiarv beetalagunemisel ei muutu, kuid laeng suureneb või väheneb ühiku võrra. Tuumalaeng suureneb, kui välja paiskub elektron, ja väheneb, kui välja paiskub positron. Näiteks beetalagunemisest, mille puhul paiskub välja negatiivse laenguga β -osake, on fosfori P^{32} aatomi lagunemine:



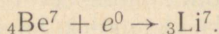
Fosfori beetalagunemise tagajärjel tekib uus keemiline element — väävel, mille tuum koosneb nagu fosforilgi 32 nukleonist, neist 16 prootonit. Järelikult muutub elektroonse β -lagunemise korral üks neutron elektroni väljapaiskumise tulemusena prootoniks.

Positroonse beetalagunemise puhul muutub tuuma üks prooton neutroniks. Positroonse β -lagunemise näiteks võib tuua räni isotoobi ${}_{14}Si^{27}$ muundumise alumiiniumi isotoobiks ${}_{13}Al^{27}$:



Elektroonne beetalagunemine on kõige levinum radioaktiivse muundumise liik ja seda täheldatakse peaaegu pooltel seni tuntud radioaktiivsetest isotoopidest. Positroonne beetalagunemine esineb tunduvalt harvem ja see on omane ainult nendele isotoopidele, mille tuumades on puudus neutronitest, s. o. kõige kergemate keemiliste elementide isotoopidele.

Elektroni haare on aatomituuma spontaanne muundumine, mille korral tuum haarab aatomi elektronkattest ühe elektroni. Seejuures muutub tuum uue elemendi tuumaks, mille järjekorranumber on ühe võrra väiksem, kuid massiarv sama. Elektroni haaret täheldatakse berülliumi ${}_{4}Be^7$, fluori ${}_{9}F^{18}$, argooni ${}_{18}Ar^{37}$, kaaliumi ${}_{19}K^{40}$ jt. juures. Berülliumi tuuma muundumise võib üles märkida järgmiselt:



Radioaktiivsuse eriliigiks on tuumade spontaanne lõhustumine. Spontaanse lõhustumise korral jaguneb aatomituum kaheks killuks. Tuuma lõhustumisel eralduvad kaks-kolm neutronit. Protsess on iseloomulik raskete tuumadega aatomitele.

Alfa- ja beetalagunemisega kaasneb tavaliselt gammakvantide eraldumine. Gammakvant on aineosake, mis sarnaneb valgusosakestega, millest koosnevad infrapunane, nähtav ning ultravioletne valguskiirgus ja röntgenikiired. Kuid gammakiirte lainepikkus on lühem ja nende võnkesagedus suurem, järelikult on ka nende energia tunduvalt suurem kui valgusosakeste energia.

Alfaosakeste, beetaosakeste ja gammakvantide voogusid nimetatakse alfa-, beeta- ja gammakiirteks.

3. Radioaktiivse kiirguse omadused

Alfa- ja beetaosakesed, samuti gammakvandid paiskuvad tuumadest välja tohutult suure kiirusega. Alfaosakeste väljapaiskumise kiirus on ligikaudu 10 000... 20 000 km/s. Beetaosakeste kiirus on veelgi suurem: mõnekümnest tuhandest kilomeetrist sekundis kuni valguskiirusele lähedase kiiruseni. Gammakvandid levivad vaakuumis valguskiirusega, s. o. 300 000 km/s.

Radioaktiivsete osakeste energia on üsnagi suur. Alfaosakeste energia nende tuumast väljalennu hetkel on ligikaudu 4... 8 MeV. Sama isotoobi tuumadest väljapaiskuvate kõigi alfaosakeste energiad on võrdsed.

Beetaosakeste energia ulatub mõnekümnest kiloelektronvoldist kolme megaelektronvoldini. Beetalagunemisele on iseloomulik see, et ühe ja sama radioaktiivse isotoobi tuumad kiirgavad erineva algenergiaga beetaosakesi.

Gammakiirte algenergia on samuti küllalt suur. Looduslikult radioaktiivsed ained paiskavad välja gammakvante, mille energia ulatub mitme megaelektronvoldini. Tuumaplahvatusel on gammakvantide energia suurusjärgus mõnekümnest kiloelektronvoldist 4... 5 MeV-ni.

Radioaktiivse kiirguse kõige iseloomulikumaks omaduseks on tema võime ioniseerida levimiskeskkonna elektriliselt neutraalseid molekule. Radioaktiivsed kii-

red, läbides mingit ainet, mõjutavad elektrone ja põhjustavad ümbritseva keskkonna aatomite ning molekulide ioniseerumise.

Radioaktiivse kiirguse ioniseerimisvõimet iseloomustab ioniseerimistihedus, s. o.ioonipaaride arv, mis tekib neelava keskkonna 1 cm pikkusel lõigul. Ioniseerimistihedus sõltub osakeste energiast ja keskkonna tihedusest.

Radioaktiivsetel osakestel, mille mõõtmed ja elektri-laeng on suhteliselt suuremad, on suurem ioniseerimisvõime kui väikestel radioaktiivsetel osakestel, sest suuremate osakeste kokkupõrkamise tõenäosus ümbritseva keskkonna molekulide ja aatomitega on suurem.

Kõige suurem ioniseerimisvõime on alfaosakestel. Alfaosakeste keskmine õhu ioniseerimistihedus on ligikaudu 30 000ioonipaari 1 cm pikkuse lõigu kohta. Ioniseerimise tagajärjel väheneb alfaosakeste energia kiiresti. Pärast teatud vahemaa, nn. levimiskauguse läbimist, lõpetab alfaosake oma eksisteerimise. Kaotanud suurema osa oma energiast, haarab alfaosake kaks elektroni ja muutub neutraalseks heeliumi aatomiks. Alfaosakeste levimiskaugus sõltub nende algenergiast, kuid isegi plutooniumi tuuma lagunemisel, mille juures väljapaiskuvate alfaosakeste algenergia võrdub 5,1 MeV, on nende keskmine levimiskaugus õhus ainult 3,8 cm. Suurema tihedusega keskkonnas, näiteks vees või organismi kudedes, on alfaosakeste levimiskaugus veelgi väiksem (ligikaudu üks tuhandik levimiskaugusest õhus). Kirjapaberi leht peab täielikult kinni igasuguse energiaga alfaosakeste voo. Sellest järeldub, et välise kiirituse seisukohalt pole alfakiirgus ei inimestele ega teistelegi elusorganismidele üldse ohtlik.

Beetaosakestel on nagu alfaosakestelgi võime ioniseerida läbitavat keskkonda. Beetaosakesed põrkavad liikumisel harvemini kokku keskkonna neutraalsete molekulidega kui alfaosakesed, seepärast on nende ioniseerimisvõime tunduvalt väiksem, kuid levimiskaugus mõnevõrra suurem kui alfaosakestel.

Beetaosakesed ioniseerivad õhku tihedusega 40...50ioonipaari iga sentimeetri tee kohta. Et beetaosakesed kaotavad energiat veidi aeglasemalt kui alfaosakesed, siis on nende levimiskaugus õhus ja teistes ainetes tunduvalt suurem. Enamik mitmesuguste radioaktiivsete isotoopide beetaosakesi läbib õhus tee 3...5 m. Tiheda-

mates ainetes on beetaosakeste levimiskaugus tunduvalt väiksem. Vees, puidus ja kudedes on beetaosakese tee ligikaudu 1000 korda lühem õhus läbitavast kaugusest.

Kui beeta- ja alfaosakeste levimiskaugus on väike, siis gammakvantide läbimisvõime on väga suur. Nii nõrgendab 120 m paksune õhukiht kitsast gammakvantide kimpu algenergiaga 2 MeV üksnes kaks korda. Kuid vaatamata gammakiirguse suurele läbimisvõimele, nõrgendab aine seda siiski. See nõrgenemine seletub gammakvantide ja keskkonna elektronide ning molekulide omavahelise toimega.

Esineb kolme liiki gammakvantide ja aine vastastikust mõju: Comptoni efekt, fotoelektriline neeldumine ja paariteke.

Comptoni efekti puhul põrkab primaarne gammakvant kokku aatomi ühe elektroniga, mille tagajärjel osa selle footoni energiast läheb üle elektronile. Elektron, saanud osa primaarse footoni energiast, rebitakse elektronkattest lahti ja ta hakkab teatud kindlas suunas liikuma.

Hajunud (sekundaarne) gammakvant, mille energia on väiksem, muudab samuti oma suunda ja liigub primaarse footoni liikumissuuna suhtes mingi nurga all. Järelikult muutub Comptoni efekti puhul gammakvantide liikumissuund (toimub hajumine) ja väheneb nende energia.

Tavaliselt hajuvad gammakvandid mitu korda ja lõpuks toimub fotoelektriline neeldumine.

Fotoelektrilise neeldumise korral annab gammakvant, mille energia on mõnevõrra suurem elektroni seoseenergiast aatomis, kogu oma energia üle elektronile, mis selle tagajärjel lahkub orbiidilt ja paiskub aatomist välja. Väljapaiskunud elektronid liiguvad gammakvantide liikumissuunaga risti. Fotoelektrilise efekti tekitanud foton kaob. Kaotatud energia iga aatomi kohta on fotoelektrilise neeldumise, samuti Comptoni efekti puhul seda suurem, mida suurem on gammakvantide poolt läbitava keemilise elemendi järjekorranumber, ja väheneb kiiresti fotonite energia suurenemisega.

Gammakiirguse ja aine vastastikuse mõju kolmandaks liigiks on paariteke. Energiate puhul, mis on suuremad kui 1,02 MeV, võib gammakvandi ja aatomituuma vastastikuse mõju tulemusena tekkida osakeste paar —

positron ja elektron. Nagu fotoelektrilise neeldumisegi korral, kaob footon osakeste paari tekkimisel.

Gammakvantide voo intensiivsus oleneb eksponentsiaalselt neelava ainekihi paksusest:

$$I_1 = I_0 e^{-\mu x}, \quad (1.1)$$

kus I_0 on kiirguse intensiivsus neelavasse keskkonda tungimisel; I_1 — kiirguse intensiivsus pärast x cm paksuse kihi läbimist; μ — gammakvantide intensiivsuse nõrgenemise lineaarkoefitsient.

Neelava ainekihi paksust x mõõdetakse tavaliselt sentimeetrites, seepärast on μ mõõtühikuks cm^{-1} . Et gammakvantide intensiivsus nõrgeneb gammakvantide ja keskkonna kolmesuguse vastastikuse mõju tõttu, siis on tegur μ kolme koefitsiendi — fotoelektrilise neeldumise μ_f , kvantide hajumise μ_h ja paaritekke μ_p summa.

Võrrandist (1.1) järeldub, et ainekihi antud paksuse x korral on seda ainet läbivate gammakvantide intensiivsus seda väiksem, mida suurem on μ . Järelikult on neeldumise lineaarkoefitsient antud aine ühe sentimeetri, ühe meetri jne. paksuse kihi kaitsevõime mõõduks.

Kuid tihtipeale ei iseloomustata gammakvantide intensiivsuse nõrgenemist mitte lineaarkoefitsiendiga, vaid kasutatakse koefitsiente $d_{1/2}$, mis määrab intensiivsuse kahanemise poolele esialgselt, või $d_{1/10}$, mis märgib intensiivsuse kümnekordset nõrgenemist. Seega vastab kaks korda nõrgendavale kihile $d_{1/2}$ ainekiht, mis vähendab gammakiirguse intensiivsust kaks korda.

Koefitsiendi μ ja kahekordselt nõrgendava kihi $d_{1/2}$ vahel on otsene seos: $d_{1/2}\mu = 0,693$.

Võrrandit (1.1) ja tabelis (1.1) toodud andmeid kasutatakse mitmesuguste varjete, elu- ja administratiivhoonete kaitseomaduste arvutamisel.

Järelikult on kõikidel radioaktiivsetel kiirgustel ühine iseloomulik omadus, mis väljendub nende võimes ioniseerida selle keskkonna molekule, milles nad levivad, samuti tungida teatava sügavuseni erinevatesse ainetesse, kusjuures kõige suurem ioniseerimisvõime on alfaosakestel ja kõige suurem läbimisvõime gammakvantidel.

Tabel 1.1
 Kitsa paralleelse gammakvantide kimbu intensiivsuse nõrgenemise lineaarkoefitsiendid μ , kahekordse nõrgenemise ($d_{1/2}$) ja kümnekordse nõrgenemise ($d_{1/10}$) kihid mitmesuguste ainete korral

γ -kvantide energia, MeV	Plii $\rho = 11,3 \text{ g/cm}^3$			Raud $\rho = 7,9 \text{ g/cm}^3$			Betoon $\rho = 2,3 \text{ g/cm}^3$			Vesi $\rho = 1,0 \text{ g/cm}^3$			Õhk $\rho = 0,001294 \text{ g/cm}^3$		
	$\mu, \text{ cm}^{-1}$	$d_{1/2}, \text{ cm}$	$d_{1/10}, \text{ cm}$	$\mu, \text{ cm}^{-1}$	$d_{1/2}, \text{ cm}$	$d_{1/10}, \text{ cm}$	$\mu, \text{ cm}^{-1}$	$d_{1/2}, \text{ cm}$	$d_{1/10}, \text{ cm}$	$\mu, \text{ cm}^{-1}$	$d_{1/2}, \text{ cm}$	$d_{1/10}, \text{ cm}$	$\mu \times 10^{-4}, \text{ cm}^{-1}$	$d_{1/2} \times 10^3, \text{ cm}$	$d_{1/10} \times 10^4, \text{ cm}$
0,5	1,7	0,408	1,35	0,66	1,05	3,5	0,22	3,14	10,4	0,097	7,15	23,8	1,11	6,25	2,04
1,0	0,80	0,865	2,86	0,47	1,47	4,88	0,15	4,62	15,3	0,071	9,76	32,4	0,81	8,55	2,84
1,5	0,58	1,195	3,98	0,38	1,82	6,05	0,12	5,77	19,4	0,058	11,94	39,6	0,66	10,50	3,48
2,0	0,52	1,332	4,44	0,33	2,10	6,96	0,11	6,30	21,0	0,049	14,13	47,0	0,57	12,12	4,00
3,0	0,47	1,475	4,90	0,28	2,48	8,24	0,088	7,89	26,2	0,040	17,30	57,4	0,46	15,00	5,00
4,0	0,47	1,475	4,90	0,26	2,66	8,82	0,078	8,89	29,2	0,034	20,40	66,6	0,41	16,90	5,60
5,0	0,50	1,385	4,60	0,25	2,76	9,15	0,071	9,75	32,4	0,030	23,10	77	0,35	19,80	6,60
10,0	0,61	1,196	3,77	0,23	3,00	10,00	0,060	11,5	38,2	0,022	31,42	103,0	0,26	26,60	8,08

4. Radioaktiivse lagunemise seadus

Varem või hiljem muunduvad radioaktiivse isotoobi kõik tuumad. Tuumade lagunemine toimub teatud kindla kiirusega, mis on omane ainult antud radioaktiivsele isotoobile. Järelikult saab lagunemise kiirust hinnata ajaühiku jooksul lagunenud tuumade arvu järgi. Radioaktiivsete ainete omaduste uurimisel tehti kindlaks, et pool olemasolevatest radioaktiivse isotoobi tuumadest laguneb alati ühesuguse aja jooksul. Seda ajavahemikku nimetatakse poolestusajaks T . Järelikult on poolestusaeg T ajavahemik, mille jooksul lagunevad pooled antud ajavahemiku algul olnud aatomitest.

Näiteks on strontsium 90 poolestusaeg 27,7 aastat. Kui võtta 1 gramm strontsiumi, siis 27,7 aasta pärast jääb sellest järele 0,5 grammi, 55,4 aasta pärast 0,25 grammi jne.

Poolestusaeg on radioaktiivse aine üheks tähtsamaks iseloomustajaks; erinevatel radioaktiivsetel isotoopidel võib see kõikuda suurtes piirides — miljondikust sekundist kuni miljardite aastateni. Tabelis 1.2 on toodud mõnede radioaktiivsete isotoopide poolestusajad.

Tabel 1.2

Mõnede radioaktiivsete isotoopide poolestusajad

Isotoop	Poolestusaeg T	Isotoop	Poolestusaeg T
Germaanium 77	12 tundi	Strontsium 89	50,5 päeva
Jood 131	8 päeva	Strontsium 90	27,7 aastat
Jood 125	56 „	Plutoonium 238	$4,5 \cdot 10^9$ „
Fosfor 32	14,3 „	Uraan 235	$7,1 \cdot 10^8$ „
Poloonium 208	2,93 aastat	Uraan 238	$4,5 \cdot 10^9$ „
Poloonium 209	103 „	Kaalium 40	$1,3 \cdot 10^9$ „
Poloonium 210	138,4 päeva	Tina 124	$10^{16} - 10^{17}$ aastat

Poolestusaja definitsioonist järeldub, et mingis ajaühikus lagunevate radioaktiivse isotoobi tuumade arv on jääv suurus (λ). Lagunemiskonstant (võrdetegur) λ ja poolestusaeg T on seotud järgmiselt: $\lambda T = 0,693$.

Radioaktiivse isotoobi tuumade lagunemine on spontaanne protsess, see allub teatud kindlale seadusele ja seda ei saa aeglustada ega kiirendada.

Radioaktiivse lagunemise seadus, samuti radioaktiivsete isotoopide peamised karakteristikud λ ja T on määratud katseliselt ja väljenduvad valemiga

$$N = N_0 e^{-\lambda t}, \quad (1.2)$$

kus N_0 on esialgne aatomite arv, kui $t = 0$; N — aatomite arv, mis ei lagunenud aja t jooksul; $\lambda = \frac{0,693}{T}$ — lagunemiskonstant.

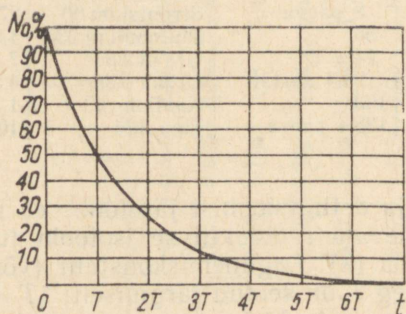
Lagunenud tuumade arvu sõltuvus ajast t on näidatud joonisel 1.3. Kui $t = T$, jääb järele 50%, kui $t = 2T$, siis 25%, kui $t = 3T$, siis 12,5% jne. esialgsest tuumade arvust.

Ajaühiku jooksul lagunevate aatomite keskmist arvu nimetatakse radioaktiivse lagunemise aktiivsuseks (a). Aktiivsus on suurus, mis iseloomustab antud radioaktiivse isotoobi lagunemise kiirust sõltuvalt aatomite hulgast ja poolestusajast:

$$a = 0,693 \frac{N_0}{T} = \lambda N_0. \quad (1.3)$$

Kaaluliselt võrdsete, kuid erineva poolestusajaga radioaktiivsete isotoopide aktiivsus on erinev.

Pikema poolestusajaga radioaktiivse isotoobi aktiivsus on väiksem kui lühikese poolestusajaga radioaktiivsel isotoobil.



Joon. 1.3. Lagunevate tuumade arvu sõltuvus ajast.

Aktiivsus, nii nagu radioaktiivsete aatomite arvgi, väheneb aja jooksul. Aktiivsuse langus sõltuvalt ajast väljendub valemiga:

$$a = a_0 e^{-0,693 \frac{t}{T}} \text{ ehk } a_1 = \frac{a_0}{2^{t/T_0}}, \quad (1.4)$$

kus a_0 on esialgne aktiivsus;

a_1 — aktiivsus ajahetkel t .

Aktiivsuse mõõtühikuks on kürri (c); üks kürri on niisuguse radioaktiivse ainekoguse aktiivsus, milles 1 sekundi jooksul toimub $3,7 \cdot 10^{10}$ lagunemist. Kürri on suhteliselt suur ühik. Väiksemad ühikud on:

millikürri (1mc = $3,7 \cdot 10^7$ lagunemist/s);

mikrokürri (1 μ c = $3,7 \cdot 10^4$ lagunemist/s);

nanokürri (1nc = $3,7 \cdot 10$ lagunemist/s);

pikokürri (1pc = $3,7 \cdot 10^{-2}$ lagunemist/s).

Tuumarelva kasutamise korral mõõdetakse objektide saastumisastet pinna-, kaalu- või mahuühiku aktiivsusega (kürri/km², kürri/g, kürri/kg, kürri/cm³, kürri/l või nendest tuletatud ühikud). Tihti väljendatakse saastumist lagunemiste arvuga minutis nimetatud ühikute kohta. Minutis toimuvate lagunemiste arvu ja kürri vahel on seos: 1 kürri = $2,2 \cdot 10^{12}$ lagunemist minutis.

Radioaktiivsuse mõõtühikud

Radioaktiivsete ainete lagunemisega kaasneb radioaktiivne kiirgus, mis avaldab elusorganismidele kahjulikku mõju. Organismi kahjustumise aste sõltub kiiritusdoosist. Gammakiirguse doosi mõõtühikuks on röntgen (r). Röntgen on selline gammakiirguse doos, mille tagajärjel normaalsel temperatuuril (0°C) ja õhurõhul (760 mm elavhõbedasammast) tekib ühes kuupsentimeetris kuivas õhus $2,08 \cdot 10^9$ ioonipaari.

Gammakiirguse intensiivsust (doosi võimsust), s. o. doosi saamise kiirust mõõdetakse röntgenites tunni kohta (r/h). Doosi võimsus sõltub radioaktiivse kiirguse allika omadustest ja radioaktiivse aine hulgast. Lühema poolestusajaga radioaktiivse aine intensiivsus on suurem kui sama hulga pikema poolestusajaga radioaktiivse aine aktiivsus.

Erinevate kiirgusliikide bioloogilise toime võrdlevaks hindamiseks kasutatakse suhtelise bioloogilise efektiivsuse koefitsienti (sbe), mis näitab, mitu korda on antud kiirguse toime võrdse neeldunud energiahulga puhul tugevam gammakiirguse toimest. On kindlaks tehtud, et alfaosakeste bioloogiline efektiivsus on ligikaudu 10 korda suurem beetaosakeste ja gammakiirte bioloogilisest efektiivsusest.

Radioaktiivsete kiirguste kahjustava toime hindamisel kasutatakse mõnikord mõõtühikuna röntgeni bioloogilist ekvivalenti (rbe). Röntgeni bioloogilise ekvivalendi all mõistetakse mistahes kiirguse hulka, mis on neeldunud elusorganismi kudedes ja mille toime on võrdne röntgenikiirte või gammakvantide ühikdoosi (1r) toimega. Järelikult on doos rbe-des absoluutväärtuselt võrdne röntgenites mõõdetud gammakiirguse doosiga; alfa-kiirguse korral võrdub 1 rbe 10-röntgenise doosiga.

5. Tuumaenergia vabanemine

Aatomituumade lõustumise ja moodustumise protsessesse nimetatakse *tuumareaktsioonideks*.

Üheks tuumareaktsiooni liigiks on tuumaplahvatus; selle puhul eraldub väga lühikese aja jooksul piiratud ruumiosas tohtu hulk energiat.

Tuumaeenergia eraldumine on seotud tuumareaktsiooni lõppsaaduste massi vähenemisega, võrreldes algproduktide massiga (massidefekt). Massi ja energia kui materia kvalitatiivselt erinevate omaduste vahel kehtib kindel seos. Mass on materia inertsus, energia — selle liikumise mõõduks. Massi ja energia seos võimaldab määrata energiahulka, mis vabaneb tuumade moodustumisel elementaariosakestest. Seda energiat nimetatakse *seoseenergiaks* või *tuuma moodustamise energiak*s.

Seoseenergia määratakse Einsteini valemist:

$$E = \Delta mc^2,$$

kus E on seoseenergia ergides; Δm — massidefekt grammides ja c — valguskiirus sentimeetrites sekundi kohta.

On välja arvatud, et 1 grammi heeliumi ${}^2\text{He}^4$ tekkimisel vabaneb niisama palju energiat kui 160 tonni troüüli plahvatamisel.

Heeliumi tuuma mass on $4,003 \cdot 1,66 \cdot 10^{-24}$ g, kuid kahe prootoni ja kahe neutroni massid kokku on $2 \cdot (1,0076 + 1,0089) \cdot 1,66 \cdot 10^{-24}$ grammi.

Massidefekt tuuma moodustumisel elementaarosakes-test võrdub:

$$\Delta m = [2 \cdot (1,0076 + 1,0089) - 4,003] \cdot 1,66 \cdot 10^{-24} = 5 \cdot 10^{-26} \text{ g.}$$

Ühe tuuma moodustamisel eraldub energia:

$$E = \Delta mc^2 = 5 \cdot 10^{-26} \cdot (3 \cdot 10^{10})^2 = 45 \cdot 10^{-6} \text{ ergi.}$$

Ühes grammis heeliumis on ligikaudu $1,5 \cdot 10^{23}$ aatomit. Järelikult energia, mis vabaneb ühe grammi heeliumi tekkimisel, on $45 \cdot 10^{-6} \cdot 1,5 \cdot 10^{23} = 6,75 \cdot 10^{18}$ ergi, või kui võtta arvesse, et $1 \text{ cal} = 4,1868 \cdot 10^7$ ergi, siis võrdub see energia

$$\frac{6,75 \cdot 10^{18}}{4,1868 \cdot 10^7} = 1,6 \cdot 10^{11} \text{ cal.}$$

Ühe tonni trotüüli plahvatamisel vabaneb 10^9 cal. Järelikult on ühe grammi heeliumi tekkimisel eralduv energia ekvivalentne $\frac{1,6 \cdot 10^{11}}{10^9} = 160$ tonni trotüüli plahvatuse energiaga.

Kuid mingi elemendi tuumade tekkimine elementaarosakestest on erakordselt keeruline protsess ja käesoleval ajal teostatav ainult laboratooriumides.

Tuumaeenergia saamiseks pole tingimata vaja tuumi elementaarosakestest moodustada. On kindlaks tehtud, et erinevate keemiliste elementide tuumadel on erinev seoseenergia. Kõige suurem on see tuumadel, mis asuvad elementide perioodsuse tabeli keskosas, ja kõige väiksem — raskete ja kergete elementide tuumadel. Tuumasest energiat on võimalik vabastada, kui muuta väiksema seoseenergiaga elementide tuumi teiste elementide tuumadeks, mille seoseenergia on suurem. Seejuures vabaneb energia, mis on võrdne saadud elementide ja lähteainete tuumade seoseenergiate vahega:

$$\Delta E = E_1 - E_2,$$

kus E_1 on tekkinud tuumade seoseenergia ja E_2 — lähteainete tuumade seoseenergia.

Järelikult on veel kaks teed tuumasisesse energia vabastamiseks: raskete tuumade *lõhustamine* kerge-
mateks ja kergete tuumade *ühendamise* raskemateks
(*süntees*).

Kogu kaasaegne tuumarelvastus ongi loodud nende kahe tuumaenergia vabastamisviisi alusel, kusjuures kõigis tuumarelva liikides kasutatakse ilmtingimata raskete aatomituumade lõhustumisreaktsiooni.

Tuumad lõhustuvad vabade neutronite toimel. Neutroni haaranud tuum muutub ebapüsivaks ja laguneb kaheks killuks, kusjuures paiskuvad välja kaks-kolm neutronit. Need neutronid põhjustavad teiste tuumade lõhustumise. Protsess areneb ja tekib tuumade lõhustumise ahelreaktsioon. Kõigist looduslikest ja tehiselementidest on ahelreaktsioon praktiliselt saavutatud uraan 238-s, uraan 235-s ja plutoonium 239-s.

Ahelreaktsiooni tekkimiseks on tarvis, et neutronid, mis vabanevad tuumade lõhustumisel, põhjustaksid edasise tuumade lõhustumise ega lendaks tuumalaengust välja. Järelikult peavad laengu mõõtmed olema suuremad kui neutronite levimiskaugus antud aines. Seepärast on ahelreaktsioon võimalik ainult siis, kui lõhustuva aine kogus on suurem selle aine *kriitilisest massist*. Kriitilise massi suurus sõltub laengu kujust ja mõõtmetest, aine tihedusest, selle puhtuse astmest ja teistest teguritest. Näiteks peab sfäärilise laengu raadius, mis sisaldab 6,5% uraan 238 ja 93,5% uraan 235, olema vähemalt 8,5 cm. Kui aine tihedus on 18,8 g/cm³, siis on niisuguse laengu kriitiline mass 48 kg.

Kriitilist massi saab tunduvalt vähendada, kui kasutada neutronite peegeldajaid, s. o. seadeldist, mis suunab laengust väljalendavad neutronid tagasi laengusse. Näiteks kui kasutada 10 cm paksust volframpeegeldajat, väheneb sama laengu kriitiline mass 48 kilogrammilt 20 kilogrammile, s. o. üle kahe korra. Püüe vähendada kriitilist massi on täiesti arusaadav, kui pidada silmas, et üks kilogramm uraani või plutooniumi maksab ligikaudu 15 000 dollarit. Peale selle suureneb kriitilise massi vähendamisel ka reaktsioonist osavõttev laengu osa. 1945. a. Hirošimale ja Nagasakile heidetud esimestes Ameerika pommides kaalus laeng ligikaudu 30 kg, millest reageeris ainult umbes 1 kg, s. o. 2...5%. Kaasaegsetes pommides on see näitaja tõstetud 20 protsendini ja

üle selle. Niisuguse tulemuseni on jõutud kriitilise massi vähendamise ja teiste täiustuste arvel.¹

Tuumaplahvatuse esilekutsumiseks tõstetakse laengu mass üle kriitilise piiri. See saavutatakse kas mitme suhteliselt väikese laengu kiire kokkuviimise teel, kusjuures saadav mass on kriitilisest suurem, või kriitilisest massist väiksema laengu tugeva kokkusurumise abil, mille tagajärjel aine tihedus tõuseb. Teist kriitilise massi saavutamise meetodit nimetatakse implosatsiooniks ja just sel teel jõutakse heade näitajateni lõhustava aine kasutamises.² Ühe grammi uraani või plutooniumi kõigi aatomituumade lõhustumisel saadakse energia, mis on ekvivalentne 20 tonni trotüüli plahvatuse energiaga.

Kergete tuumade ühinemisreaktsioon (süntees) on võimalik ainult mitme miljoni kraadise temperatuuri puhul; niisugust reaktsiooni nimetatakse termotuumareaktsiooniks. Temperatuur, mis on vajalik termotuumareaktsiooni algamiseks, saadakse lõhustumise ahelreaktsiooni abil. Järelikult võib termotuumalaengu detonatoriks olla uraani- või plutooniumilaeng. Sünteesireaktsiooni lähteaineteks on vesiniku isotoobid deuteerium ja tritium ning liitium ja selle ühendid. Plahvatusel vabanev energiahulk sõltub sellest, missugust isotoopi kasutati lähteaineks. Näiteks vabaneb 1 g deuteeriumi kõigi tuumade sünteesil energiahulk, mis on ekvivalentne 57 t trotüüli plahvatuse energiaga.

Sünteesireaktsioonil tekivad lähteainete tuumadest heeliumi tuumad ja paiskub välja teatud hulk neutroneid, millel on väga suur energia ja mis on võimelised esile kutsuma loodusliku uraan 238 tuumade lõhustumise. Selle alusel on loodud nn. kolmefaasiline tuumalaeng, mis põhineb skeemil: lõhustumine — süntees — lõhustumine. Niisuguses laengus plahvatab kõigepealt plutooniumdetonaator (toimub tuumade lõhustumine). Detonaatori plahvatus kutsub esile laengu (vesiniku või liitiumi) ühinemisreaktsiooni (toimub süntees). Seejuures vabanevad kiired neutronid, mis lõhustavad loodusliku uraan 238 tuumi, millest on valmistatud laengu kest

¹ Kõik andmed on võetud ajakirjast *Nucleonics* nr. 6, 1957.

² Иванов А. И., Рыбкин Г. И. Поражающее действие ядерного взрыва. Воениздат, М. 1960.

(lõhustumisreaktsioon). Skeemi eeliseks on see, et saab tõsta plahvatuse võimsust suhteliselt odava loodusliku uraani kasutamise teel. Plahvatusel vabanev energia võib olla ekvivalentne kümnete miljonite tonnide trotüüli plahvatuse energiaga, kusjuures pool sellest energiast vabaneb uraankesta tuumade lõhustumise tagajärjel.

Ühe kõige võimsama tuumalaengu plahvatus oli ekvivalentne 58 Mt trotüüli plahvatusega. Selle laengu kest oli valmistatud pliist. Kui niisugune laeng paigutada looduslikust uraan 238-st valmistatud kesta, siis selle plahvatamisel vabaneks energia, mis oleks ekvivalentne 100 Mt trotüüli plahvatusega.¹

Tuumareaktsioonidel vabanev energia on tohutu suur. Piisab, kui öelda, et ühe termotuumalaengu plahvatuse võimsus ületab kõigi plahvatuste summaarse võimsuse, mis on toime pandud kõigi inimkonna poolt peetud sõdade jooksul.²

Tuumaplahvatuse võimsust hinnatakse *trotüülekvivalenti* järgi, s. o. sellise trotüülhulga järgi, mille plahvatamisel võiks eralduda niisama palju energiat, nagu seda vabaneb antud tuumalaengu plahvatamisel. On olemas tuumalaenguid trotüülekvivalendiga mõnest sajast kilogrammist kümnete ja sadade miljonite tonni-deni.¹

Tavalise (trotüüli-) laengu plahvatamisel eraldub kogu vabanev energia plahvatussaaduste kineetilise, soojusenergia näol ja seda kasutatakse laengu kesta purustamiseks, kildude laialipaiskamiseks ja lööklaine tekitamiseks.

Tuumaplahvatuse korral eraldub ainult 80...85% koguenergiast kineetilise (soojus-) energia näol. 15...20% energiast langeb mitmesugustele tuumakiirgustele.

Tuumaplahvatuse kineetiline energia kulutatakse *lööklaine ja valguskiirguse tekitamiseks* (kaks peamist kahjustavat tegurit). Seejuures sõltub energia jaotus kahjustavate tegurite vahel plahvatuse liigist, või täpsemalt, selle keskkonna füüsikalistest omadustest (tihedu-

¹ Лэпп Р. Убийство и сверхубийство (перев. с англ.). Воениздат, М. 1964.

² Kogu Teise maailmasõja ajal kasutati kokku ligikaudu 5 Mt mitmesuguseid lõhkeaineid.

sest, temperatuurist), kus plahvatus toimus. Atmosfääris toimunud plahvatuste puhul kulutatakse lööklainele ligikaudu 50% ja valguskiirgusele 30...35% plahvatuse energiast.

Läbivale radiatsioonile kulub ligikaudu 5% plahvatuse energiast ja umbes 15% energiast viivad endaga kaasa radioaktiivsed lõhustumissaadused, mis saastavad paikkonda.

II. TUUMAPLAHVATUSE KAHJUSTAVAD TEGURID JA NENDE PARAMEETRITE ARVUTAMINE

1. Tuumaplahvatuse liigid

Sõltuvalt plahvatuskeskme asukohast maa- või vee- pinna suhtes eristatakse viit peamist tuumaplahvatuse liiki: kõrgatmosfääris, õhus, maa-(vee-)pinnal, maa all ja vee all toimunud plahvatused. Iga liigi välispildil ja selle kahjustavate tegurite toimel on iseloomulikud erinevused.

Kõrgatmosfääris toimunud plahvatus. Plahvatust, mis pandi toime enam kui 30 km kõrgusel, nimetatakse kõrgatmosfäärseks plahvatuseks. Niisugusel kõrgusel on õhu tihedus väike ja seepärast kulub lööklaine tekitamiseks vähe energiat. Suurem osa energiast kiirgub ümbritsevasse keskkonda ultravioletsete, valgus- ja röntgenikiirte näol.

Kõrgatmosfäärne plahvatus ioniseerib atmosfääri üla- kihte, mille tagajärjeks on kestvad raadioside häired suurtel kaugustel plahvatuskohast. Näiteks oli 77 km kõrgusel toimunud 1-megatonnise tuumaplahvatuse tagajärjel raadioside lühilainetel häiritud 10 tunni vältel 800...1000 km kaugusel plahvatuskohast.

Suures kõrguses toimunud plahvatused saastavad maalähedase kosmilise ruumi pikaks ajaks radioaktiivsete ainetega. Raadioside halvamine võib olla lennu- ja laevaõnnetuste põhjuseks. Omal ajal protesteerisid teadlased, üldsus ja paljude riikide valitsused taoliste katsetuste vastu. Kuid Ameerika Ühendriikide valitsus jättis need maailma rahvaste protestid tähele panemata ja jätkas eksperimentaalseid tuumaplahvatusi kõrgel atmo-

sfääris. 1. ja 12. augustil 1958. a. panid Ameerika Ühendriigid toime kaks tuumaplahvatust, kumbki võimsusega ligikaudu 1 megatonn, vastavalt 77 ja 43 km kõrgusel, ja mõnevõrra hiljem 480 km kõrgusel veel kolm plahvatust, millest igaühe võimsus oli 1...2 kilotonni.

1962. a. korraldasid Ameerika Ühendriigid Johnstoni saare piirkonnas uuesti terve seeria kõrgatmosfäärseid tuumaplahvatusi, sealhulgas ka 1,4-megatonnise võimsusega plahvatuse 400 km kõrgusel.

Megatonnise tuumaplahvatusega kaasnes ere ja tugev valgussähvatus, mida oli näha enam kui 1000 km kaugusel plahvatuskohast. Plahvatusel tekkinud tulekera suurenen väga kiiresti ja 4 sekundit pärast plahvatust oli selle läbimõõt 30 km. Tulekera tõusis kiiresti kõrgemale ja jõudis 1 minutiga 145 km kõrgusele. Kera ümbritses punakas helenduspiirkond, mis tekkis siis, kui lööklaine front läbis tugevasti hõrendatud õhu. 6 minutit pärast plahvatust oli punaka sfääri läbimõõt 960 km.

Kõrgatmosfääris toimunud plahvatuste puhul täheledata nähet, mida nimetatakse kunstlikuks ehaks. Mitme sekundi jooksul pärast plahvatust väljastas tulekera alumine osa pulseerivat kiirgust, mida ühe minuti pärast märgati 3200 km tagant, s. o. kaugusel, kust tulekera ei olnud näha. Kunstliku eha tekkimist seletatakse radioaktiivsetest plahvatussaadustest kiirguvate beetaosakeste liikumisega. Suurel kõrgusel toimunud plahvatuse iseärasuseks on erakordselt ere tulekera, mille valguskiirgus võib kahjustada silmi enam kui 500 km kaugusel plahvatuskohast.

Kuid põletused ja põlevate ainete süttimine on kõrgel toimunud plahvatuse puhul vähetõenäolised. Õhu hulk, mida soojendab kõrge temperatuuri toimel tekkinud röntgenikiirgus, on nii suur, et maapinnale ulatuv soojustoime on suhteliselt väike. Nii oli 77 km kõrgusel toimunud 1 Mt plahvatuse valgusimpulss vahetult plahvatuse epitsentris 2 cal/cm^2 , mis ei tekitanud põletusi ega tulekahjusid.

Õhus toimunud plahvatus. Tuumaplahvatust, mis toimub atmosfääri tihedates kihtides kõrgusel, mis ületab tulekera maksimaalse raadiuse, nimetatakse õhus toimunud plahvatuseks. Väikseim kõrgus, mille puhul plahvatus loetakse õhus toimunuks, on sõltuvalt lahingumoona võimsusest toodud tabelis 2.1.

Tabel 2.1

Õhus toimunud tuumaplahvatuste minimaalne kõrgus

Plahvatuse võimsus, Mt	0,5	1	3	5	7	10	20
Õhus toimunud plahvatuse minimaalne kõrgus, m	900	1 200	1 800	2 200	2 500	2 800	3 800

Ühesuguse võimsusega plahvatuste puhul sõltub maa-ala suurus, kus võivad puruneda võrdse tugevusega objektid, mitte ainult objektide eneste tugevusest, vaid ka plahvatuse kõrgusest. Optimaalseks loetakse kõrgust, mille puhul purustuste pindala on maksimaalne. Linnas purunevad hooned ülerõhul $0,2 \dots 0,35 \text{ kG/cm}^2$. 1 Mt plahvatuse korral on purustuste pindala maksimaalne, kui plahvatus toimub 2100 m kõrgusel (tabel 2.2).

Tabel 2.2

Õhus toimunud tuumaplahvatuste optimaalsed kõrgused

Plahvatuse võimsus, Mt	0,5	1	3	5	7	10	20
Plahvatuse optimaalne kõrgus, m	1 700	2 100	2 700	3 600	4 000	4 500	5 920

Kui 1 Mt plahvatus toimub kõrgemal või madalamal kui 2100 m, on purustuste ulatus väiksem.

Õhus toimunud plahvatuse valguskiirguse toime raadius on maksimaalne. Näiteks on 1 Mt plahvatuse puhul teise astme põletused puhta õhu ja selge ilmaga võimalikud kuni $18 \dots 20 \text{ km}$ ja 20 Mt plahvatuse puhul kuni 50 km kaugusel plahvatuskohast. Lööklaine on niisugusei kaugusel ohutu.

Läbiva kiirguse (radiatsiooni) toime ulatub kuni 5 kilomeetrini, s. o. kaugusele, kus kaitsmata inimeste hukkumine megatonnise laengu plahvatuse tagajärjel on lööklaine ja valguskiirguse toimel möödapääsmatu.

Paikkonna radioaktiivne saastumine õhus toimunud tuumaplahvatuse puhul praktiliselt puudub, sest radioaktiivsed plahvatussaadused tõusevad koos tulekeraga

väga kõrgele ega segune pinnaseosakestega. Et radioaktiivsed aineosakesed on väga väikesed ja kaaluvad väga vähe, siis jäävad nad kauaks õhku hõljuma ega lange maapinnale; seepärast on nende radioaktiivsus maapinnale langemise momendiks inimestele ohutu.

Õhus toimuva tuumaplahvatuslega kaasnevaid nähtusi ja plahvatusse kulgemist analüüsime 1 Mt laengu plahvatusse põhjal. Kohe pärast plahvatust tekib ülikõrge temperatuuri toimel helendav tulekera. Ligikaudu 0,0001 sekundi pärast on kera helendus 100 km kaugusel 30 korda suurem keskpäevase troopikapäikese helendusest. Tulekera raadius on selleks ajaks ligikaudu 70 m. Kera suureneb kiiresti ja tõuseb samal ajal kõrgemale, saavutades 10 s pärast plahvatust maksimaalse suuruse (läbimõõt ulatub selleks ajaks ligikaudu 2 kilomeetrit). Umbes minuti pärast pole tulekera enam näha. Selleks ajaks on ta tõusnud ligikaudu 7 km kõrgusele ja muutunud punakashalliks kobrutavaks pilveks.

Tulekera tõusmisel tõstavad tõusvad õhuvoolud maapinnalt üles tohtu hulga tolmu; õhus toimunud plahvatusse iseloomulikuks tunnuseks on see, et tolmusamm ei ühine plahvatuspilvega.

Ülikõrge rõhk tulekeras tekitab õhus leviva lööklaine, mis eemaldub plahvatuskohast ülehelikiirusega. 10 sekundit pärast plahvatust on lööklaine front ligikaudu 5 km kaugusel plahvatuskeskmest. Ülerõhk on lööklaine frondis umbes $0,42 \text{ kG/cm}^2$ ja õhu liikumise kiirus lööklaines 90 m/s. 40 sekundiga läbib lööklaine front 16 km ja ülerõhk selles langeb kuni $0,06 \text{ kG/cm}^2$.

Pärast tulekera helendamise lõppemist tõusevad kuumenenud plahvatussaadused endiselt suure kiirusega ülespoole ja tõmbavad plahvatuspiirkonda suurel hulgal õhku. Plahvatuspiirkonna järgneva jahtumise tulemusena tekib radioaktiivne pilv. Tulekera ja radioaktiivne pilv on läbiva radiatsiooni allikaiks. Kuid õhk nõrgendab radiatsiooni ja umbes 4...5 km kaugusel ei ole see inimesele enam ohtlik. Ehkki pilv jääb radioaktiivseks, lõpeb radiatsiooni toime ligikaudu 10 s pärast plahvatust, kui pilv on tõusnud 5 km kõrgusele. Maksimaalse kõrguse — 24 km — saavutab pilv 10 minuti jooksul pärast plahvatust.

2000 m kõrgusel toimunud 1 Mt tuumaplahvatusse kulg on toodud tabelis 2.3.

Õhus toimunud tuumaplahvatuse kulg

Aeg pärast plahvatust, s	0,0007	1,8	4,6	11	37	110	600
Tulekera raadius, m	134	950	1 000	1 100	—	—	—
Pilve tõusu kõrgus, m	2 000	3 000	4 000	5 000	6 000	11 000	24 000
Lööklaine frondi kaugus plahvatuskeskme, m	—	800	2 100	5 100	15 000	—	—
Rõhk lööklaine frondis, kG/cm ²	—	9,5	1,12	0,42	0,07	—	—
Õhu liikumiskiirus lööklaines, m/s	—	800	200	90	20	—	—

Maapealne plahvatus. Kui plahvatus toimub maapinnal või niisugusel kõrgusel, et tulekera puudutab maapinda (plahvatuse kõrgus on väiksem tabelis 2.1 toodud väärtusest), siis nimetatakse niisugust plahvatust maapealseks plahvatuseks. Maapealse plahvatuse kulg ja väline pilt ei erine põhimõtteliselt õhus toimunud plahvatusest.

Tuleb silmas pidada üht peamist erinevust. Et tulekera puudutab maapinda, siis tõmmatakse plahvatuse piirkonda tohutul hulgal tolmu, mis sadestub kiiresti koos radioaktiivsete plahvatussaadustega maapinnale ja moodustab ulatuslikud *radioaktiivse saastumise vööndid*. Viimane asjaolu suurendab tuumarünnaku kahjustuste ulatust vaatamata sellele, et maapealse plahvatuse puhul on valguskiirguse ja lööklaine toimete raadiused (rõhk, mis põhjustab ehitiste purunemise) mõnevõrra väiksemad.

Väga tõenäoline, et linnade ja tähtsate objektide ründamisel eelistatakse maapealset tuumaplahvatust. Peale selle purunevad plahvatuse seismilise toime ja plahvatuslehtri tekkimise tagajärjel plahvatuskeskme vahetus läheduses ka kõige võimsamad ehitised.

Plahvatuslehtri mõõtmed sõltuvad suurel määral kõrgusest, kus toimus plahvatus. Isegi siis, kui plahvatuse kõrgus oli tunduvalt väiksem tulekera raadiusest (vt. tabel 1.1), on lehtri mõõtmed suhteliselt väikesed. Suur lehter tekib siis, kui plahvatuse kõrgus ei ületa 1/10 tulekera raadiusest. Nähtava plahvatuslehtri mõõtmed sõltuvad maapealse plahvatuse võimsusest ja pinnasest. Vastavad andmed kuiva liivsavimulla ja saviliivase pinnase puhul on toodud tabelis 2.4.

Tabel 2.4

Plahvatuslehtri mõõtmed maapealse tuumaplahvatuse korral

Plahvatuse võimsus, Mt	0,5	1	3	5	7	10	20	50
Plahvatuslehtri läbimõõt, m	311	396	550	670	760	885	1 036	1 340
Plahvatuslehtri sügavus, m	70	91	130	150	180	192	245	305

Pinnase struktuuri muutumist ja maa-aluste ehitiste täielikku purunemist täheldatakse tsoonis, mille raadius ja sügavus on ligikaudu 2...3 korda suuremad nähtava plahvatuslehtri mõõtmetest.

Liivase ja märja pinnase puhul on plahvatuslehtri mõõtmed pinnase libisemise tõttu ligikaudu 20% võrra väiksemad tabelis 2.4 toodud väärtustest. Kuid maa-aluste ehitiste purunemise tsoon on märjas pinnases suurem, sest nendes tingimustes levib plahvatuse surveaine tunduvalt kaugemale. Orienteeruvalt võib selle tsooni ligi 1,5...2 korda suuremaks võtta kui kuiva pinnase korral.

Maapealse tuumaplahvatuse valguskiirus on 25...50% võrra nõrgem kui õhus toimunud plahvatuse korral, sest pinnas ja plahvatusel õhku tõstetud tolm neelavad tugevamini soojusenergiat. Kuid hea nähtavuse puhul võib ühemegatonnise võimsusega maapealse tuumaplahvatuse valguskiirguse tagajärjel tekkida teise astme põletused kuni 14 km kaugusel asuvatel kaitsmata inimestel.

Maa-alune plahvatus. Maa-aluseid katseplahvatuseid sooritatakse spetsiaalsetes kaevandustes nii sügaval, et pinnas ei paisku plahvatusel üles. Need plahvatused, mida korraldatakse tuumaprotsesside uurimi-

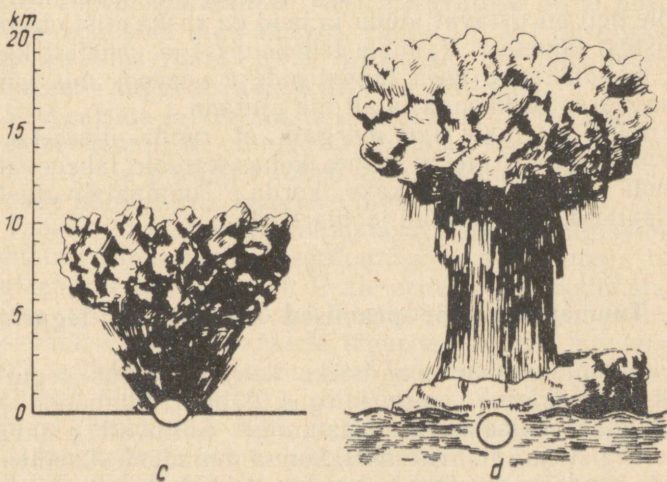
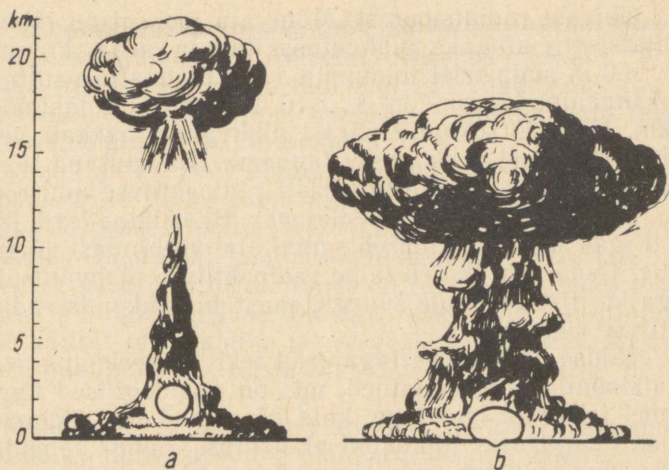
seks ja tuumarelva täiustamiseks, ei ole seni veel keelustatud, vaatamata sellele, et see loob teataval määral pingelise olukorra ja takistab relvastuse vähendamist ning riikidevaheliste suhete parandamist. Nõukogude Liit võitleb väsimatult igasuguste, sealhulgas ka maa-aluste tuumakatsetuste keelustamise eest. Igasugust tuumaplahvatust saab kaasaegsete vahenditega avastada kerge vaevaga ükskõik kui kaugel.

Tuumalaenguga rakettrelva maa-alune plahvatus võib toimuda sügavusel, mis on võrdne lahinguotsiku pinnasesse tungimise sügavusega. Niisugune maa-alune plahvatus erineb vähe maapealsest plahvatusest. Plahvatuse kahjustavad tegurid on samad mis maapealse plahvatuse korralgi, kuid valguskiirgus ja õhus leviv lööklaine on mõnevõrra nõrgemad, seismilised lained ning radioaktiivne saastumine nii plahvatuse piirkonnas kui ka radioaktiivse pilve toimel on aga tugevamad. Läbiv radiatsioon on maa-aluse plahvatuse puhul tunduvalt nõrgem kui maapealse või õhus toimunud plahvatuse korral.

Lehtri sügavus ja läbimõõt maa-alusel plahvatusel sõltuvad pinnase iseloomust, plahvatuse võimsusest ja sellest, kui sügaval plahvatus toimus. Kui plahvatus toimub kuni 30 m sügavusel, on plahvatuslehtri mõõtmed ligikaudu samad mis maapealse plahvatuse korral (vt. tabel 2.4). Võõnd, kus purunevad maa-alused ehitised, on plahvatuslehtri läbimõõdust vastavalt 2...3 korda suurem.

V e e a l u n e p l a h v a t u s. Veealuse plahvatuse puhul tekib kuumenenud auru ja gaaside helenduv mull. Epitsentris täheldatakse veepinnal eredasti helendavat ringi. Plahvatussaaduste järsu paisumise tõttu tekib vees lööklaine, mis pärast pinnale jõudmist tekitab õhus leviva lööklaine. Gaasimull, mis jõuab veekogu pinnale hiljem kui lööklaine, tõuseb õhku ja tõstab plahvatuskohas üles tohutu hulga vett. Õõnes veesammas, mis lõpeb plahvatussaadustest, veepiiskadest ja aurust koosneva radioaktiivse pilvega, tõuseb mitme kilomeetri kõrgusele. Seda veesammast nimetatakse plahvatussultaniks. Sultani mõõtmed sõltuvad sellest, kui sügaval toimus plahvatus, ja plahvatuse võimsusest.

Keskmisses või suures sügavuses toimunud plahvatuse korral neelduvad niihästi valguskiirgus kui ka suurem



Joon. 2.1. Tuumaplahvatuste väliskujud:

a – õhus toimunud plahvatus; *b* – maapealne plahvatus; *c* – mitte eriti sügaval maa all toimunud plahvatus; *d* – veevalune plahvatus.
(Musta ringiga on tähistatud helendava piirkonna maksimaalne suurus.)

osa läbivast radiatsioonist. Mõne aja jooksul on läbiva radiatsiooni allikaks plahvatussultani ja seda krooniv pilv. 50 m sügavusel toimunud 1 Mt plahvatuse sultani maksimaalne kõrgus on 8...10 km ja selle läbimõõt 4 km. 15...20 sekundit pärast plahvatust hakkab vesi sultanist tagasi veekogusse langema. Tulemusena tekib veesamba aluse juurde tugevasti radioaktiivse udu rõngas, mida nimetatakse baasilaineks. Baasilaine levib kiiresti igas suunas ja tõuseb samal ajal veepinnast kõrgemale. Üsna pea ühineb laine radioaktiivse plahvatuspilvega ja, liikudes tuule suunas, saastab paikkonda radioaktiivse vihmaga.

Veealuse plahvatuse tagajärjel tekivad veekogus gravitatsioonilised pinnalained, mis on analoogilised tuule toimele tekkinud lainetega, kuid kõrgemad ja pikemad. Suures sügavuses toimunud plahvatuse puhul täheldatakse kuni kümmet selgesti eraldatavat lainet. Avamerel ei ole neil purustavat jõudu ja neid on raske eristada tavalistest lainetest. Rannale lähenemisel ja vahetult kaldal moodustavad need lained pideva veevoo, mis võib rannaäärse paikkonna laialt üle ujutada.

Tuumakatsetuste ajal märgati, et randa üleujutava veevoo sügavus ületab mõnes kohas kaldale lähenevate lainete kõrguse kuni kaks korda. Tuumaplahvatuste välispildid on kujutatud joonisel 2.1.

2. Tuumaplahvatuse peamised kahjustavad tegurid

Tuumaplahvatuse peamisteks kahjustavateks teguriteks on lööklaine, valguskiirgus, läbiv radiatsioon ja paikkonna radioaktiivne saastumine. Sõltuvalt plahvatuse liigist ja plahvatuskeskkonna omadustest võivad peale nende kahjustavate tegurite tekkida pinnase seismitelised lained, vees leviv lööklaine ja gravitatsioonilised pinnalained, mis samuti põhjustavad kahjustusi ja purustusi.

Sõltuvalt mitmetest tingimustest võib mingi kahjustav tegur (s. o. see kahjustav tegur, mille toime levib kõige kaugemale) osutada teistest tähtsamaks ja olla määrav kaitseabinõude valikul. Ei ole niisugust plahvatuse liiki, mille puhul kõigi kahjustavate tegurite toime efektiivsus oleks maksimaalne.

Kõrgatmosfäärne plahvatus oma tugeva valguskiirgusega kahjustab kõige rohkem nägemisorganeid, eriti öösel. Peale selle mõjub tuumakiirgus raadioside- ja radiolokatsiooniseadmetele. Ülejäänud kahjustavate tegurite toime praktiliselt ei avaldu.

Ohus, optimaalsel kõrgusel toimunud plahvatust iseloomustavad kõige tugevamad lööklaine purustused ja valguskiirgusest põhjustatud kaitsmata inimeste vigastamine. Ülejäänud kahjustavaid tegureid ei võeta iga kord arvesse, sest nende toime on tühine, võrreldes lööklaine ja valguskiirguse toimega, ehk teisiti — abinõud, mis kaitsevad lööklaine ja valguskiirguse eest, kaitsevad täielikult ka teiste kahjustavate tegurite toime eest.

Maapealset ja maa-alust tuumaplahvatust iseloomustab kõrge purustusvõime plahvatuskeskme vahetus läheduses asuvas piirkonnas. Need plahvatuse liigid purustavad võimsaid maa-aluseid ehitisi. Plahvatuspiirkonnas ja radioaktiivse pilve liikumise teel täheldatakse paikkonna tugevat radioaktiivset saastumist.

Veepealsete ja vee-aluste plahvatuste iseärasuseks on gravitatsiooniliste lainete tekkimine veepinnal, mille kahjustav ja purustav toime võib avalduda kümnete ja sadade kilomeetrite kaugusel plahvatuskohast.

Tabelis 2.5 on toodud kahjustavate tegurite ligikaudne suhteline hinnang 0,5-megatonnise ja võimsamate tuumalaengute plahvatustel. Peale selle sõltub kahjustava toime suhteline aste konkreetsetest tingimustest plahvatuskohal. Et kahjustavatele teguritele õiget hinnangut anda, selleks peab oskama neid kvalitatiivselt ja kvantitatiivselt õigesti hinnata, võtta arvesse konkreetseid tingimusi (plahvatuse liiki, võimsust, atmosfääritingimusi, aastaaega, linna hoonestuse iseloomu jne.).

Tuleb pidada silmas, et enamikul juhtudel täheldatakse mitme kahjustava teguri kombineeritud toimet, mis mõjuvad peaaegu üheaegselt või lühikese ajavahemiku jooksul.

3. Ohus leviv lööklaine

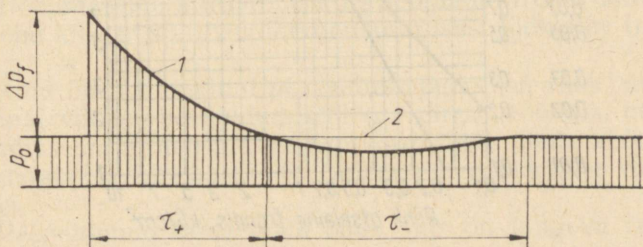
Ohus leviva lööklaine peamised omadused ja parameetrid. Kohe pärast plahvatust toimuvad ülikõrge temperatuuri ja rõhu toimed plahva-

Tuumaplahvatuste kahjustavate tegurite võrdlev hinnang

Plahvatuse liik	Õhus leviv lööklaine	Vees leviv lööklaine	Survelaine pinnases	Valguskirgus	Läbiv radiatsioon	Radioaktiivne saastumine	Veepinnal levivad lained
Kõrgel õhus toimunud plahvatus	Nõrk	—	—	Tugev	—	—	—
Õhus toimunud plahvatus	Tugev	—	Nõrk	Tugev	Tugev	Tühine	—
Maapealne plahvatus	Tugev	—	Tugev	Tunduv	Tunduv	Tugev	—
Maa-alune plahvatus	Sõltub plahvatuse sügavusest	—	Tugev	Sõltub plahvatuse sügavusest	Sõltub plahvatuse sügavusest	Tugev	—
Veepealne plahvatus	Tugev	Tugev	Nõrk	Tugev	Tugev	Tühine	Tugevad
Vee-alune plahvatus	Sõltub plahvatuse sügavusest	Tugev	Nõrk	Sõltub plahvatuse sügavusest	Sõltub plahvatuse sügavusest	Tugev	Tugevad

tussaaduste aatomite sagedased mitteelastsed põrked õhu aatomite ja molekulidega. Plahvatuse kineetiline energia läheb üle keskkonna siseenergiaks (antakse üle õhuosakestele) ja kiirgusenergiaks. Ülikõrge rõhu toimel püüavad plahvatusaadused paisuda, mille tulemusena tekib osakeste suunatud liikumine plahvatuskesk-
 mest kaugemale. Plahvatuskeskme ümber tekib väga tihe, kiiresti paisuv kiht, mis koosneb plahvatusaadus-
 test ja mida nimetatakse hüdrodünaamiliseks frondiks. Hüdrodünaamilise frondi energia antakse õhule edasi impulsina, mille tagajärjel tekib järsu frondiga löök-
 laine. Lööklaine kujutab endast kokkusurutud õhu kihti, mis eemaldub plahvatuskesk-
 mest ühelikiirusega. Kokkusurutud õhukihi paksus, niinimetatud survetsoon, kasvab pidevalt, sest pannakse liikuma üha uusi õhumasse.

Pärast seda, kui lööklaine rebib end plahvatusaadus-
 test lahti, tekib ja levib tema järel tsoon, kus õhurõhk on atmosfäärirõhust madalam (hõrendustsoon). Plahvatus-
 kohast eemaldumisega langeb rõhk lööklaines, väheneb laine levimiskiirus, kuid tema pikkus suureneb. Järeli-
 kult on rõhk lööklaine frondi ees võrdne atmosfääri-
 rõhuga, tõuseb järsult laine frondis, pärast seda aga langeb järk-järgult kuni atmosfäärirõhuni ja alaneb hõ-
 rendustsoonis sellest madalamaks (joonis 2.2). Lööklaine frondi saabumisel ruumi mingisse punkti tõusevad seal järsult õhurõhk, tihedus ja temperatuur. Lööklaine purustava ja kahjustava toime peamisteks parameetri-
 teks on atmosfäärirõhust kõrgem rõhk (ülerõhk) löök-

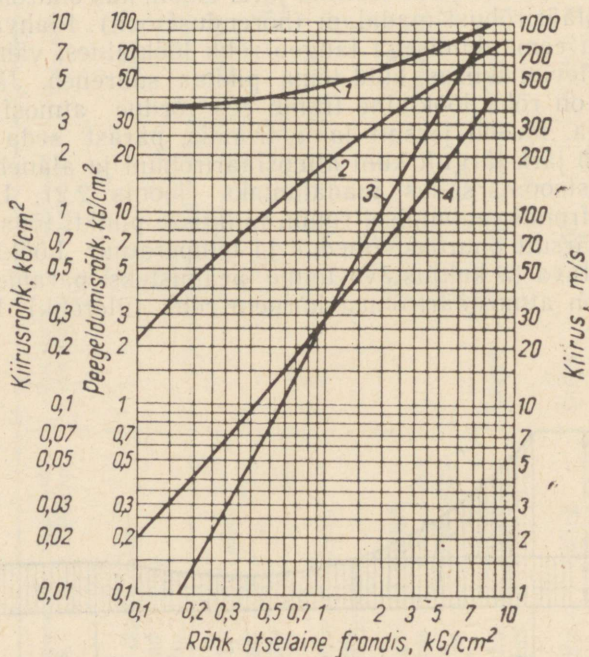


Joon. 2.2. Lööklaine rõhu muutumine:

1 – survevöönd; 2 – hõrendusvöönd.

laine frondis Δp_f (kG/cm^2), laine toime kestus (survefaasi vältus) τ (sekundites), laine frondi kiirus v_f (m/s), laine saabumise aeg antud punkti Θ (s). Nende parameetrite väärtus sõltub põhiliselt plahvatuse võimsusest ja liigist, samuti plahvatuskeskme kaugusest. Teisi tingimusi (maapinna reljeefi, ilmastikku jne.) arvestatakse vajaduse korral, tehes vastavad parandused arvutuste teel saadud väärtustesse.

Tavaliselt määratakse lööklaine purustav ja kahjustav toime selle frondi maksimaalse rõhu järgi, kuid niisugune iseloomustus ei ole küllalt täpne. Paljude ehitiste purunemise aste ei sõltu mitte ainult rõhust laine frondis, vaid ka sellest, kuivõrd ehitis pidurdab frondi järel liikuvaid õhumasse.



Joon. 2.3. Lööklaine parameetrite sõltuvus rõhust frondis:
 1 — lööklaine frondi kiirus; 2 — õhu kiirus laine frondi taga; 3 — kiirusrõhk; 4 — peegeldumisrõhk.

Õhumassid, mis liiguvad suure kiirusega lööklaine järel, tekitavad kiirusrõhu. Selle suurus oleneb õhu tihedusest ja õhumasside kiirusest lööklaine frondi taga ning on tihedalt seotud lööklaine ülerõhu maksimaalse väärtusega.

Tugeva lööklaine puhul on kiirusrõhk suurem kui lööklaine ülerõhk, nõrgema lööklaine puhul on see ülerõhust väiksem (joonis 2.3).

Praktilistel arvutustel ja lööklaine toime hindamisel pakub huvi, missugune on rõhk maapinnale ja ehitiste pindadele. Vaatleme õhus leviva lööklaine ja takistuste vastastikust mõju.

Õhus toimunud tuumaplahvatuse lööklaine, põrgates vastu mingisugust takistust, peegeldub sellelt tagasi. Maapinnal asuv objekt tajub rõhu tõusu kohe löögi näol, sest peegeldunud laine tekib peaaegu momentaanselt. Järelikult võib peegeldunud laine suurust lugeda teatud vööndi suhtes lööklaine ülerõhu arvestuslikuks väärtuseks. Peegeldumisrõhu maksimaalne suurus sõltub rõhust langevas laines ja laine langemismurgast. Kui lööklaine langeb risti takistusele, siis võib tekkiva peegeldumisrõhu maksimaalset suurust arvutada valemi järgi

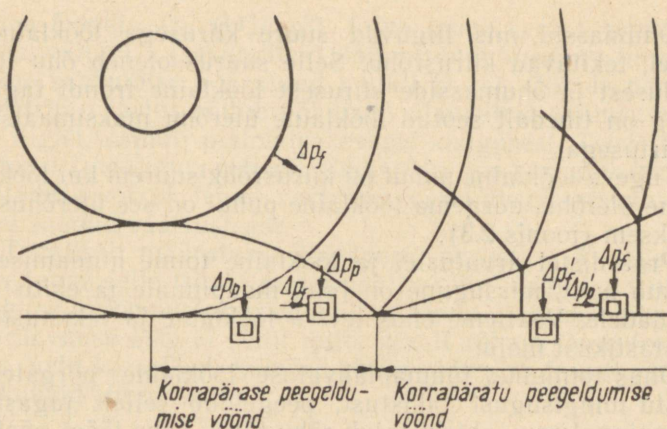
$$\Delta p_p = 2\Delta p_f + \frac{6\Delta p_f^2}{\Delta p_f + 7}, \quad (2.1)$$

kus Δp_p on ülerõhk peegeldumisel (kG/cm^2) ja Δp_f — rõhk langeva laine frondis (kG/cm^2).

Peegeldumisrõhu maksimaalset väärtust võib hinnata graafiku järgi (joonis 2.3). Samal graafikul on näidatud õhumasside kiirusrõhk ning lööklaine frondi kiiruse ja õhu kiiruse sõltuvus ülerõhu suurusest lööklaine frondis.

Kuid õhus toimunud plahvatuse jaoks on rõhk maapinnal võrdne peegeldumisrõhuga ainult vööndis, mille raadius on võrdne plahvatuse kõrgusega. Seda vööndit nimetatakse lähema või korrapärase peegeldumise vööndiks.

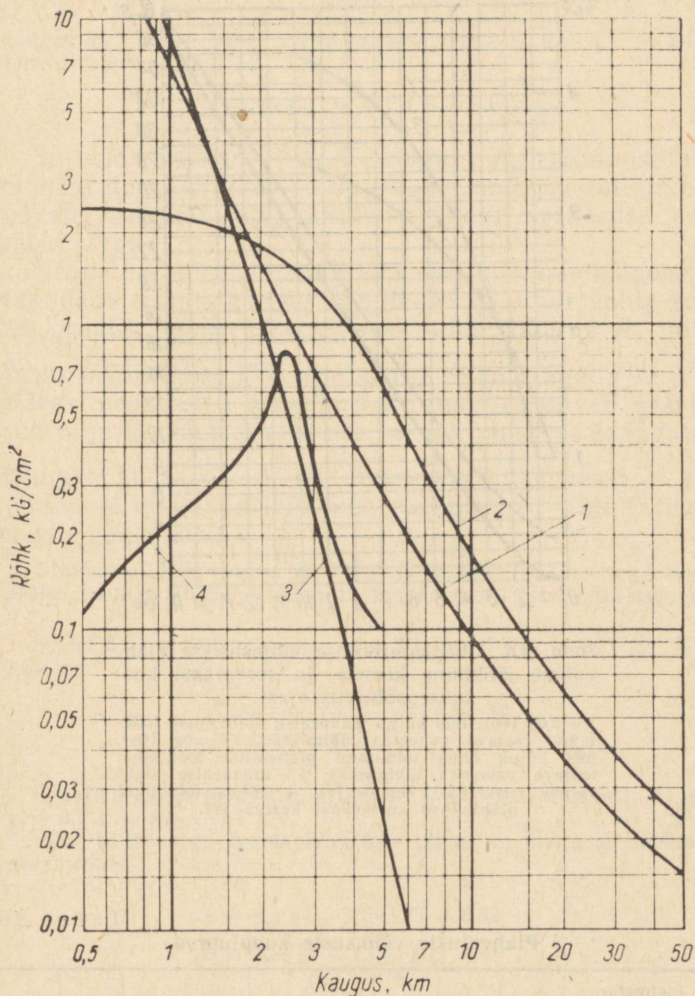
Peegeldunud laine levib õhus, mis on langeva laine poolt kokku surutud ja kuumendatud, seepärast on peegeldunud laine kiirus suurem kui langeval lainel. Tulemusena jõuab peegeldunud laine niisugusel kaugusel



Joon. 2.4. Lööklaine ja pinnase vastastikune mõju õhus toimunud plahvatuse puhul.

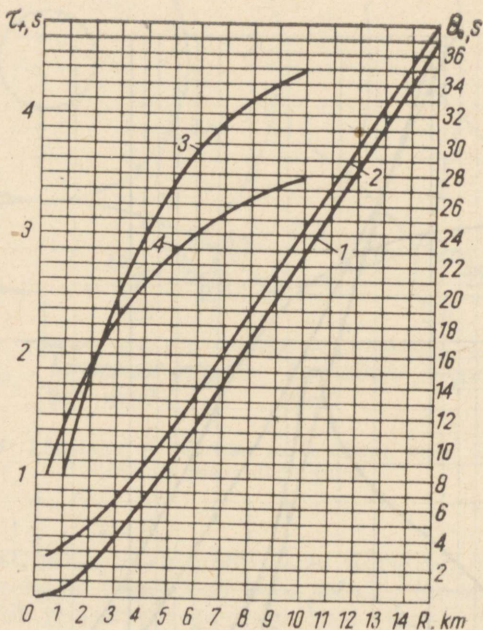
epitsentrist, mis ületab plahvatuse kõrguse, langevale lainele järele ja moodustab koos sellega ühise pealööklaine frondi, mis on maapinnaga risti (joonis 2.4). Piirkonda, kus tekib ja levib pealööklaine, nimetatakse kaugemaks ehk korrapäratu peegeldumise vööndiks. Kaugemas vööndis on rõhu väärtus võetud võrdseks pealööklaine rõhuga maapinnale. Maapealse plahvatuse korral on arvutustes toodud rõhuks lööklaine rõhk maapinnale. Arvutuste teel saadud rõhu suurus maapinnale sõltub plahvatuse võimsusest ja epitsentri kaugusest. 1 Mt võimsusega laengu kohta on see sõltuvus näidatud graafikul 2.5. Survefaasi kestuse ja lööklaine saabumise aja olenevus plahvatuskeskme kaugusest on toodud joonisel 2.6.

Lööklaine parameetrite määramine teistsuguse võimsusega plahvatuste jaoks mitmesugusel kaugusel plahvatuskeskmest põhineb sarnasuse seadusel. Teiste sõnadega, kui on teada rõhk ja kaugus plahvatuskeskmest 1 Mt võimsusega plahvatuse jaoks, siis tekib samasugune rõhk kaugusel, mis on korrutatud $\sqrt[3]{q}$, kus q on antud laengu plahvatuse võimsus miljonites tonnides. Arvutuste lihtsustamiseks on plahvatuste võimsuste kuupjuured toodud ära tabelis 2.6.



Joon. 2.5. Õhus leviva lööklaine parameetrite sõltuvus kaugusest 1-megatonnise plahvatuse puhul:

1 – maapealse plahvatuse rõhk maapinnale; 2 – õhus toimunud plahvatuse rõhk maapinnale; 3 – kiirusrõhk maapinnale maapealse plahvatuse korral; 4 – kiirusrõhk maapinnale õhus toimunud plahvatuse korral.



Joon. 2.6. Ühemegatonnise võimsusega plahvatuse lööklaine kiiruse ja survefaasi kestuse sõltuvus ajast:

1 — aeg (Θ_0), mis kulub maapealse plahvatuse lööklainel teatava vahemaa läbimiseks; 2 — aeg (Θ_0), mis kulub õhus toimunud plahvatuse lööklainel teatava vahemaa läbimiseks; 3 — maapealse plahvatuse survefaasi kestus (τ); 4 — õhus toimunud plahvatuse survefaasi kestus (τ).

Plahvatuste võimsuste kuupjuured

Tabel 2.6

Plahvatuse võimsus q , Mt	0,5	1	2	3	5	7	10	20	50
$\sqrt[3]{q}$	0,794	1,0	1,260	1,442	1,710	1,913	2,154	2,714	3,684

Ülesanne. Määrata, kui kaugel 10-megatonnise võimsusega maapealse tuumaplahvatuse keskmeest on lööklaine ülerõhk $0,4 \text{ kG/cm}^2$.

L a h e n d u s. Jooniselt 2.5 leiame, et kui $q_0 = 1$ Mt, siis on see kaugus $R_0 = 4$ km. Tabeli 2.6 järgi on $q = 10$ Mt jaoks $\sqrt[3]{q} = 2,154$. Otsitav kaugus on:

$$R = R_0 \sqrt[3]{q} = 4 \cdot 2,154 = 8,6 \text{ km.}$$

Survefaasi kestus τ ja lööklaine päralejõudmise aeg Θ määratakse erineva võimsusega tuumalaengute ja erinevate kauguste jaoks kindlaks samuti sarnasuse seaduse järgi.

Nende parameetrite määramiseks on tarvis kõigepealt taandada tegelik kaugus kauguseks R_0 , mille kohta kehtib graafik joonisel 2.6. Selleks tuleb kaugus R , mille jaoks määratakse lööklaine parameetrid, jagada $\sqrt[3]{q}$. Pärast seda tuleb graafikult 2.6 leida otsitavad väärtused τ_0 ja Θ_0 ühemegatonnise laengu puhul ja taandatud kauguse kohta. Siis korrutatakse need väärtused $\sqrt[3]{q}$ ja saame otsitavad lööklaine parameetrid antud tingimuste jaoks.

Ulesanne. Määrata τ ja Θ 5-megatonnise võimsusega maa-päalse tuumaplahvatuse kohta 10 km kaugusel plahvatuskeskmest.

L a h e n d u s. Taandatud kaugus R_0 , kui $\sqrt[3]{q} = 1,71$ (vt. tabel 2.6), on:

$$R_0 = \frac{R}{\sqrt[3]{q}} = \frac{10}{1,71} = 5,85 \text{ km.}$$

Graafiku 2.6 järgi leiame, et kui $R_0 = 5,85$ km ja $q_0 = 1$ Mt, siis $\tau_0 = 3,7$ s ja $\Theta_0 = 11,1$ s.

5-Mt võimsusega tuumaplahvatuse puhul on otsitavad lööklaine parameetrid:

$$\tau = \tau_0 \sqrt[3]{q} = 3,7 \cdot 1,71 = 6,33 \text{ s.}$$

$$\Theta = \Theta_0 \sqrt[3]{q} = 11,1 \cdot 1,71 = 19 \text{ s.}$$

Maapinna reljeefi mõju õhus levivale lööklainele. Murdmaastikul täheldatakse lööklaine toime tugevnemist ja nõrgenemist. Ülerõhk suureneb plahvatuskeskme poole orienteeritud kõrgendike nõlvadel: kaks korda nõlvadel, mille kaldenurk on $35 \dots 45^\circ$, ja $15 \dots 20\%$ võrra, kui kalle on $5^\circ \dots 10^\circ$. Kõrgema rõhu vöönd levib piki nõlva üles vastavalt lööklaine liikumisele. Niipea kui lööklaine jõuab kõrgendiku tippu

ja hakkab mööda taganõlva allapoole liikuma, langeb ülerõhk. Seejuures muutub laine front vähem järsuks, mis vähendab samuti lööklaine kahjustavat toimet.

Õhus levivale lööklainele avaldavad märkimisväärsed mõju maapinna ebatasasused. Kuid maapinna reljeefi mõju on märgatav ainult siis, kui ebatasasuste, nõlvade ja orgude mõõtmed on suuremad kui lööklaine rõhufaasi sügavus, mis võrdub rõhufaasi kestuse τ ja frondi liikumiskiiruse v_f korrutisega.

$$L = \tau v_f. \quad (2.2)$$

Kuidas määrata τ ja v_f väärtusi, seda on kirjeldatud käesoleva peatüki eelmises osas.

Maastiku mõju ligikaudseks hindamiseks võib arvestada, et keskmine murdmaastik, kus üksikute elementide kõrguste vahe on üle 100 m (künka kõrgus või oru sügavus on rohkem kui 100 m) ja nõlvade järskus üle 10° , vähendab tuumaplahvatuse lööklaine toimet.

Küngaste taganõlvad, järsakud, orud ja teised ebatasasused on nendeks paikkonna aladeks, kus rõhk langeb. Samal ajal tuleb silmas pidada, et orgudes ja järsakutes, mille pikitelg langeb ühte lööklaine levimise suunaga, on võimalik rõhu tunduv paikne suurenemine, võrreldes arvutustest saadud rõhuga.

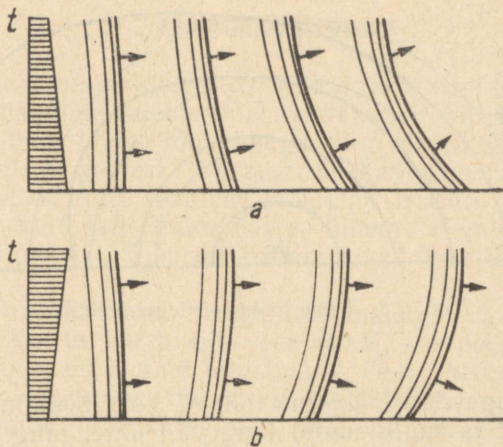
Meteoroloogiliste tingimuste mõju õhus levivale lööklainele. Meteoroloogiliste tingimuste (ilmastiku) mõju on seda suurem, mida võimsam on plahvatus ja mida kaugemale levib lööklaine. Peamiselt mõjutavad nõrka lööklainet (mille frondi ülerõhk on $0,1 \text{ kG/cm}^2$ ja alla selle) õhu temperatuur ja tuule suund ning kiirus atmosfääri erinevates kihtides.

Nagu teada, on lööklaine kiirus seda suurem, mida kõrgem on õhu temperatuur. Temperatuuride vahemikus $-60 \dots +60^\circ\text{C}$ võib seda sõltuvust väljendada valemiga

$$v_f = (332 + 0,5t) \sqrt{1 + 0,86\Delta p_f}, \quad (2.3)$$

kus v_f on lööklaine frondi kiirus m/s; t — õhu temperatuur $^\circ\text{C}$; Δp_f — ülerõhk lööklaine frondis kG/cm^2 .

Erinevatel kõrgustel on õhu temperatuur erinev. Soojal aastaajal soojeneb tunduvalt maapinnalähedane õhu;

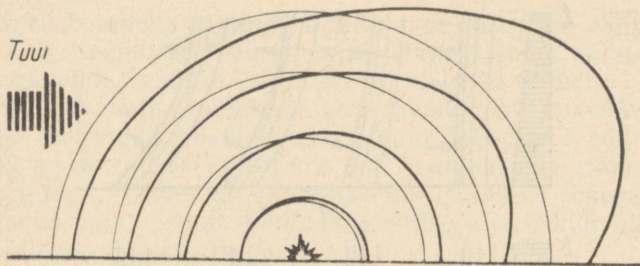


Joon. 2.7. Ohutemperatuuri muutumise mõju
 lööklaine levimisele erinevatel kõrgustel:
 a – kui atmosfääri kõrgemate kihtide temperatuur
 on madalam;
 b – kui atmosfääri kõrgemate kihtide temperatuur
 on kõrgem.

kiht, kuid atmosfääri ülemistes kihtides on temperatuur märgatavalt madalam. Laine frondi kiirus on maapinnalähedases kihis tunduvalt suurem kui atmosfääri ülemistes, külmemates kihtides. Järelikult jõuab lööklaine frondi maapinnalähedane osa ette ülemise osa liikumisest. Tulemusena «rebitakse» lööklaine maapinnast lahti ja tema rõhk maapinnale on väiksem arvutuste abil saadud väärtusest (joonis 2.7, a). Mida kaugemale jõuab laine plahvatuskohast, seda märgatavamalt ta nõrgeneb. Võib arvestada, et soojal suvepäeval on õhus leviva lööklaine rõhk kaugemal kui 10 km plahvatuskeskmest tunduvalt madalam arvutuste teel saadud väärtusest.

Kui õhk maapinna lähedal on jahe, aga kõrgemal soojem, siis liigub lööklaine maapinnalähedases kihis aeglasemalt ja laine front pöörduv maapinna poole (joonis 2.7, b). Niisugusel juhul on rõhk maapinnal suurem arvutuste teel saadud väärtusest.

Talvel, tugeva pakasega, samuti selgel ja jahedal ööl ning kevadel ja sügisel koidu-eelse halla ajal suureneb rõhk kaugustel üle 10 km ligikaudu 1,5...2 korda.



Joon. 2.8. Tuule mõju lõõklaine levimisele.

Tuul tugevdab lõõklaine toimet, kui lõõklaine liikumissuund ja tuule suund langevad ühte, ning nõrgendab seda, kui lõõklaine liigub vastutuult.

Laine toime üheks tugevnemise põhjuseks on tuuie rõhu lisandumine lõõklaine rõhule, kuid see ei ole peamine. Olulisem on laine pinna kuju moondumine ja selle frondi pöördumine õhuvooluste mõjul.

Tuule kiirus suureneb tavaliselt kõrguse suurenemisega. 8000... 15 000 m kõrgusel jõuab tuule kiirus maksimumini. Kiiresti liikuvate õhumasside mõjul pöördub allatuult liikuva lõõklaine front maapinna poole, vastutuult liikumisel — üles. Järelikult täheldatakse allatuult rõhu suurenemist ja vastutuult rõhu alanemist maapinnale (joonis 2.8).

Õhu temperatuuri ja tuule suuna mõjul võib esineda rõhu kontsentreerumine mingil maa-alal, mis asub plahvatuskeskmest küllaltki kaugel. 20 000-tonnise tuumalaengu plahvatamisel Nevada osariigis purustas lõõklaine aknad 120... 160 km kaugusel allatuult. Lõõklaine toimet tugevdab ka suhteliselt sooja õhukihi liikumine 35... 50 km kõrgusel. Sellel kõrgusel soodustab tuul lõõklaine ja helilaine levimist 110... 150 km kaugusele plahvatuskeskmest.

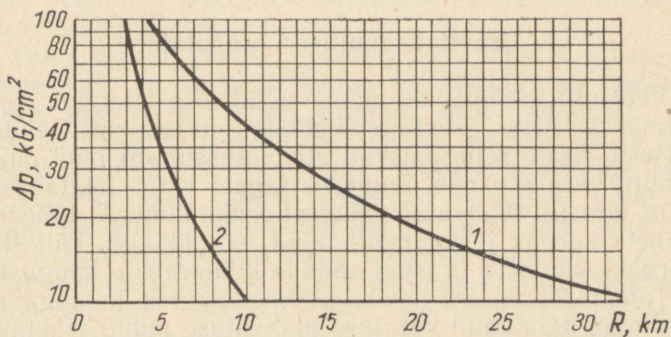
Lõõklaine mitmekordne peegeldumine maapinnalt ja atmosfääri ülemistelt kihtidelt võib mõnikord põhjustada rõhu kontsentreerumist üksikutel maa-aladel, mis asuvad väga kaugel plahvatuskeskmest. Näiteks purustas Nevada osariigis toimunud 17 kt plahvatuse lõõklaine aknad 456 km kaugusel epitsentrist. Plahvatuse mürin oli selgesti kuulda veelgi kaugemal.

4. Lööklaine vees

Veealuse tuumaplahvatuse puhul tekib vees gaasimulli kiire paisumise tulemusena lööklaine. Põhiliselt sarnaneb see õhus leviva lööklainega, kuid erineb sellest oma parameetrite poolest. Ühesugusel kaugusel plahvatuskeskmest on rõhk veealuse lööklaine frondis tunduvalt kõrgem, kuid selle toime kestus lühem. Veealune lööklaine liigub 4...5 korda kiiremini kui õhus leviv lööklaine.

Veealune lööklaine peegeldub takistustelt, mida ta kohtab. Kui ta jõuab aga veepinnani, siis peegeldub ta teisiti kui vees asunud takistustelt. Õhu tihedus on tunduvalt väiksem vee tihedusest, seepärast ei ole peegeldunud laine mitte survelaine, vaid hõrenduslaine. Hõrenduslaine ja otselaine ühinemine põhjustab rõhu järsu vähenemise lööklaine frondis. Seda nähtust nimetatakse lööklaine hajumiseks.

Veealuse lööklaine parameetrid on kindlaks määratud nii teoreetiliselt kui ka andmete järgi, mis on saadud tuumakatsetustel ja trotüülilaengute veealustel plahvatustel. 1 Mt tuumalaengu plahvatamisel tekkinud lööklaine frondi rõhu sõltuvus kaugusest on toodud joonisel 2.9. Graafiku koostamisel eeldati, et plahvatus toimus mitmesaja meetri sügavusel väga sügavas veekogus,



Joon. 2.9. Vees leviva lööklaine rõhu sõltuvus kaugusest 1-megatonnise võimsusega plahvatuse puhul:

1 — kui plahvatus toimus sügavamal kui 200 m; 2 — kui plahvatuse sügavus oli vähem kui 200 m.

mille tagajärjel laine hajumine ja selle peegeldumine veekogu põhjast ei avalda mõju laine parameetritele. Veealuse lööklaine maksimaalne rõhk on madalas veekogus väiksem kui sügavas, sest seda mõjutavad veekogu pind ja põhi. Joonisel 2.9 on kujutatud veealuse lööklaine rõhu muutumist 1 Mt võimsusega plahvatuse korral, kui plahvatus toimus 200 m sügavuses veekogus. Teistsuguse võimsusega tuumaplahvatuste puhul võib määrata kauguse, kus on oodata antud väärtusega rõhku, sarnasuse seaduse alusel, kasutades valemit:

$$R = R_0 \sqrt[3]{q}, \quad (2.4)$$

kus R on otsitav kaugus km; R_0 — kaugus, kus tekib veealuse lööklaine rõhk 1 Mt võimsusega tuumaplahvatuse puhul; $\sqrt[3]{q}$ võib leida tabelist 2.6 (vastavalt plahvatuse võimsusele).

Ülesanne. Määrata, kui kaugel 0,5 Mt veealuse plahvatuse kesk-
mest võrdub veealuse lööklaine rõhk 10 kG/cm² kohta.

Lahendus. 1. Graafikult (vt. joonis 2.9) leiame, et $q_0 = 1$ Mt puhul on kaugus $R_0 = 32$ km.

2. Tabeli 2.6 järgi on $q = 0,5$ Mt puhul $\sqrt[3]{q} = 0,794$.
3. Otsitav kaugus võrdub:

$$R = R_0 \sqrt[3]{q} = 32 \cdot 0,794 = 25,4 \text{ km.}$$

5. Gravitatsioonilised pinnalained

Veealuse plahvatuse puhul kulub osa energiat vee-
pinnal levivate gravitatsiooniliste pinnalainete tekitamiseks. Peale selle paiskub plahvatussultani näol õhku tohtu veemass, mis, langedes tagasi vette, tekitab samuti laineid. Plahvatuskeskmest eemaldumisel väheneb lainete kõrgus järk-järgult, kuid nad jäävad küllaltki kõrgeks kümnete ja isegi sadade kilomeetrite kaugusel.

Tabelis 2.7 on ära toodud andmed suures ja sügavas veekogus toimunud veealuse plahvatuse puhul tekkinud esimese laine kõrguse kohta mitmesugustel kaugustel plahvatuskeskmest. Plahvatusel tekib 10...15 selgesti eraldatavat lainet. Tavaliselt loetakse, et kõige kõrgem on esimene laine.

Esimese gravitatsioonilise pinnalaine kõrgus (m) mitme-
sugustel kaugustel veealuse tuumaplahvatuse epitsentrist

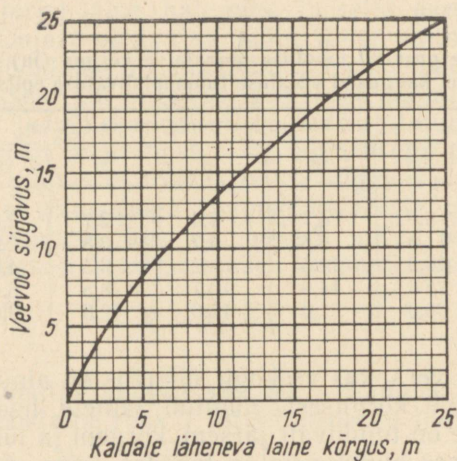
Plahvatuse võimsus, Mt	Kaugus plahvatuse epitsentrist, km					
	5	10	15	20	25	30
0,5	8,0	4,7	3,4	2,7	2,0	1,6
1,0	11,3	6,6	4,7	3,8	2,9	2,4
3,0	19,5	11,5	8,2	6,5	4,9	4,1
5,0	25,6	14,9	10,7	8,5	6,4	5,3
10,0	36,0	21,0	15,0	12,0	9,0	7,5

Madalas vees, kus veekogu sügavus on ainult natuke suurem laine kõrgusest, muutub lainete levimise iseloom: laine on tunduvalt järsem, kõrgem ja lühem. Mingis kriitilises punktis kalda lähedal laine murdub ja gravitatsiooniliste pinnalainete võnkliikumine asendub murdlaine külgliikumisega. Laugel kaldal on murdlainete kiirus ligikaudu kümme korda väiksem kaldale läheneva pinnalainetuse kiirusest, seepärast jõuavad teine, kolmas jne. laine esimesele järele. Murdlained ühinevad üheks pidevaks vooks, mis ujutab kalda üle.

Veevoo levik kaldal sõltub veevoo sügavusest ja kiirusest, samuti kalda reljeefist, taimkattest ja hoonestusest. Veevoo sügavuse veepiiril võib ligikaudu määrata esimese pinnalaine kõrguse järgi graafiku (joonis 2.10) abil. Seejuures lähtutakse eeldusest, et veevoo liikumissuund on kaldajoonega risti.

Kalda reljeefi (kalda järskust) iseloomustab geomeetiline kalle, s. o. kalda mingi punkti kõrguse (merepinna suhtes) ja veepiiri kauguse suhe. Järelikult on geomeetiline kalle arvuliselt võrdne kaldanõlva ja horisontaalpinna vahelise nurga tangensiga. Suhteliselt laugete kallaste kalded mõõtuvad tavaliselt tuhandikega. Kaldele üks tuhandik vastab nurk, mis moodustub kahe punkti vahel, mille kõrguste vahe on 1 m ja kaugus teineteisest horisontaalsuunas 1 km. Takistust, mida osutavad veevolule taimkate, pinnase ebatasasused ja teised tegurid, iseloomustab nn. hüdrauliline kalle.

Hüdrauliline kalle sõltub peale paikkonna iseloomu veel veevoo sügavusest ja kiirusest. Hüdraulilise kalde väärtust võib avaldada samades ühikutes nagu geomeet-



Joon. 2.10. Veevoo sügavuse sõltuvus kaldale läheneva laine kõrgusest.

rilist kalletki (sealhulgas ka tuhandikes, ehkki hüdrauliline kalle üks tuhandik tähendab loomulikult midagi muud). Mida suurem on hüdraulilise ja geomeetrilise kalde summa, seda suuremat takistust avaldab paikkond veevoole ja seda kitsam kaldariba ujutatakse üle. Tabelis 2.8 on toodud üleujutatava kaldaäärse maariba laius rohu ja põõsastega kaetud lauge kalda korral, kui veevoo kiirus on 2 m/s. Teistsuguse paikkonna korral on hüdrauliline kalle, järelikult ka üleujutatava riba laius samade parameetritega veevoo korral erinev.

Tabel 2.8

Üleujutatava kaldaäärse ala laius sõltuvalt kalda geomeetrisest kaldest ja veevoo sügavusest (km)

Kalda geomeetiline kalle, tuhandikes	Veevoo sügavus, m					
	1	5	10	15	20	25
1	1,6	3,8	7,0	12,8	18,2	21,8
5	0,5	1,0	1,6	3,0	4,0	5,0
10	0,3	0,5	0,9	1,5	2,0	2,5
15	0,2	0,4	0,6	1,0	1,4	1,7

Üleujutatava vööndi piiride määramiseks valitakse mitu iseloomulikku suunda, mis läbivad plahvatuse epitsentri, ja määratakse nende suundade geomeetiline kalle. Kui plahvatuse võimsus ja epitsentri kaugus on teada, siis saab tabeli 2.7 abil määrata kindlaks kaldale läheneva laine kõrguse ja joonise 2.10 järgi veevoo sügavuse. Pärast seda saab kalda geomeetrilise kalde ja veevoo sügavuse järgi tabeli 2.8 abil määrata kindlaks üleujutatava maariba laiuse.

Ülesanne. Määrata üleujutatava rannaäärse riba laius, kui kalda geomeetiline kalle on 0,005 ja 3 Mt võimsusega plahvatus toimus kaldast 10 km kaugusel.

L a h e n d u s. 1. Tabeli 2.7 järgi on laine kõrgus kalda ääres:

$$h_l = 11,5 \text{ m.}$$

2. Graafiku (vt. joonis 2.10) järgi on laine kõrgusel $h_l = 11,5$ m veevoo sügavus $h_v = 15$ m.

3. Tabelist 2.8 leiame, et kui kalda geomeetiline kalle on 5 tuhandikku ja veevoo sügavus $h_v = 15$ m, siis võrdub üleujutatava maariba laius 3 kilomeetriga.

6. Valguskiirgus

Tuumaplahvatuse valguskiirguse allikas. Tuumaplahvatuse valguskiirgus on nähtavate valguskiirte ja nendele spektriliselt lähedaste ultravioletsete ning infrapunaste kiirte voog. Selles suhtes meenutab tuumaplahvatuse valguskiirgus päikese kiirgust.

Valguskiirguse allikaks on helenduspiirkond, mis kujutab enesest plahvatusenergia poolt ülikõrge, miljoni-tesse kraadidesse ulatava temperatuurini kuumutatud hõõguvat gaasi. Niisugune ülitugev kuumenemine helenduspiirkonnas seletub sellega, et tuumaplahvatusel vabaneb laengu massiühiku kohta tohtu hulk energiat. Teiste sõnadega, tuumaplahvatuse puhul täheldatakse ülisuurt energiatihedust.

Päikesel toimuvad tuumareaktsioonid pidevalt ja seepärast on tema pinnatemperatuur miljardite aastate jooksul samaks jäänud (ligikaudu 6000°C). Tuumaplahvatuse helenduspiirkonna mõõtmed ja pinnatemperatuur muutuvad lühikese ajavahemiku jooksul lakkamatult.

Valguskiirgus algab üheaegselt helenduspiirkonna tekkimisega. Helenduspiirkonna muutumisega muutu-

vad ka selle temperatuur ja mõõtmed, samuti kiirguse spektraalkoostis. Mida kõrgem on kiirgusallika temperatuur, seda lühem on kiirguse lainepikkus, seda kõrgem võnkesagedus ja suurem kiirgusenergia.

Plahvatuse algmomendil on kiirgusspektris ülekaalus pehme röntgenikiirgus, mis neeldub õhus ja annab sellele üle oma energia. Tulemusena õhk kuumeneb ja hakkab helenduma. Plahvatuse helenduspiirkonna moodustava kuumenenud õhu kiirgus on spektri poolest lähedane päikesekiirgusele maapinna ligidal. Teoreetiliselt on helenduspiirkonna kiirguse koosseisus 56% soojus-, 31% valgus- ja 13% ultravioletset kiirgust. Need keskmised arvud erinevad vähe päikesekiirgusest, milles soojuskiirgusele kuulub 51%, valguskiirgusele 37% ja ultravioletsele kiirgusele 12% üldisest kiirgusenergiast.

Kiirguse neelavad need õhukihid, mis asuvad plahvatusevööndi vahetus läheduses. Seepärast ei muutu helenduspiirkonna temperatuur mitte sujuvalt, vaid tal on kaks arengustaadiumi.

Kui helenduspiirkonna sees langeb temperatuur järkjärgult, vastavalt sellele, kuidas suureneb ruumala, siis pinnatemperatuur saavutab peaaegu momentaanselt maksimaalse väärtuse ja langeb seejärel järsult, sest lähedal asuvad õhukihid neelavad soojust, ja tõuseb uuesti siis, kui kuumenenud õhk hakkab samuti kiirgama. Pärast seda langeb temperatuur suhteliselt sujuvalt ja pikema ajavahemiku jooksul.

Vastavalt helenduspiirkonna pinnatemperatuuri hüppelisele muutumisele eristatakse selle piirkonna kahte arengufaasi. Esimese faasi ajal, mis 1 Mt plahvatuse puhul kestab ligikaudu 0,1 s, täheldatakse väga kõrget temperatuuri — üle 300 000°K. Seepärast on selles faasis valguskiirguses valdavaks osaks ultravioletsed kiired. Kahjustava toime seisukohalt ei ole esimene faas ohtlik, sest õhk nõrgendab tunduvalt ultravioletset kiirgust. Peale selle langeb esimesele faasile selle lühikese kestuse tõttu ainult ca 1% kogu valguskiirguse energiast.

Teise faasi ajal toimub kiirgumine madalamal temperatuuril (ligikaudu 8000°K). Teise faasi spektris on ülekaalus nähtav ja infrapunane kiirgus. Just sellel kiirgusel ongi kahjustav toime. 1 Mt tuumaplahvatuse valguskiirguse teine faas kestab ligikaudu 10 s ja eralduv

energia moodustab 99% kogu valguskiirguse energiast. Tavaliselt arvestatakse valguskiirguse kahjustava toime määramisel ainult helenduspiirkonna teist faasi.

V a l g u s i m p u l s s. Valguskiirguse kahjustavat toimet iseloomustab valgusenergia hulk, mis langeb kiirguse levimissuunaga risti oleva pinna ühele ruutsentimeetrile kogu kiirgamise vältel. Seda energiahulka nimetatakse valgusimpulsiks ja mõõdetakse kalorites ruutsentimeetri kohta (cal/cm^2). Valgusimpulsi tugevus on võrdeline plahvatuse võimsusega.

Õhus toimunud plahvatuse puhul kulub valguskiirgusele 30...40% plahvatusel vabanevast energiast. On andmeid, et valguskiirgusele kuluv energiakogus langeb plahvatuse võimsuse suurenemisel, kuid küllalt täpselt võib lugeda, et õhus toimunud plahvatuse korral vabaneb $\frac{1}{3}$ kogu energiast valguskiirgusena.

Maapealsel plahvatusel, kui tulekera puudutab maapinda, on valguskiirgusele langev energiakogus mõnevõrra väiksem, sest osa energiat kulub pinnase sulatamiseks ja aurustamiseks.

K a u g u s e j a a t m o s f ä ä r i t i n g i m u s t e m ö j u v a l g u s i m p u l s i l e. Valgusimpulss nõrgeneb kauguse suurenemisel plahvatuskeskmest. Mida suurem on kaugus, seda suuremale kiirgusallikat ümbritsevale kerapinnale jaotub valguskiirgus ja seda väiksem on energiahulk, mis langeb kiiritatava pinna ühele ruutsentimeetrile.

Kauguse suurenemisega kasvab ka atmosfääri mõju. Atmosfäär nõrgendab kiirgust, sest kiirgus hajub, s. o. kiired kalduvad tolmutüübemetelt ja veepiiskadelt peegeldumisel esialgsest suunast kõrvale. Samuti neelavad footoneid tolmutüübemed, veetilgad ja õhus olevate gaaside molekulid.

Valguskiirguse nõrgenemine atmosfääris on tihedalt seotud meteoroloogilise nähtavusega.

Nähtavust määratakse kauguse järgi, kus horisondil asuva suure tumeda eseme piirjooned on taeva foonil veel eristatavad. Mida parem on nähtavus, seda vähem nõrgendab atmosfäär valguskiirgust.

Nähtavuse ligikaudne sõltuvus atmosfääri läbipaistvusest on toodud tabelis 2.9.

Selge ilmaga nõrgendab õhus olev tolmu valguskiirgust tunduvalt. Tolmust tingitud kiirguse nõrgenemist

Atmosfääritingimused ja nähtavus

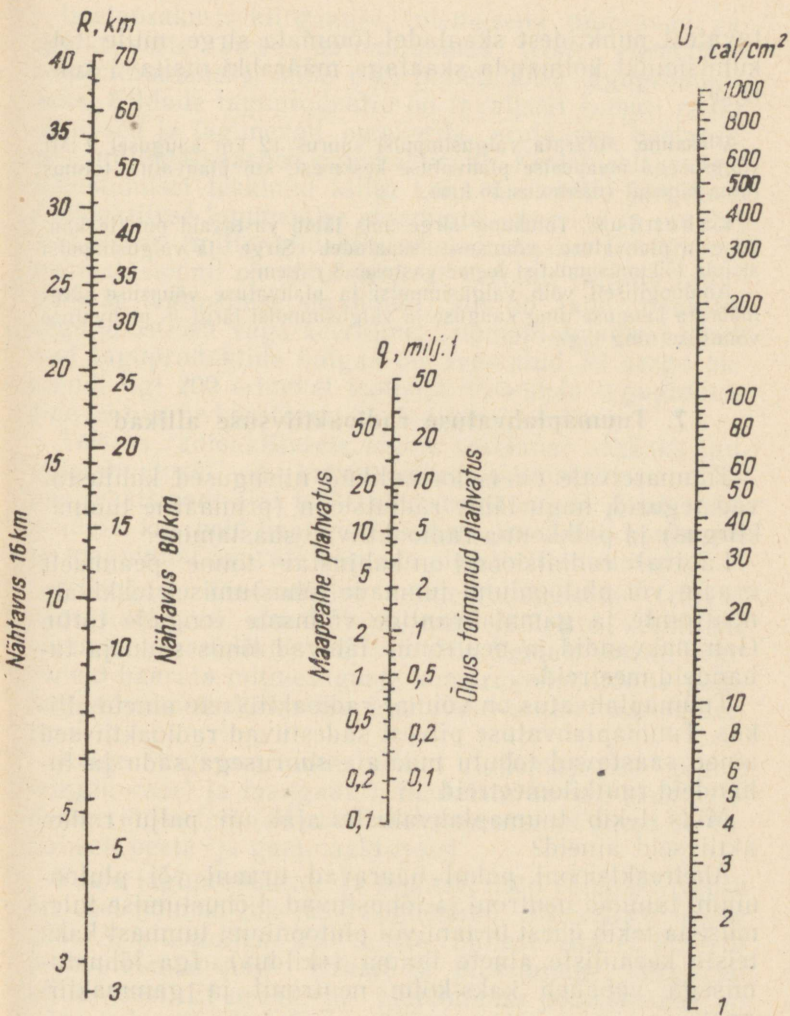
Atmosfääritingimused	Nähtavus, km	Atmosfääritingimused	Nähtavus, km
Eriti selge	80	Vine	4
Väga selge	50	Kerge udu	2
Selge	20	Udu	alla 1
Kerge vine	10		

võib samuti iseloomustada nähtavusega. Väga puhas õhk, milles on vähe tolmu ja niiskust, vastab nähtavusele 80 km. Niisugune atmosfäär on selge ilmaga kohas, mis asub eemal suurtest linnadest ja tööstuskeskustest. Suurte linnade läheduses on õhus palju tolmu. Sel juhul võib lugeda, et niisugustes tingimustes vastab atmosfääri olek nähtavusele 16 km.

Tiheda pilvekihi, suitsu või udu läbimisel nõrgeneb valguskiirus tunduvalt. Ent kiirus nõrgeneb ainult siis, kui plahvatuskeske asub pilvedes või neist kõrgemal. Kui plahvatus toimus allpool pilvi, siis peegeldub valguskiirus pilvedelt ja tema toime maapealsetele objektidele on sageli tugevam kui pilvituse puudumisel.

Maapealsel plahvatusel neeldub teatud osa valguskiirgusest veeauru- ja tolmuühis vahetult plahvatuskoha lähedal. Samuti nõrgendab atmosfäär kiirgust tunduvalt rohkem, sest kiirus läbib oma teel helenduspiirkonnast kuni objektini kõige madalamaid, järelikult kõige rohkem tolmu sisaldavaid atmosfäärikihte. Seda arvestades võib väita, et maapealse plahvatuse valgusenergia moodustab 50...75% õhus toimunud plahvatuse valgusenergiast kõigi teiste tingimuste samaks jäämise puhul.

Valguskiirguse kahjustava toime hindamine. Valguskiirguse kahjustava toime hindamiseks on tavaliselt tarvis määrata üks kolmest omavahel seotud suurusest (valgusimpulss, plahvatuse võimsus ja kaugus). Ükskõik missuguse neist suurustest saab küllaltki täpselt kindlaks teha nomogrammi (joonis 2.11) järgi, kui kaks teist on teada. Nomogramm koosneb kolmest paralleelskaalast, millele on kantud kaugus plahvatuskeskmest kilomeetrites (nähtavuse puhul 16 ja 80 km), maapealse (õhus toimunud) plahvatuse võimsus ja valgusimpulsi suurus.



Joon. 2.11. Valgusimpulsside nomogramm.

Nomogramm on ehitatud järgmiselt: ükskõik mis-suguste omavahel seotud suuruste arvvaartused asuvad ühel sirgel, mis lõikub kõigi kolme skaalaga. Otsitava suuruse leidmiseks tuleb teadaolevatele andmetele vas-

tavatest punktides skaaladel tõmmata sirge, mille lõikumispunkt kolmanda skaalaga määrabki otsitava suuruse.

Ulesanne. Määrata valgusimpulsi suurus 12 km kaugusel 2 Mt võimsusega maapealse plahvatuse keskmest, kui plahvatus toimus linna lähedal (nähtavus 16 km).

Lahendus. Tõmbame sirge, mis läbib vastavaid punkte kauguse ja plahvatuse võimsuse skaaladel. Sirge ja valgusimpulsi skaala lõikumispunktist loeme vastuse: 8 cal/cm².

Analoogiliselt võib valgusimpulsi ja plahvatuse võimsuse järgi määrata kauguse ning kauguse ja valgusimpulsi järgi — plahvatuse võimsuse ning liigi.

7. Tuumaplahvatuse radioaktiivsuse allikad

Tuumarelvale on iseloomulikud niisugused kahjustavad tegurid, nagu läbiv radiatsioon (primaarne tuumakiirgus) ja paikkonna radioaktiivne saastamine.

Läbival radiatsioonil on kahjustav toime peamiselt uraani või plutooniumi tuumade lõhustumisel tekkivate neutronite ja gammakvantide võimsate voogude tõttu. Gammakvandid ja neutronid läbivad õhus sadu ja tuhandeid meetreid.

Tuumaplahvatus on võimas radioaktiivsete ainete allikas. Tuumaplahvatuse pilvest sadestuvad radioaktiivsed ained saastavad tohutu maa-ala suurusega sadu ja tuhandeid ruutkilomeetreid.

Miks tekib tuumaplahvatuste ajal nii palju radioaktiivseid aineid?

Ahelreaktsiooni puhul haaravad uraani või plutooniumi tuumad neutroni ja lõhustuvad. Lõhustumise tulemusena tekib ühest uraani või plutooniumi tuumast kaks teiste keemiliste ainete tuuma («kildu»). Iga lõhustumisega vabaneb kaks-kolm neutronit ja gammakiirgust.

Uraani või plutooniumi tuuma lõhustumisel on 40 erinevat varianti. Selle tagajärjel võib plahvatuse ajal tekkida 80 erinevate keemiliste ainete kildu. Suurema osa kildudest moodustavad uraanist või plutooniumist kergemate keemiliste elementide radioaktiivsete isotoopide tuumad. Nende radioaktiivsus avaldub peamiselt beetaosakeste kiirguses. Paljude kildude beetalagunemisega kaasneb gammakiirgus.

Beetaosakeste kiirgamise tulemusena muutuvad radioaktiivsete ainete aatomituumad teiste elementide aatomituumadeks, mida tihti nimetatakse laguproduktideks. Kildude laguproduktid on tavaliselt samuti radioaktiivsed ja lagunevad omakorda, eraldades beetaosakesi, millega kaasneb gammakiirgus. Keskmiselt on igal lõhustumisel tekkinud killul kolm üksteisele järgnevat radioaktiivsete lagunemise staadiumi, enne kui ta muutub stabiilseks (mitteradioaktiivseks) tuumaks. Et lõhustumisreaktsioonil on mitu erinevat varianti ja mitu radioaktiivsete lagunemise staadiumi, siis on laguproduktide segu koostiselt väga keeruline. Tuumaplahvatusel tekkinud laguproduktide hulgas on avastatud 36 kerge elemendi ligi 200 erinevat isotoopi. Peamiste laguproduktide isotoopne koostis on toodud tabelis 2.10.

Teiseks radioaktiivsete ainete tekkimise allikaks tuumaplahvatusel on indutseeritud radioaktiivsus. Osa ahelreaktsiooni ajal tekkivatest neutronitest jõuab maapinnale, kus neid haaravad pinnase koosseisu kuuluvate ja maapinnal asuvate esemete elementide tuumad.

Niisuguse omavahelise toime tulemusena tekivad räni, naatriumi, alumiiniumi, raua ja teiste keemiliste elementide radioaktiivsed isotoobid. Samuti võivad neutronid haarata mitmesuguste konstruktsioonide ja paikonna esemete koosseisu kuuluvate ainete aatomituumad.

Kõige tugevam indutseeritud radioaktiivsus esineb tsingil, vasel ja mangaanil; madalam on see raual. Indutseerimise teel radioaktiivseks muutunud ained on tavaliselt beeta- ja gammaaktiivsed.

Peale laguproduktide ja indutseeritud radioaktiivsuse on veel kolmas liik jääkradiatsiooni. See esineb uraan 235 või plutoonium 239 juures, millest osa ei lõhustu plahvatusmomendil. Uraan ja plutoonium kiirgavad alfaosakesi. Et uraani ja plutooniumi poolestusaeg on väga pikk ja alfakiirguse läbimisvõime väike, siis ei avalda see radioaktiivsuse allikas olulist mõju primaarsele tuumakiirgusele ega maastiku radioaktiivse saastumise iseloomule.

Järelkult on tuumaplahvatuse korral radioaktiivsuse peamiseks allikaks tuumakütuse lõhustumisel tekkivad killud. Plahvatava laengu võimsuse iga tuhande tonni kohta tekib ligikaudu 37 g ehk iga megatonni kohta

Uraan 235 või plutoonium 239 tuumaplahvatuste
laguproduktide isotoopne koostis

Isotoop	Poolestusaeg ^a	Isotoop	Poolestusaeg
Seleen 83	25 min.	Telluur 131	24 min.
Broom 83	2,4 tundi	Jood 131	8,05 päeva
Broom 84	33 min.	Telluur 132	77 tundi
Krüptoon 87	78 min.	Jood 132	2,3 tundi
Krüptoon 88	2,8 tundi	Telluur 133	2 min.
Rubiidium 88	18 min.	Jood 133	20,8 tundi
Rubiidium 89	15,4 min.	Telluur 134	44 min.
Strontsium 89	50,5 päeva	Jood 134	52,5 min.
Strontsium 90	28 aastat	Jood 135	6,7 tundi
Ütrium 90	64,3 tundi	Ksenoon 135	9,2 tundi
Strontsium 91	9,7 tundi	Tseesium 137	30 aastat
Ütrium 91	58 päeva	Ksenoon 138	17 min.
Strontsium 92	2,7 tundi	Tseesium 138	32 min.
Ütrium 92	3,6 tundi	Tseesium 139	9,5 min.
Strontsium 93	7,9 min.	Baarium 139	85 min.
Ütrium 93	10,3 tundi	Baarium 140	12,8 päeva
Tsirkoonium 95	65 päeva	Baarium 141	18 min.
Niobium 95	35 päeva	Lantaan 141	3,7 tundi
Tsirkoonium 97	17 tundi	Tina 128	57 min.
Niobium 97	73 min.	Antimon 129	4,6 tundi
Molübdeen 99	66,5 tundi	Telluur 129	67 min.
Molübdeen 101	14,6 min.	Antimon 130	33 min.
Tehneesium 101	14 min.	Antimon 131	23 min.
Molübdeen 102	11,5 min.	Lantaan 142	81 min.
Tehneesium 102	5 s	Lantaan 143	19 min.
Ruteenium 103	40 päeva	Tseerium 143	33 tundi
Ruteenium 105	4,5 tundi	Tseerium 144	285 päeva
Roodium 105	36,5 tundi	Praseodüüm 144	17,5 min.
Ruteenium 106	1 aasta	Praseodüüm 145	6 tundi
Roodium 107	22 min.	Tseerium 146	13,9 min.
Pallaadium 109	13,6 tundi	Praseodüüm 146	24,4 min.
Pallaadium 111	23 min.	Praseodüüm 147	12 min.
Pallaadium 112	21 tundi	Neodüüm 147	11,3 päeva
Hõbe 113	5,3 tundi	Neodüüm 149	2 tundi
Hõbe 115	20 min.	Promeetium 149	54 tundi
Kaadmium 117	50 min.	Neodüüm 151	12 min.
Indium 117	1,1 tundi	Promeetium 151	27,5 tundi
Indium 119	17,5 min.	Samaarium 153	47 tundi
Tina 121	27,5 tundi	Samaarium 155	23,5 min.
Tina 123	39,5 min.	Samaarium 156	10 tundi
Tina 127	2 tundi		

37 kg laguprodukte. Laguproduktide radioaktiivsus on erakordselt kõrge vahetult pärast plahvatust.

Üks tund pärast 1-megatonnise võimsusega tuumaplahvatust on laguproduktide gammaaktiivsus ligikaudu $(450 \dots 550) \cdot 10^6$ küriid, mis võrdub $(450 \dots 550) \cdot 10^3$ tonni raadiumi aktiivsusega. Kui laguprodukte oleks võimalik ühtlaselt jaotada 10 000-ruutkilomeetrise maa-alal, siis oleks 1 tund pärast tuumaplahvatust kiirguse intensiivsus maapinnal 400 r/h. Isegi ühe ööpäeva möödumisel oleks radiatsioonitase siis veel 9 r/h. Tegelikult on laguproduktide ühtlane jaotumine ebatõenäoline. Plahvatuskoha läheduses on sadestumine intensiivsem ja mida kaugemale plahvatuskeskmest, seda vähem sadestub radioaktiivseid aineid.

8. Läbiv radiatsioon (primaarne tuumakiirgus)

Plahvatushetkel kaasneb tuumade kildudeks lagunemisega suure hulga gammakvantide, neutronite, beetaosakeste ja vähemal määral alfaosakeste kiirgus. Peaaegu kõik neutronid ja osa gammakiiri kiirguvad tuumakütuse lõhustumise käigus. See kiirgus tekib koos tuumaplahvatusega ja seepärast nimetatakse seda hetkkiirguseks. Järelikult on tulekera võimas gammakvantide ja neutronite hetkvoos allikas. See kiirgus levib mitme kilomeetri kaugusele. Kuid tavaliselt mõeldakse primaarse tuumakiirguse ehk läbiva radiatsiooni all mitte ainult gammakvantide ja neutronite hetkvoogu, vaid ka radioaktiivse pilve kiirgust ligikaudu ühe minuti jooksul pärast tuumaplahvatust.

Läbiva radiatsiooni toime kestuse (1 min.) määramisel lähtuti järgmistest kaalutlustest. 20 000-tonnise trotüülekviivalendiga pommi plahvatamishetkel ulatub radioaktiivsuse allika läbiva radiatsiooni toime 3,2 kilomeetri kaugusele. Järelikult seni, kuni 20 000 t trotüülekviivalendiga pommi plahvatuse pilv ei ole jõudnud 3,2 km kõrgusele, kiirgab see gammakvante, mis jõuavad maapinnani. Et pilve tõusmiseks nimetatud kõrgusele kulub ligikaudu 1 minut, siis ongi primaarse tuumakiirguse kestuseks võetud üks minut.

Võimsama tuumalaengu plahvatamisel on gammakvantide kahjustava toime raadius suurem, kuid kasvab

ka pilve tõusu kiirus. Väiksema kaliibriga tuumalaengu puhul läbiva radiatsiooni toime raadius väheneb, kuid samal ajal väheneb vastavalt ka pilve tõusu kiirus. Seepärast võibki lugeda, et läbiva radiatsiooni toime kestab, sõltumata plahvatuse võimsusest, ligikaudu ühe minuti.

Primaarne tuumakiirgus (läbiv radiatsioon) on inimestele ohtlik. Kuid keskmise ja suure võimsusega tuumalaengute puhul on läbiva radiatsiooni toime raadius tunduvalt väiksem lööklaine kui peamise kahjustava teguri toime raadiusest tuumaplahvatuse piirkonnas. Et selles veenduda, vaadeldgem tabelit 2.11. Tabelist on näha, et läbiva radiatsiooni toime raadius on suurem lööklaine mõju ulatusest (inimeste suhtes) ainult suhteliselt väikese võimsusega (1...10 000 t) tuumalaengute korral.

Tabel 2.11

Kahjustava toime parameetrid sõltuvalt tuumaplahvatuse võimsusest

Tuumaplahvatuse kahjustavad tegurid ¹	Kaugus plahvatuse epitsentrist (km) tuumaplahvatuse korral, mille võimsus on (kilotonne)				
	1	10	100	1000	10000
<i>Läbiv radiatsioon</i>					
100 r	1,1	1,6	2,1	2,88	3,8
800 r	0,96	1,28	1,76	2,4	3,66
1000 r	0,8	1,1	1,6	2,2	3,2
<i>Lööklaine</i>					
ülerõhk 0,35 kG/cm ²	0,64	1,35	3,2	6,9	14,7
<i>Valguskiirgus</i>					
teise astme põletused	0,8	2,4	6,4	17,6	35,2

¹ Maapealse plahvatuse puhul on läbiva radiatsiooni kahjustava toime raadius mõnevõrra väiksem kui õhus toimunud plahvatuse korral.

100 000 t võimsusega plahvatuse korral on lööklaine toime raadius, kus ülerõhk on 0,35 kG/cm², 1,5 korda suurem kaugusest, kus läbiva radiatsiooni doos võrdub 100 röntgeniga. 1 Mt võimsusega plahvatuse puhul on see suhe 2,4, 10 Mt plahvatuse korral 4,0. Sellest järeldub, et suurtes linnades, mille ründamiseks kasutatakse tõenäoliselt võimsaid tuumalaenguid, tuleb kaitsehi-

tiste projekteerimisel ja ehitamisel ning nende kaitseomaduste määramisel lähtuda lööklaine ja valguskiirguse mõjust. Insenerilised abinõud, mida rakendatakse inimeste kaitseks lööklaine ja valguskiirguse eest, garanteerivad samaaegselt nende kaitse läbiva radiatsiooni toime eest.

Tuumaplahvatussaaduste lagunemine. Tuumaplahvatussaadused koosnevad 36 keemilise elemendi 200 radioaktiivse isotoobi segust (vt. tabel 2.10). Igal radioaktiivsel isotoobil on oma poolestusaeg. Radioaktiivsete ainete lagunemise tulemusena väheneb maastiku radiatsioonitase aja jooksul, kuid on võimatu määrata kogu segu poolestusaega. Siiski on kindlaks tehtud, et aktiivsuse summaarset alanemist, järelikult ka radioaktiivse kiirguse intensiivsuse vähenemist, võib määrata lihtsa valemil abil

$$P_1 = P_0 \left(\frac{t_1}{t_0} \right)^{-1,2}, \quad (2.5)$$

kus P_1 on otsitav radiatsioonitase (doosi võimsus) ajahetkel t_1 pärast plahvatust; P_0 — pärast plahvatust ajahetkel t_0 mõõdetud radiatsioonitase.

See võrrand kajastab küllalt täpselt radiatsioonitaseme ajalise kahanemise seaduspärasust ja võimaldab lahendada radiatsiooniolukorra hindamisega seotud peamisi ülesandeid.

Kui kiirguse mõõtmise ajaks t_0 võtta 1 tund pärast tuumaplahvatust, siis võib võrrandi (2.5) üles kirjutada järgmiselt:

$$P_1 = P_0 (t_1)^{-1,2}, \quad (2.5, a)$$

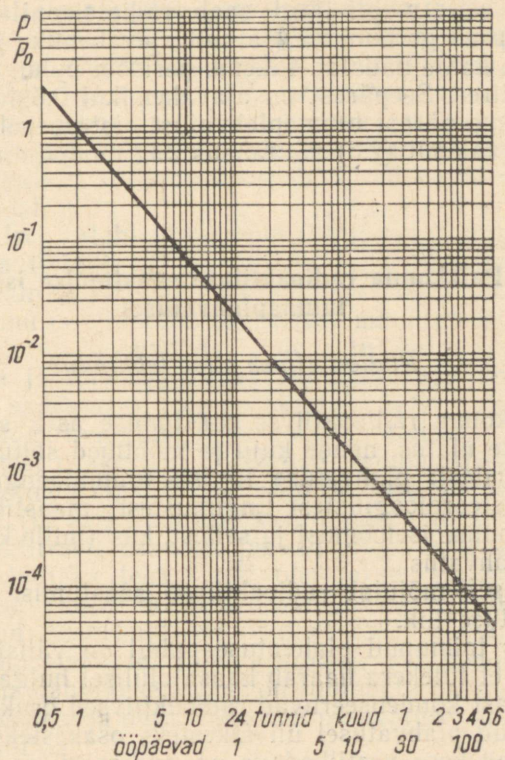
kus P_0 on 1 tund pärast tuumaplahvatust mõõdetud (või selleks ajaks arvutatud) doosi võimsus.

Üks tund pärast plahvatust mõõdetud (või selleks ajaks arvutatud) doosi võimsust nimetatakse mõnikord ka doosi etalonvõimsuseks.

Võrrandi (2.5) järgi võib ehitada doosi võimsuse ajast sõltuvuse graafiku (joonis 2.12) või koostada tabelid. Tabelis 2.12 on toodud ära doosi võimsus igaks ajahetkeks pärast plahvatust (P_t) protsentides doosi võimsusest 1 tund pärast plahvatust (P_0 — doosi etalonvõimsus), mis on tinglikult võetud võrdseks 100%-ga.

Radiatsioonitase erinevatel ajahetkedel pärast tuumaplahvatust

Tuumaplahvatusest möödunud aeg, tundides	Suhteline radiatsioonitase, $\frac{P_t}{P_0} \cdot 100$	Alanemise aste, $\frac{P_0}{P_t}$	Tuumaplahvatusest möödunud aeg, tundides	Suhteline radiatsioonitase, $\frac{P_t}{P_0} \cdot 100$	Alanemise aste, $\frac{P_0}{P_t}$	Tuumaplahvatusest möödunud aeg, tundides	Suhteline radiatsioonitase, $\frac{P_t}{P_0} \cdot 100$	Alanemise aste, $\frac{P_0}{P_t}$
0,5	240	0,42	12	5,05	19,8	24 (1 ööpäev)	2,2	45,5
1	100	1	13	4,65	21,5	30	1,69	61
2	43,5	2,3	14	4,20	23,8	36	1,36	73,8
3	27,0	3,7	15	3,90	25,6	48 (2 ööpäeva)	0,96	104
4	19,0	5,25	16	3,6	27,8	60	0,73	137
5	14,5	6,9	17	3,3	30,3	72 (3 ööpäeva)	0,59	170
6	11,6	8,63	18	3,1	32,2	84	0,49	204
7	9,7	10,3	19	2,9	34,5	96 (4 ööpäeva)	0,42	238
8	8,2	12,2	20	2,7	37,0	120 (5 ööpäeva)	0,32	310
9	7,15	14,0	21	2,6	39,5	168 (1 nädal)	0,2	500
10	6,3	15,87	22	2,45	41,0	336 (2 nädalat)	0,096	1000
11	5,6	17,85	23	2,3	43,5	720 (1 kuu)	0,037	2700



Joon. 2.12. Radiatsioonitaseme ajast sõltuvuse graafik.

Radiatsioonitaseme alanemise ligikaudseks hindamiseks võib kasutada järgmist seaduspärasust: ajavahe- miku seitsmekordsele suurenemisele vastab radioaktiiv- suse kümnekordne alanemine. Kui näiteks 1 tund pärast tuumaplahvatust oli paikkonna radiatsioonitase 100 r/h, siis 7 tundi pärast plahvatust langeb kiirguse intensiiv- sus 10 korda ja radiatsioonitase võrdub juba 10 r/h. 49 (7·7) tundi hiljem on radiatsioonitase langenud 100 korda ja võrdub 1 r/h. Või teine näide: oletame, et esi- mese ööpäeva lõpuks oli paikkonna radiatsioonitase 50 r/h, siis nädala pärast on sama punkti radiatsiooni- tase ligikaudu 5 r/h.

Kuid selle reegli järgi saab radiatsioonitaset määrata täpsusega kuni 25% ainult ajavahemiku jaoks, mis ei ületa kahte nädalat. Pikema perioodi puhul on täpsus 50% piires. Seepärast on ajavahemikul 0,5 tundi kuni 200 päeva pärast tuumaplahvatust otstarbekohasem kasutada valemit (2.5) või tabelis 2.12 toodud andmeid.

9. Paikkonna radioaktiivse saastumise iseloom tuumaplahvatusel

Radioaktiivse pilve tekkimine

Paikkonna radioaktiivse saastumise aste, saastumisvööndite ulatus, nende kuju ja mõõtmed sõltuvad reastingimustest: plahvatuse liigist, tuumalaengu võimsusest, meteoroloogilistest tingimustest, maastiku reljeefist, pinnase iseloomust ja sellest, kus (mille kohal) toimus plahvatus.

Oluliselt mõjutab radioaktiivse saastumise iseloomu plahvatuse liik.

Õhus toimunud plahvatuse puhul on välistatud võimalus, et tulekera haarab kaasa olulisel hulgal pinnast. Seepärast kondenseeruvad radioaktiivsed osakesed õhus toimunud plahvatusel üliväikesteks osakesteks ja moodustavad koos veetilkadega nn. radioaktiivse pilve. Sel juhul jäävad radioaktiivsed osakesed üsna kauaks atmosfääri hõljuma.

Tuul kannab radioaktiivsed osakesed plahvatuskohast suurtele kaugustele ja sademete näol langevad need ulatuslikule maa-alale. Osakeste põhimass sadestub alles mitme nädala või kuu jooksul, seepärast ei täheldatagi õhus toimunud plahvatuse puhul paikkonna tugevat radioaktiivset saastumist.

Kuid sõltuvalt tuumalaengu omadustest, plahvatuse kõrgusest ja pinnase iseloomust saastub paikkond õhus toimunud plahvatuse epitsentris ikkagi neutronite voo toimel (indutseeritud radioaktiivsus). Saastumisaste võib olla erinev, kuid võib oletada, et õhus toimunud plahvatuste puhul ei ületa saastunud vööndi mõõtmed plahvatuse epitsentris täielike purustuste tsooni mõõtmeid.

Maapealse plahvatuse korral puudutab tulekera algul maapinda. Ümbritsev keskkond kuumeneb, tunduv osa pinnasest ja kivimeist aurustub ning tulekera haarab need endaga kaasa. On välja arvatatud, et kui 1 Mt võimsusega tuumaplahvatusel vabanevast energiast kuulub 5% pinnase kuumutamisele, siis lisandub tavalistele ainetele, millest tulekera koosneb, 20 000 tonni aurustunud pinnast.

Veepealsel plahvatusel võib ülaltoodud tingimustel aurustuda 100 000 m³ vett. Peale selle tõstavad maapealse plahvatuse ajal tekkinud õhuvoolud üles suure hulga tolmu ja teisi tahkeid osakesi, mis liiguvad tõusva tulekera järel. Sedamööda, kuidas tulekera kõrgemale tõuseb ja jahtub, segunevad radioaktiivsed ained tolmu ja sadestuvad tolmuosakestel. Selle tulemusena tekib radioaktiivne pilv, mis koosneb tohutust hulgast üliväikestest osakestest. Tekkinud radioaktiivsete osakeste mõõtmed võivad olla väga mitmesugused: ühest mikronist (ja väiksematest) kuni mitme millimeetrini.

Radioaktiivsete osakeste jaotust pilves on väga raske täpselt kindlaks teha, kuid oletatakse, et maapealse plahvatuse puhul on 90% summaarsest aktiivsusest koondunud seenekujulisse «kübarasse» ja ülejäänud 10% tolmusambasse (pilve «jalga»). Vee kohal toimunud tuumaplahvatuse korral on radioaktiivsuse osa tunduvalt väiksem ja õhus toimunud plahvatuse puhul läheneb see nullile.

Radioaktiivse pilve maksimaalne kõrgus sõltub soojusenergia hulgast, mis vabaneb plahvatusel, samuti atmosfääritingimustest, näiteks õhuniiskusest ja atmosfääri stabiilsusest. Mida võimsam on plahvatus, seda suurem on pilvele mõjuv tõstejõud, järelikult seda kõrgemale ta tõuseb.

Radioaktiivse pilve maksimaalset kõrgust mõjutab tunduvalt tropopausi¹ kõrgus. Tropopausi jõudmisel levib radioaktiivne pilv horisontaalselt igas suunas. Kui pilves on veel säilinud küllaldaselt energiat, siis tungib ta osaliselt läbi tropopausi atmosfääri stabiilsematesse kihtidesse.

¹ Tropopausiks nimetatakse troposfääri ülemist kihti, mida iseloomustab temperatuuri jäävus ja atmosfääri stabiilsus. Tropopausi kõrgus sõltub aastaajast ja geograafilisest laisusest, kõikudes 7500 meetrist (pooluse piirkonnas) kuni 16 500 meetrini (troopikas).

Umbes 10 minuti jooksul saavutab radioaktiivne pilv oma maksimaalse kõrguse, stabiliseerub ja omandab seene kuju. Seenekujulist pilve on kaugele näha ja see on vaadeldav ühe tunni jooksul või isegi kauem.

Tabel 2.13

Radioaktiivse pilve tõusu kõrguse ja selle raadiuse sõltuvus plahvatuse võimsusest õhus toimunud tuumaplahvatuse korral (10 minutit pärast plahvatust)

Plahvatuse võimsus, $\times 10^6$ tonni	Pilve tõusu kõrgus, km	Pilve raadius, km
10	9,6	2,9
50	12,0	3,5
100	13,4	5,1
200	15,2	8,3
300	17,3	10,0
400	18,0	11,5
500	19,2	12,0
1 000	22,2	16,8
2 000	25,0	21,7
5 000	28,5	30,0
10 000	30,6	41,6

Stabiliseerunud pilve mõõtmed sõltuvad meteoroloogilistest tingimustest ja tuumalaengu võimsusest (tabel 2.13).

Maapealsel plahvatusel on pilve maksimaalne kõrgus ja mõõtmed tabelis 2.13 toodud väärtustest mõnevõrra väiksemad.

Radioaktiivse pilve jälje tekkimine maapealse tuumaplahvatuse korral

Pärast stabiliseerumist hakkab radioaktiivne pilv tuule mõjul kindla kiirusega kindlas suunas liikuma. Suuremad osakesed sadestuvad pilvest ja sambast enne, kui pilv tõuseb maksimaalsele kõrgusele, seega saastavad nad paikkonda plahvatuskeskme vahetus läheduses.

Paikkonna saastumise iseloomu plahvatuse piirkonnas vaatleme hiljem. Kerged osakesed sadestuvad pikema aja vältel ja saastavad suuri maa-alasid. Enamik maa-

peasel plahvatusel tekkinud radioaktiivseid osakesi sadestub pilvest ühe-kahe ööpäeva jooksul. Sadestumist, mis toimub esimese ööpäeva vältel, nimetatakse varaseks ehk paikseks sadestuseks.

Radioaktiivsed osakesed, mille mõõtmed on 5 kuni 1 mikronit, sadestuvad maapinnale 2...3 ja enama nädala jooksul. Seda sadestuse liiki nimetatakse mõnikord poolglobaalseks ehk kontinentaalseks sadestuseks.

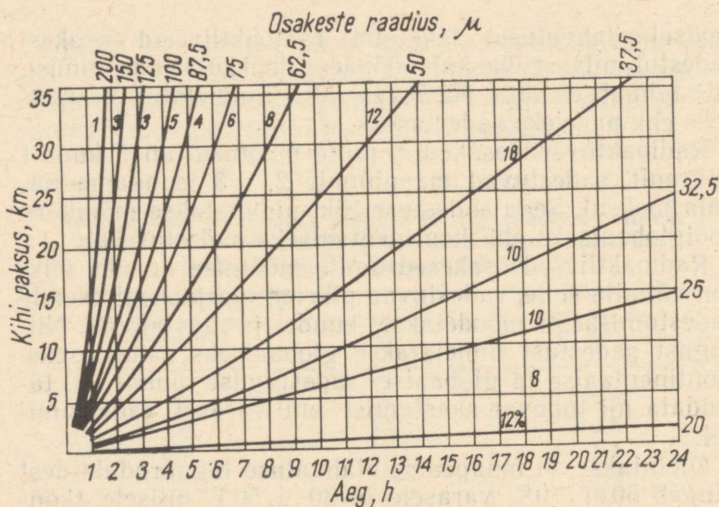
Radioaktiivsed osakesed, mille mõõtmed on üks mikron või alla selle, sadestuvad pikema aja jooksul. Nende sadestumisaega mõõdetakse kuude ja aastatega. Nii-sugust sadestust nimetatakse globaalseks sadestuseks. Kontinentaalse ja globaalse sadestumise puhul ei täheldata nii tugevat saastumist kui varasel sadestumisel.

Oletatakse, et maapealse plahvatusel laguproduktidest langeb 50...70% varasele ja 30...50% hilisele (kontinentaalsele ning globaalsele) sadestusele.

Mitte eriti sügavate maa-aluste plahvatuste puhul on varasele sadestusele langev radioaktiivsus mõnevõrra suurem kui maapeasel plahvatusel, vee kohal toimunud plahvatuste puhul on see aga veidi väiksem, langedes mõnikord kuni 30%. Varase sadestumise tulemusena tekib radioaktiivse pilve jälg — paikkonna saastunud riba. Jälje mõõtmed (pikkus ja laius) sõltuvad tuumaplahvatusel võimsusest ja keskmise tuule kiirusest¹.

Kuid ka varasel sadestumisel ei jõua kõik osakesed üheaegselt maapinnale. Suuremad osakesed langevad kiiremini ja jõuavad maapinnale varem kui väikesed osakesed. Osakesed, mille mõõtmed ületavad 200 mikronit, langevad 24 000 m kõrguselt maapinnale 1,4 tunni jooksul. 37,5 mikroni suurustel osakestel kulub samalt kõrguselt langemiseks 24 tundi. Mõninga ettekujutuse radioaktiivsete osakeste sadestumise ajast erinevatelt kõrgustelt ja nende summaarsest aktiivsusest annab joonis 2.13.

¹ Keskmine tuul on tuul atmosfäärikihis alates maapinnast kuni stabiliseerunud radioaktiivse pilve ülemise ääreni; tuule toime sadestuvatele osakestele on võrdne kõikide selles kihis puhuvate tuulte summaarse toimega. Keskmise tuule arvutamiseks liidetakse erineval kõrgusel puhuvate tuulte vektorid, võttes seejuures arvesse ka maapinnal puhuvat tuult.



Joon. 2.13. Sadestumisaja sõltuvus osakeste mõõtmetest ja nende esialgne aktiivsus (protsentides).

On kerge mõista, et erineva suurusega radioaktiivsete osakeste olemasolu pilves mõjutab oluliselt radioaktiivse saastumise iseloomu. Suuremad osakesed sadestuvad plahvatuspiirkonna läheduses. Väiksemaid osakesi, mis viibivad õhus kauem, kannab tuul horisontaalsuunas edasi ja need sadestuvad maapinnale plahvatuskohast kaugemal, saastates tohtu suure maa-ala.

Tuumaplahvatuse võimsuse kasvuga suureneb radioaktiivse saastumise ulatus. Tuule kiiruse kasvamisel muutub jälg pikemaks, järelikult suureneb radioaktiivsete ainete saastatud maa-ala.

Kui tuule kiirus on väike, siis on radioaktiivsete ainete sadestumise piirkond tuule suunas vähem välja venitatud. Niisugusel juhul langeb saastumise intensiivsus plahvatuskohast kaugemal asuvas piirkonnas ja suureneb allatuult plahvatuskoha vahetus läheduses. Kui tuule kiirus on suur, siis suureneb üldine saastatud pind ja kiirguse maksimaalse intensiivsusega piirkond võib asuda allatuult mõningal kaugusel plahvatuskeskmest. Ülejäänud maa-alal on radiatsioonitase mõnevõrra madalam kui nõrga keskmise tuule puhul, sest sama hulk radioaktiivseid aineid jaotub suuremale pindalale.

Jälje kuju sõltub suurel määral keskmise tuule suunast ja maastiku reljeefist. Kui eeldada, et keskmise tuule suund ajas ja ruumis ei muutu ning maastik on lame (ideaalsed tingimused radioaktiivsete ainete sadestumiseks), siis on saastatud maa-ala ellipsi- või sigari-kujuline.

Reaalsetes tingimustes avaldavad tuule suuna muutumine ja maastiku reljeef jälje kujule olulist mõju. Ent pilve jälje tekkimise selgitamiseks on otstarbekohane jälgida, kuidas paikkond saastub, kui maastik on tasane ja tuule suund ning kiirus ei muutu enne, kui pilve jälg on lõplikult moodustunud.

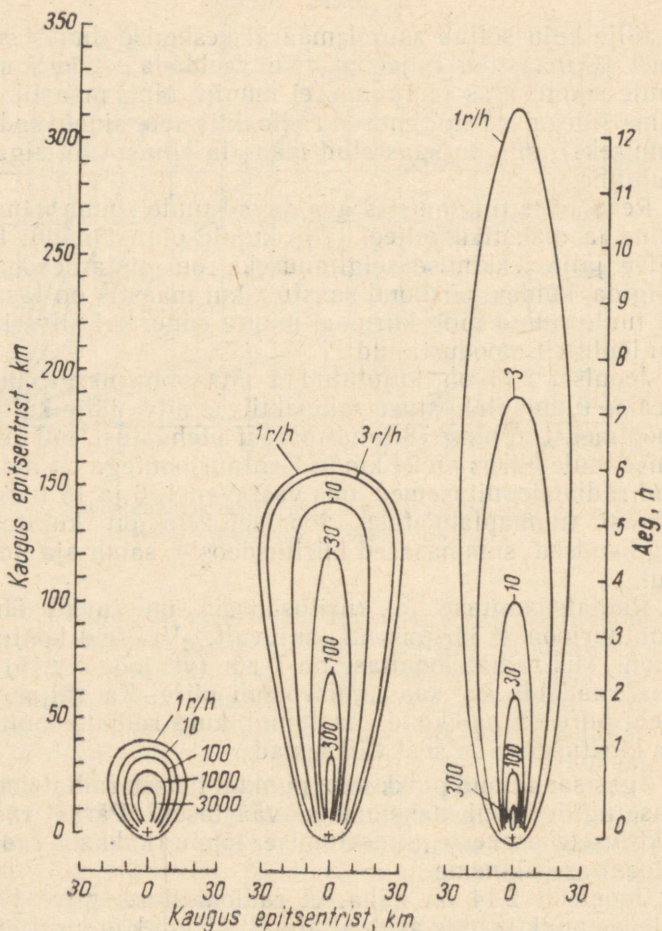
Joonisel 2.14 on kujutatud 1 Mt võimsusega maa-pealse tuumaplahvatuse radioaktiivse pilve jälje kuju ja mõõtmed 1, 6 ning 18 tundi pärast plahvatust, kui keskmise tuule kiirus on 24 km/h. Kontuurjoontega on näidatud radiatsioonitasemed, mis vastavad 1, 6 ja 18 tunnile pärast tuumaplahvatust. Joonisel 2.15 on kujutatud ligikaudsed summaarsed kiiritusdoosid sama aja jooksul.

Radiatsioonitase ja kiiritusdoosid muutuvad ühest kontuurjoonest järgmiseni sujuvalt. Väliseid kontuurjooni, kus radiatsioonitase on 1 r/h (vt. joonis 2.15), ei saa vaadelda kui saastumisvööndi piire. Ka väljaspool neid piire on paikkond saastunud, kuid radiatsioonitase ja kiiritusdoos on seal väiksemad.

Igas saastunud paikkonna punktis tõuseb radiatsioonitase nullist kuni maksimaalse väärtuseni. Pärast radioaktiivsete osakeste sadestumise lõppu hakkab radiatsioonitase alanema.

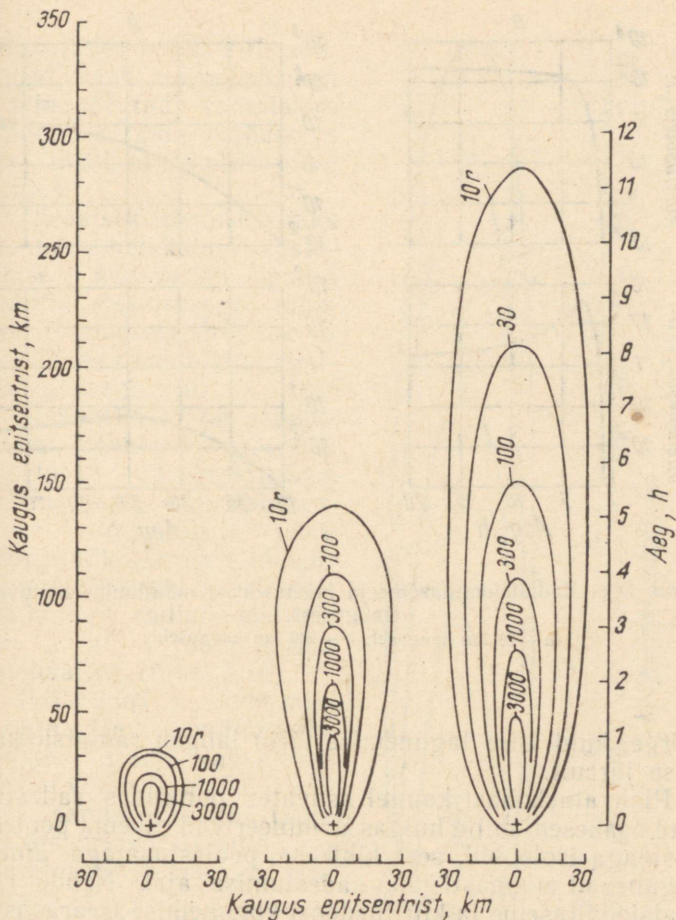
Jooniselt 2.14 on näha, et radioaktiivse pilve jäljel olevas punktis, mis asub allatuult, 35 km kaugusel plahvatuskeskmest, on radiatsioonitase 1 tund pärast plahvatust 10 r/h. Vastavalt radioaktiivsete ainete sadestumisele radiatsioonitase tõuseb ja 2 tundi pärast plahvatust ulatub see juba 1000 röntgenini tunni kohta. Pärast seda hakkab tase alanema, sest radioaktiivsete osakeste sadestumine on lõppenud. Kuus tundi pärast plahvatust on radiatsioonitase selles punktis 270 r/h ja 16 tundi hiljem 83 r/h.

Radiatsioonitaseme ajalisel muutumisel ja summaarse kiiritusdoosi kasvul punktides, mis asuvad erineval kaugusel plahvatuskeskmest, on mõningane erinevus. Punk-



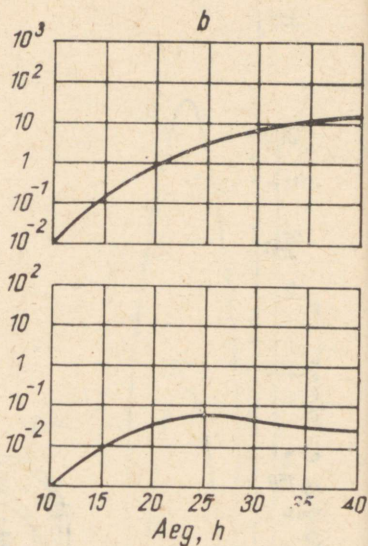
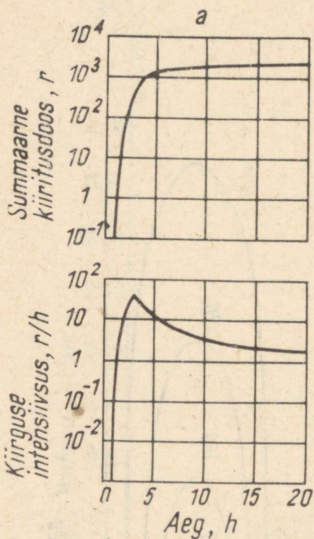
Joon. 2.14. Ühemegatonnise võimsusega plahvatuse radioaktiivse pilve jälje tekkimine (keskmise tuule kiirus on 24 km/h).

tides, mis asuvad plahvatuskeskme vahetus läheduses, samuti mõne kilomeetri kaugusel sellest, tõuseb radiatsioonitase tavaliselt järsult kuni maksimaalse väärtuseni, millele järgneb märgatav langus (joonis 2.16, a). Peamine osa kiiritusdoosist saadakse niisugusel juhul ajavahemikus, mis vastab radiatsioonitase tõusule.



Joon. 2.15. Summaarsed kiiritusdoosid 1-megatonnise võimsusega tuumaplahvatuse radioaktiivse pilve jäljes (keskmise tuule kiirus 24 km/h).

Punktides, mis asuvad plahvatuskeskmest mõnesaja kilomeetri kaugusel, tõusevad radiatsioonitase ja kiiritusdoos sujuvamalt (joonis 2.16, b). Erinevus seletub sellega, et plahvatuspiirkonna lähedal sadestuvad osakesed, mille koosseisus on palju lühikese poolestusajaga radioaktiivseid isotoope. Nende osakeste aktiivsus on



Joon. 2.16. Radiatsioonitaseme ja kiiritusdoosi muutumine sõltuvalt kaugusest:

a — 56 km kaugusel; *b* — 240 km kaugusel.

kõrge, kuid kiire lagunemise tõttu langeb radiatsioonitase järsult.

Plahvatuskohast kaugel asuvates punktides sadestuvad osakesed, mille hulgas domineerivad pikema poolestusajaga isotoobid, sest lühikese poolestusajaga ained lagunevad enamasti juba sadestumise ajal. Nende radiatsioonitaseme ja kiiritusdoosi kogunemise iseärasuste arvestamisel on suur tähtsus kaitseabinõude rakendamisel radioaktiivse saastumise vööndites.

Kirjeldada täpselt paikkonna radioaktiivse saastumise iseloomu ükskõik missugusel hetkel pärast plahvatust, nagu see on toodud joonistel 2.14 ja 2.15, on väga raske, sest kõigis saastunud piirkonna punktides muutub radiatsioonitase pidevalt. Seepärast kasutatakse radiatsioonitaseme ja kiiritusdoosi määramiseks radioaktiivse pilve jälje suvalises punktis igal ajahetkel teatud kindla võimsusega tuumaplahvatuse poolt põhjustatud saastumise ideaalset skeemi seisuga 1 tund pärast plahvatust.

Kasutades tabeli 2.12 andmeid, saab väga kergesti välja arvutada radiatsiooni taseme igaks ajahetkeks ja suvalises punktis pilve jäljes.

Ideaalseks lähteskeemiks võetakse paikkonna saastumise kontuurid teatud kindla võimsusega maa pealse tuumaplahvatuse ja keskmise tuule teatud kindla kiiruse korral.

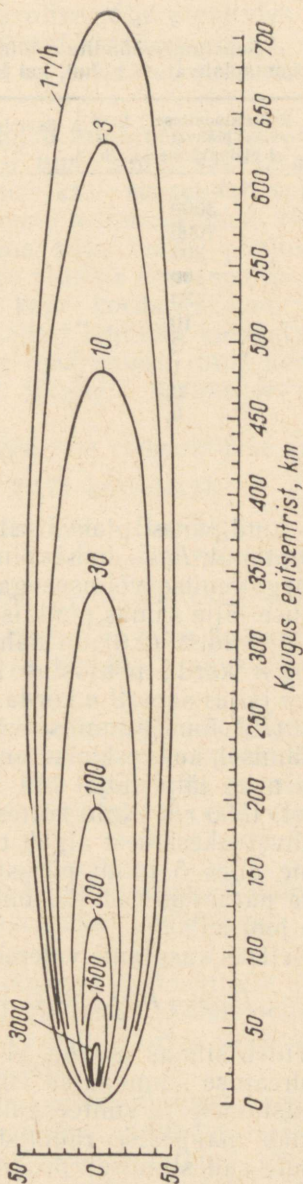
Joonisel 2.17 on saastumise ideaalseks skeemiks võetud 1-megatonnise võimsusega tuumaplahvatuse radioaktiivse pilve jälg, kui keskmise tuule kiirus on 24 km/h. Saastumisvööndite radiatsioonitase on antud 1 tund pärast plahvatust (tabel 2.14).

Paikkonna saastumiskontuuride arvutamiseks teiste tuumaplahvatuste puhul võimsusega 0,1 ... 10 Mt, samuti siis, kui tuule kiirus erineb 24 km/h, kasutatakse sarnasuse seadust.

Vastavalt sellele seadusele sõltub doosi võimsus pilve jälje suvalises punktis võrdeliselt tuumalaengu võimsusest.

$$P_1 = P_0 \frac{q_1}{q_0}, \quad (2.6)$$

kus P_1 on doosi võimsus (röntgenites tunni kohta)



Joon. 2.17. Paikkonna radioaktiivse saastumise etalonintensiivsuse kontuurid.

Saastumisvööndite mõõtmed 1-megatonnise maapealse tuumaplahvatuse puhul, kui keskmise tuule kiirus on 24 km/h

Radiatsioonitase 1 tund pärast plahvatust (doosi etalonvõimsus), r/h	Kaugus epitsentrist, allatuult, km	Kontuuri maksimaalne laius, km
3000	37	9,6
1000	67,6	16,1
300	119	19,3
100	192	29,0
30	338	48,3
10	480	67,6
3	628	80,5
1	708	90,1
0,3	805	96,6
0,1	853	98,2

üks tund pärast plahvatust pommi korral, mille võimsus on q_1 tonni; P_0 — doosi võimsus (röntgenites tunni kohta) 1-megatonnise võimsusega (q_0) maapealse tuumaplahvatuse jälje samas punktis.

Võrrandist (2.6) on näha, et tuumalaengu suuremine n korda põhjustab kiiritusdoosi võimsuse kasvu pilve jäljes samuti n korda. Näiteks on doosi etalonvõimsus (P_0) 5-megatonnise võimsusega tuumalaengu plahvatamisel, kui keskmise tuule kiirus on 24 km/h, punktis, mis asub jälje teljel 119 km kaugusel plahvatuskeskmest, 1500 r/h. Kuid võttes arvesse, et 119 km kaugusel plahvatuskeskmest algab radioaktiivsete ainete sadestumine alles 5 tundi pärast plahvatust ($119:24$), tuleb teha parandus radiatsioonitaseme alanemise arvel selle aja jooksul.

Selleks kasutame valemit (2.5, a):

$$P_{t=5} = P_0(t_1)^{-2,1} = 1500 \cdot (5)^{-1,2} = 220 \text{ r/h.}$$

Tuleb silmas pidada, et sarnasuse seadus ei arvesta plahvatuse summaarse võimsuse mõju, s. o. tuumade lõhustumise ja sünteesimise energiatega suhet. Seepärast annab maapealse radiatsiooniolukorra (radioaktiivsete ainete sadestumise) prognoosimine sarnasuse seaduse alusel sama tulemuse nii 1-Mt tuumaplahvatuse kui ka 2-Mt termotuumaplahvatuse kohta. Praktiliselt on doosi

võimsus teisel juhul mõnedes pilve jälje punktides natuke väiksem, kuid jälje mõõtmed veidi suuremad, sest sama hulk radioaktiivset ainet on hajutatud suurema radioaktiivse pilve ulatuses.

Saastumise iseloomule avaldab tunduvat mõju keskmise tuule kiirus. Kui keskmise tuule suund sadestumise ajal ei muutu, siis tuule kiiruse kasv suurendab vastavalt ka antud suurusega osakeste levimiskaugust. Keskmise tuule kiiruse suurenemine kaks korda põhjustab jälje pikkuse ja kogu saastuva pindala suurenemise niisama palju kordi. Ligikaudu kaks korda väheneb aga paikkonna saastumise aste. Sellest lähtudes kasutatakse saastumisvööndite kontuuride määramisel tuule korral, mille kiirus erineb 24 km/h, järgmisi sarnasuse seadusi:

— kiiritusdoosi võimsuse väärtust radioaktiivse saastumise etalonskeemil (joonis 2.17) korrutatakse $\frac{24}{v}$, kus v on keskmise tuule reaalne kiirus (km/h);

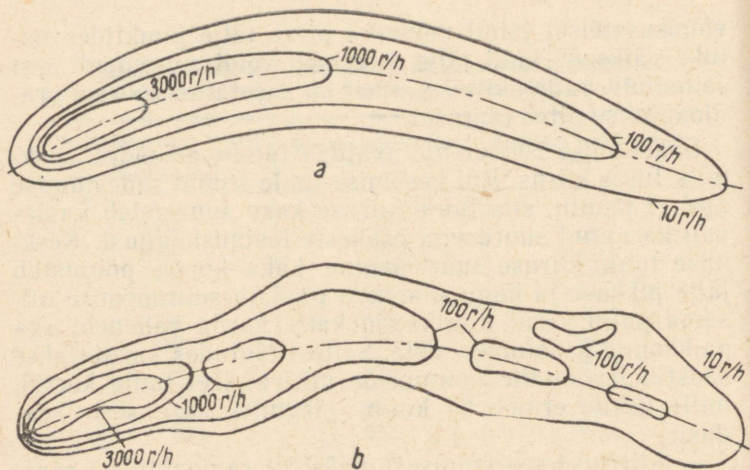
— graafikult (joonis 2.17) saadud plahvatuskeskme kaugus (allatuult) korrutatakse $\frac{v}{24}$. Näiteks kui keskmise tuule kiirus on 48...50 km/h, siis tuleb doosi võimsuse väärtus jagada kahega ja kaugus plahvatuskeskmest korrutada kahega.

Radioaktiivse pilve jälje kontuuride joonistamisel võib kiiritusdoosi võimsuse väärtuse ka samaks jätta. Niisugusel juhul on küllalt, kui korrutada graafikult (joonis 2.17) võetud kaugusi teguriga K , mis võrdub $\frac{v}{24}$.

Sarnasuse seaduste praktilist kasutamist radiatsiooniolukorra prognoosimisel vaadeldakse konkreetsete näidete varal veidi hiljem.

Tuleb pidada silmas, et paikkonna radioaktiivse saastumise ideaalset skeemi kasutatakse radiatsiooniolukorra prognoosimisel peamiselt radioaktiivse saastumise tõenäoliste piirkondade määramisel.

Reaalne radiatsiooniolukord võib oluliselt erineda prognoositavast, eriti tuumaplahvatussaaduste jaotumise osas jäljes. Joonisel 2.18, α on kujutatud oletatavad kiirguse intensiivsuse etalonkontuurid maapealse termotuumaplahvatuse puhul.



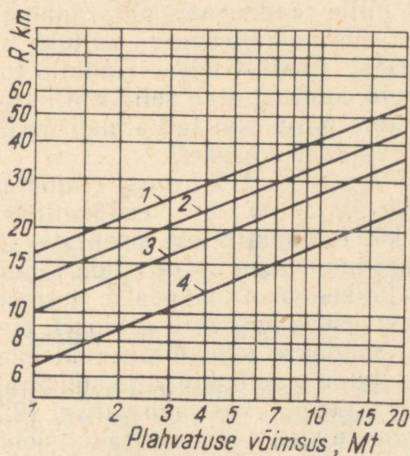
Joon. 2.18. Radioaktiivse pilve jälje prognoositud (a) ja tegelik kuju (b).

Joonisel 2.18, *b* on toodud võimalik reaalne pilt radioaktiivsete ainete sadestumisest sõltuvalt kohalikest meteoroloogilistest tingimustest ja maastiku reljeefist. Paikkonna summaarne saastumine on mõlemal juhul sama, kuid radioaktiivsete ainete jaotus erinev. Seepärast tehakse olukorra õigeks hindamiseks alati radiatsiooniluuret.

Vastutuult asuva maa-ala radioaktiivne saastumine maapealsetel tuumaplahvatustel

Mitmetel juhtudel on võimalik, et maa-alad, mis asuvad plahvatuskeskmest pealtuule küljes, saastuvad üsnagi suures ulatuses. Näiteks suure, ligikaudu 15-megatonnise tuumalaengu plahvatusel, mis toimus 1. märtsil 1954. a. Bikini atollis juures, registreeriti vastutuult 32 kilomeetri kaugusel plahvatuskeskmest asuva paikkonna tugevat saastumist.

Vastutuult asuva maa-ala saastumise iseloom ja saastunud võõndite raadius sõltuvad kolmest tegurist: stabiliseerunud radioaktiivse pilve maksimaalsetest mõõt-



Joon. 2.19. Pilve ja saastunud vööndi mõõtmete sõltuvus plahvatuse võimsusest:

1 — pilve raadius; 2 — saastumisvööndi raadius, kus radiatsioonitase on 1 r/h; 3 — sama, radiatsioonitasemega 10 r/h; 4 — sama, radiatsioonitasemega 100 r/h.

metest, radioaktiivsete osakeste pilvest sadestumise minimaalsest ajast ja keskmise tuule kiirusest.

Suurte radioaktiivsete osakeste sadestumiskiirus on ligikaudu 30 km/h. Vertikaalse langemise ajal kanduvad radioaktiivsed osakesed keskmise tuule suunas edasi ka horisontaalselt.

Horisontaalse kõrvalekaldumise suurus sõltub radioaktiivse pilve kõrgusest (sadestumise ajast) ja keskmise tuule kiirusest. Seda seost saab väljendada valemiga

$$l = \frac{h}{u} v, \quad (2.7)$$

kus l on radioaktiivsete osakeste horisontaalne kõrvalekalle, km; h — radioaktiivse pilve aluse kõrgus, km; u — osakeste sadestumise kiirus, km/h (keskmiselt 30 km/h); v — keskmise tuule kiirus, km/h.

Kui eeldada, et plahvatuskohas keskmise tuule kiirus $v = 0$, siis oleks radioaktiivselt saastatud vööndi kon-

tuur ringjoon, mille raadius võrduks radioaktiivse pilve raadiusega ja selle vööndi suurus sõltuks ainult plahvatuse võimsusest. Tõenäoliselt ei mõjuta tuul oluliselt vööndi mõõtmeid, kuid nihutab selle kontuure tuule suunas edasi niisama palju, kui ta kannab horisontaalsuunas edasi radioaktiivseid osakesi.

Joonisel 2.19 on toodud kiirguse etalonintensiivsuse kontuurid (1 r/h, 10 ja 100 r/h). Need kontuurid on arvutatud juhuks, kui radioaktiivsete osakeste sadestumine toimub täielikus tuulevaikuses. Ringide raadiused kujutavad enesest funktsioone maapealse termotuumaplahvatuse summaarsest võimsusest, eeldusel, et 50% plahvatusenergiast saadakse lõhustumisreaktsioonist.

Kui keskmise tuule tegelik kiirus ja suund ning tuumalaengu võimsus on teada, siis saab valemi (2.7) ja graafiku (2.19) andmete alusel hinnata radiatsiooniolukorda, mis tekib maapealsel tuumaplahvatusel plahvatuskeskme suhtes pealtuule küljes. Arvutusnäiteid vaadeldakse IV peatükis.

III. TUUMAPLAHVATUSE PURUSTAV JA KAHJUSTAV TOIME

1. Lööklaine toime hoonetesse ja ehitistesse

Tuumaplahvatuse lööklaine toime iseloomu mingisse objektisse või ehitisse määrab koormus, mille põhjustab lööklaine, s. o. rakendatav jõud ja objekti või ehitise reaktsiooni sellele.

Objekti või ehitise reaktsioon väljendub tema konstruktsiooni deformeerumises. Tunduv jääkdeformatsioon põhjustab objekti täieliku või osalise purunemise. Mõned objektid võivad lööklaine toimele, eriti kiirusrõhule, ka teisiti reageerida — nad nihkuvad paigast (näiteks transpordivahendid). Põrgates vastu teisi objekte või maapinda, saavad need objektid viga või purunevad.

Peale niisuguse otsese toime võib lööklaine põhjustada objekti kahjustumist ka kaudsel teel (klaasikildudest, õhku paisatud puit- ja kivikonstruktsioonidest jne.).

Objekti üksikute osade lööklainest tingitud koormus sõltub sellest, kuidas need osad paiknevad lööklaine levimise suuna suhtes.

Kui pind on lööklaine levimise suunaga paralleelne, siis sellelt pinnalt laine ei peegeldu ja talle ei mõju kiirusrõhk. Järelikult sõltub koormus siin ainult ülerõhust lööklaine frondis.

Kui objekti pind on laine levimise suunaga risti, siis mõjub talle tunduvalt suurem koormus kui ainult ülerõhk lööklaine frondis. Koormuse tekkimise põhjuseks on keerulised nähtused, mis on seotud lööklaine peegeldumise ja pidurdumisega. Enamikul juhtudel mõjuvad lööklaine levimise vööndis asuvatele objektidele mitmesugused koormused, kuid sõltuvalt konkreetsetest tingimustest võib üks neist olla otsustava tähtsusega.

Näiteks õhus toimunud tuumaplahvatuse epitsentris ja selle läheduses mõjub kõigile objektidele vertikaalne koormus, mis on tunduvalt suurem horisontaalsest. Ka maapealsetel plahvatustel tekib kõige suurem koormus pealaine toime vööndis plahvatuskeskme poole pööratud objekti pindadel.

Õhus leviva lööklaine front, jõudnud ehitise seinani, peegeldub sellelt. Nagu maapinnaltki peegeldumisel, ületab rõhk peegeldumispinnale kaks ja enam korda ülerõhu lööklaine frondis. Peegeldumisrõhu väärtuse saab määrata, lähtudes ülerõhust langeva laine frondis ja nurgast, mis moodustub langeva laine liikumissuuna ja ehitise seinaga vahel (vt. peatükk II, p. 2). Samal ajal hakkab lööklaine ehitisest mööduma ja ehitist otsekui «sukeldub» lööklainesse. «Sukeldumisel» hakkab objekti külgpindadele ja katusele mõjuma lööklaine rõhk.

Ehitise külgpindadele mõjuv maksimaalne koormus võrdub ülerõhuga mööduva lööklaine frondis. Lööklaine möödumisel langeb rõhk plahvatuskeskme pool asuvale ehitise seinale järsult, kuid temale mõjuvad veel lööklaine ülerõhk ja kiirusrõhk. Plahvatuskeskme pool asuvale seinale ja vastasseinale mõjuv rõhkude vahe tekitab horisontaalrõhu, mis püüab kogu ehitist nihutada lööklaine liikumise suunas. Seda jõudu nimetatakse voolukoormuseks. Kui kogu ehitist «sukeldub» täielikult lööklainesse, siis on rõhkude vahe esi- ja tagaseinale tühine ning ehitisele mõjuva horisontaalkoormuse määrab peaaegu täielikult esiseinale mõjuv kiirusrõhk.

Kui ehitise välisküljel ei ole avasid, siis pärast seda, kui laine front on objektist möödunud, hakkab viimasele mõjuma igast küljest koormus, mis püüab objekti kokku suruda. See koormus tekib välis- ja siserõhkude vahe tulemusena. Kui ehitise seintes on palju avasid või hoone väliskate on paljudes kohtades nõrk ja puruneb kergesti, siis tungib lööklaine hoonesse. Seejuures väheneb välis- ja siserõhkude vahe tunduvalt. Tulemusena väheneb märgatavalt voolurõhk ega teki jõudu, mis püüaks hoonet igast suunast kokku suruda.

Ülerõhu võrdsete väärtuste korral sõltub lööklaine purustav ja kahjustav toime suurel määral koormuse mõjumise kestusest. Nii näiteks mõjub voolukoormus seni, kuni lööklaine jõuab läbida vahemaa ehitise plahvatuskeskmepoolsest seinast vastasseinani, või täpse-

malt, kuni lööklaine front ühineb uuesti seina taga. Järelikult sõltub voolukoormuse toime ehitise suuruselt. Väikese ristlõike pindalaga ehitistele nagu korstnad see koormus peaaegu ei mõju, sest nad «sukelduvad» kiiresti lainesse. Kiirusrõhk põhjustab plahvatuskeskmepoolse pinna koormuse praktiliselt kogu survefaasi vältel.

Pikk kokkusurumisfaas ongi tuumaplahvatuse lööklaine iseloomulikuks jooneks, eriti kui seda võrrelda tavalise fugasspommi lööklainega, mille mõju kestab vaid mõni sajandik sekundit. Seepärast tekitab tuumaplahvatuse lööklaine tugevamaid purustusi ja kahjustusi, kui seda võiks eeldada ainult tema ülerõhu maksimaalväärtuse põhjal.

Tuumaplahvatuse lööklainest põhjustatud purustusi hinnatakse tavaliselt nende raskusastme järgi. Enamiku objektide ja ehitiste juures eristatakse tavaliselt kolme purustatuse astet — tugevad, keskmised ja nõrgad purustused. Elamute ja tööstushoonete purustusi jaotatakse mõnikord viide liiki: täielikud, tugevad, keskmised, nõrgad purustused ja vigastused. Objekti tugevaid purustusi iseloomustab tema põhielementide tugev deformeerumine või purunemine, mille tagajärjel objekt viiakse rivist välja ja seda ei ole võimalik taastada. Keskmiste purustuste puhul purunevad nõrgemad osad täielikult, põhikonstruktsioonid purunevad või deformeeruvad osaliselt ja objekt viiakse pikaks ajaks rivist välja. Objekti on võimalik taastada, kuid selleks on tarvis palju raha ja aega. Nõrkade purustuste puhul ei lange objekt rivist välja, vaid teda saab ekspluateerida kas kohe või pärast väikest remonti.

Elamute ja tööstushoonete purustatuse astet hinnatakse järgmiste kriteeriumide alusel.

Täielikud purustused. Täieliku purunemise puhul varieuvad kokku kõik maapealsed kandekonstruktsioonid: seinad, vahelaed ja karkass. Maa all asuvad korrused ja ruumid võivad hoone täieliku purunemise korral säilida.

Tugevad purustused. Kõrgemal asuvad seinad ja vahelaed purunevad. Karkasshoonete sõrestik deformeerub tugevasti, selle üksikud elemendid ja täidis võivad puruneda.

Keskmised purustused. Kandeseintes tekib palju pragusid. Osa seintest ja katusest puruneb. Sisemised vahe-

seinad, aknad ja uksed purunevad täielikult. Karkasshoonetel võivad deformeeruda või puruneda ka üksikud sõrestiku osad.

Nõrgad purustused. Peamised kandekonstruksioonid säilivad. Sisemised vaheseinad, aknaraamid ja uksed purunevad, samuti puruneb osaliselt katus. Hoones viibimine on ohutu, kuid hoonet saab ekspuaterida alles pärast remonti.

Vigastused. Välised, kõige nõrgemad teisejärgulised elemendid purunevad. Tihti puudub katus. Aknaklaasid purunevad, üksikud uksed, aknad ja õhuaknad on hingedelt ära kistud. Kerged vaheseinad võivad puruneda. Hoonet saab vajaduse korral kohe kasutada.

Iga teatud tüüpi hoone või ehitis puruneb tavaliselt lööklaine ülerõhu teatud kindla väärtuse puhul. Hoonete purunemist põhjustava lööklaine ülerõhu ligikaudne väärtus, samuti hoonekonstruktsioonide purustuste iseloom on toodud tabelis 3.1. Antud rõhu väärtused märgivad sellist langeva lööklaine ülerõhku, mis purustab

Tabel 3.1

Lööklaine ülerõhk, mis põhjustab hoonete konstruktsioonide purunemise

Konstruktsioonelemendid	Purustuste iseloom	Ülerõhk langevas lööklaines, kG/cm ²
Suured ja väikesed aknad	Purunevad klaasid, mõnikord ka aknaraamid	0,03 ... 0,07
Katus, vaheseinad	Varisevad kokku või surutakse sisse	0,1 ... 0,18
Monteeritavate hoonete puitpaneelvooderdis	Purunevad peamised ühendused, mõnikord on kogu paneel välja kistud	0,07 ... 0,14
Asbestvineerist, laineplekist või alumiiniumist vooderdis	Purunevad täielikult või painduvad-purunevad liitekohad	0,07 ... 0,14
24 ... 36,5 cm paksused tugevdamata betoon- või šlakkbetoonseinad	Purunevad täielikult	0,14 ... 0,21
24 ... 36,5 cm paksused (tugevdamata) tellisseinad	Purunevad paindedeformatsiooni tagajärjel	0,49 ... 0,56
Elamute lintvundamendid (hoone maa-alused osad)	Tugevad purustused	3,0 ... 4,0

epitsentripoolsed elemendid. Elemendid, mis paiknevad nii, et nendele ei mõju peegeldusrõhk, saavad samasuguseid vigastusi lööklaine kaks korda suurema ülerõhu puhul. Järelikult saab enamik elamuid ja tööstushooneid vigastusi niisugusel kaugusel tuumaplahvatuse keskmest, kus lööklaine ülerõhk on suurem kui $0,3 \text{ kG/cm}^2$.

Nõrgad purustused võivad esineda kõikidel objektidel (välja arvatud sillad ja ehitised, mis on lööklaine toime suhtes vastupidavad) kaugusel, kus ülerõhk on suurem kui $0,07 \text{ kG/cm}^2$.

Ülerõhu väärtused, mis põhjustavad ehitiste keskmisi ja tugevaid purustusi, on toodud tabelis 3.2. Sealsamas on antud ülerõhu suurus, mis tekitab keskmisi ning tugevaid purustusi sildade ja sideliinide juures.

Ühe kandekaarega sildade purunemise astet iseloomustab järgmine konstruktsioonide seisukord.

Tugevad purustused. Ristühendused purunevad. Sild variseb kokku.

Keskmised purustused. Ristühendused purunevad osaliselt. Silla kandejõud väheneb ligikaudu 50% võrra.

Nõrgad purustused. Mõned konstruktsioonelemendid on veidi deformeerunud: silla kandejõud ei vähene.

Sildade nõrgad purustused võivad esineda kaugusel, kus kiirusrõhk on $0,04 \text{ kG/cm}^2$ (see vastab lööklaine ülerõhule $0,35 \text{ kG/cm}^2$).

Elektri-, telefoni- ja telegraafiliinide, samuti raadio- ja televisiooniantennide vigastused esinevad peamiselt postide (mastide) ümberpaiskumise ja juhtmete purunemise näol. Liinid, mis paiknevad plahvatuskeskme suhtes radiaalselt, purunevad vähem kui need, mis asuvad lööklaine levimise suunaga risti. Ülerõhk $0,35 \text{ kG/cm}^2$ tekitab lahtistes alajaamades vaid nõrku purustusi. Postidelt võivad olla maha kistud jaotustransformaatorid.

Maa-alused gaasi-, veevärgi- ja kanalisatsioonivõrgud peavad tuumaplahvatusele hästi vastu. Nende purunemine on võimalik ainult maapealse plahvatuse puhul vahetult tuumaplahvatuskeskme läheduses, kus lööklaine ülerõhk on $6 \dots 15 \text{ kG/cm}^2$. Torujuhtmestiku purustuste ulatus ja iseloom sõltuvad torude läbimõõdust ja sellest, kui sügaval maa all nad asuvad.

Kommunaalvõrkude rikked tekivad peamiselt hoonete purunemise tulemusena, mille tagajärjel puruneb jaotus-

Ülerõhk, mis põhjustab hoonete, sildade ja sideliinide tugevaid ning keskmisi purustusi

O b j e k t	Ülerõhk, mis põhjustab purustusi, kG/cm ²	
	tugevaid	keskmisi
Puitsõrestikuga hooned		
Kandvate seintega mitmekorruselised telliselamud	0,25 0,35	0,17 0,25
Massiivsed mitmekorruselised kandvate seintega hooned		
Raudbetoonsõrestikuga mitmekorruselised administratiivhooned	0,65	0,45
Metallsõrestikuga mitmekorruselised administratiivhooned	1,0	0,7
Kerge metallsõrestikuga tööstushooned	1,4	0,9
Massiivsed metallsõrestikuga tööstushooned, mille monteerimiseks kasutatakse 20...50-tonnise tõstejõuga kraanasid	0,7	0,45
Massiivsed metallsõrestikuga tööstushooned, mille monteerimiseks kasutatakse 60...100-tonnise tõstejõuga kraanasid	0,9 1,0	0,55 0,7
Maantee sillad, mille kandekaare ava on 45...75 meetrit (kui lööklaine levimise suund on silla pikiteljega risti)	2,0	1,2
Raudteesillad, mille kandekaare ava on 45...75 meetrit	1,0	0,7
Raudtee- ja maantee sillad, mille kandekaare ava on 76...125 m	1,0	0,7
Telefoniliinid, mis paiknevad piki lööklaine levimissuunda	0,5	0,35
Telefoniliinid, mis on lööklaine mõjumise suunaga risti	0,35	0,25

võrk. Eriti käib see veevärgi kohta, sest isegi siis, kui pumbajaamad jäävad terveks, langeb jaotusvõrgu purunemise tõttu veesurve magistraalitorudes, mis viib kogu süsteemi rivist välja.

Hoonete purunemisel tekivad rusud, mis takistavad transpordivahendite liikumist tänavatel, ei võimalda pääseda säilinud ehitiste juurde ja raskendavad päästetöid. Rusude iseloom sõltub hoonete konstruktsiooni iseärasustest, hoonesiustihedusest ja hoonete kõrgusest, lööklaine ülerõhu suuruselt ja hoone orientatsioonist plahvatuskeskme suhtes.

Hoonete ja ehitiste täieliku purunemise korral tekib hoone mahu iga 1000 m³ kohta ligikaudu 350 m³, mõnikord kuni 500 m³ rususid (arvestamata seda, et osa materjalist põleb ära).

Rusud kujutavad endast kaootiliselt segipaisatud purunenud seinte, vaheseinte, lagede, sanitaartechniliste ja teiste seadmete tükke. Tellis-, suurpaneel- või puit-hoonete täielikul purunemisel tekkivate rusude koostis on toodud tabelis 3.3.

Tabel 3.3

Rusude üksikosade maht nende üldmahust (protsentides)

Rusude koostis	Tellis-hooned	Suur-paneel-hooned	Puit-hooned
Purunenud tellismüritise tükid, purunenud tellised	45	—	13
Raudbetoon- ja betoonkonstruktsioonide tükid	10	70	—
Metallkonstruktsioonid	3	2	2
Puitkonstruktsioonid	30	23	77
Ehituspraht	12	5	8

Rusude laialipaiskumise kaugus sõltub kõigepealt ülerõhu suuruselt, materjali liigist ja konstruktsioonielementide tugevusest. Üksiku hoone täielikul purunemisel (ülerõhk kuni 0,5 kG/cm²) tekkivate rusude mõõtmed on toodud tabelis 3.4.

Tabel 3.4

Hoone täielikul purunemisel tekkivate rusude mõõtmed (ülerõhk kuni 0,5 kG/cm²)

Korruste arv	Hoone keskmine kõrgus	Rusude kõrgus, m		Rusude põhimassi laialipaiskumise kaugus, m
		kõrgeimas punktis	hoone seinajuures	
2	9	3,3	1,5	4,5
3	13	4,0	2,2	6,5
4	17	4,4	2,7	8,5
5	21	4,8	3,1	10,0
6	25	5,0	3,5	12,5

Nagu tabelist 3.4 näeme, on ülerõhul $0,5 \text{ kG/cm}^2$ rusude keskmine kõrgus hoone välispiiri juures $\frac{1}{6} \dots \frac{1}{7}$ hoone kõrgusest ja nende laialipaiskumise kaugus ei ületa poolt hoone kõrgusest. Kui hoonele mõjuv ülerõhk on suurem, siis võivad rusud lennata laiali kaugusele, mis võrdub või on suurem hoone poolest kõrgusest. Nii-sugusel juhul väheneb vastavalt rusude kõrgus. Kui ülerõhu suurus on 1 kG/cm^2 ja üle selle, siis võivad rusud lennata kümnete ja isegi sadade meetrite kaugusele; see viib lausrusude tekkimisele tänavatel ja hoonestatud linnajagudes.

Koos hoonete purunemisega saavad viga ka transpordivahendid ja teised masinad. Lööklaine otsese toime poolt tekitatud vigastuste iseloomustus on toodud tabelis 3.5.

Linnas lähevad autod, autobussid, trollibussid ja trammivagunid peale lööklaine otsesest toimest tingitud kahjustuste rivist välja veel tulekahjude ja laialipaiskuvate rusude mõjul. Masinad, mis seisavad küljega lööklaine suunas, paisatakse tavaliselt kummuli ja nad saavad rohkem viga kui need masinad, mis on ninaga tuumaplahvatuse poole. Ent isegi tugevate vigastuste puhul saavad autode mootorid vähe viga ja autod, millele on mõjunud ülerõhk $0,35 \text{ kG/cm}^2$, on võimelised liikuma omal jõul.

Raudtee liikuv koosseis saab vigastada eelkõige lööklaine frondi järel liikuva õhuvoolu kiirusrõhu tõttu, seejärel ei saa nende vigastusi tervikuna panna lööklaine arvele.

Tuumakatsetuste ajal Nevada osariigis kiskus ülerõhk $0,42 \text{ kG/cm}^2$ tühja puitvaguni ratastelt maha ja paiskas selle 2 m eemale. Rattad jooksid samuti rööbastelt välja, tõenäoliselt sellepärast, et nad olid vaguniga piduritrosside abil ühendatud. Sama tüüpi vagun, milles oli 30 tonni kaupa, jäi samades tingimustes rööbastele. Kuigi vaguni katus ja seinad said raskesti vigastada, võis vagun rööbastel liikuda.

Lennukeid on teistest transpordivahendeist kergem vigastada. Koormus, mille põhjustab ülerõhk $0,07 \dots 0,14 \text{ kG/cm}^2$, on küllaldane selleks, et lennuki kere kattepinna lähaksid mõlki, kõverduksid kandepindade toetus ja kere ribad. Koormus, mille tekitab kiirusrõhk, püüab maa-

Transpordivahendite vigastuste iseloomustus

Transpordivahendi liik	Vigastusaste	Vigastuste iseloomustus
Sõidu- ja veoautod	Tugev	Auto eemalepaiskumine, raami üldine deformeerumine, välisosade tunduv paigaltnihkumine, ukсед ja mootorikate on maha kistud.
	Keskmine	Auto kummuli- ja eemalepaiskumine, suured mõlgid; raam on deformeerunud; kasutada saab pärast kapitaalremonti.
	Nõrk	Aknad on purunenud, kere mõlkis; võimalik ka auto kummulipaiskumine; saab kasutada ilma remondita.
Raudtee veerev koosseis (vagunid, platvormid, tsiisternid)	Tugev	Rööbastelt väljapaiskumine ja kogu kere tunduv deformeerumine; kasutada saab ainult üksikuid osi (käru, rattaid).
	Keskmine	Uksed on purunenud, kere vigastatud, raam kõver; töökotta saab toimetada ainult eritranspordil.
	Nõrk	Uste ja kere tühised vigastused, saab kasutada ilma remondita.
Diisel- ja auruvedurid	Tugev	Vedur on kummuli paiskunud, mõned osad on küljest ära kistud, praod ja deformeerumine.
	Keskmine	Võimalik on kummulipaiskumine, mõnede osade vigastus; pärast rööbastele tõstmist saab viia töökotta; kasutada saab pärast kapitaalremonti.
	Nõrk	Aknad on purunenud; mõnede detailide tühised vigastused; saab kasutada ilma remondita.
Lennukid maapinnal	Tugev	Konstruksioonide ja kere, stabilisaatorite ning mootorikatte kattepinde tugev deformeerumine või osaline purunemine; taastada on võimalik ainult tehases.
	Keskmine	Kere, kandepindade ja stabilisaatorite kattepinde deformeerumine; ekspuaterida saab pärast väliremonti.
	Nõrk	Teisejärguliste elementide vigastus või deformeerumine, mille puhul on lennukit võimalik piiratud ulatuses kasutada.

Tabel 3.5 järg

Transpordivahendi liik	Vigastusaste	Vigastuste iseloomustus
Laevad	Tugev	Laev on põhja vajunud või on saanud niivõrd kannatada, et taastamiseks on vaja ta täielikult ümber ehitada.
	Keskmine	Laev ei saa omal jõul liikuda; mootorid, katlad ja sisustus on vigastatud.
	Nõrk	Mehhaaniliste, elektron- ja elektriseadmete vigastused; laeva saab kasutada.
Ehitusmasinad (kranid, kraanid, greiderid, traktorid, jne.)	Tugev	Raam on tugevasti deformeerunud, lehtterasest osad on muljutud, roomikud ja rattad tugevasti vigastatud.
	Keskmine	Raami mitteoluline deformeerumine, masin on kummuli paisatud, rattad ja roomikud vigastatud.
	Nõrk	Kabiin ja katteplekid on saanud veidi viga, aknad on purunenud.

pinnal võivad lennukid pöörata, nihutada, kummuli paisata või tühjendada. Tulemusena võivad lennukid saada viga, kui nad põrkavad kokku teiste lennukitega või vastu ehitisi (maad). Peale selle vigastavad lennukid kergesti õhku paiskunud rusud. Lennukid, mis on ninaga plahvatuskeskme poole, saavad vähem viga kui need, mis asuvad sinnapoole külje või sabaga. Standardne lennukite kinnitus, mida kasutatakse tugeva tuule puhul, vähendab samuti kahjustuste astet.

Õhus toimunud või veepealsete tuumaplahvatuste puhul saavad laevad vigastada peamiselt õhus leviva lööklaine tagajärjel. Seepärast kannatab kõige rohkem laeva veepealne osa. Bikini atolli piirkonnas toimunud katsetuste andmetel said iga tüüpi laevad üsna tühiseid vigastusi lööklaine ülerõhul $0,28 \text{ kG/cm}^2$. Purunevad peamiselt laeva tekiehitised, samuti on kiirusrõhu suhtes väga tundlikud mastid, taglas ja raadiolokaatorite antennid. Võib arvestada, et nende suhtes on lööklaine toime samasugune, nagu analoogiliste maapealsete objektide suhtes.

Niisugusel kaugusel plahvatuskeskmest, kus laev põhja ei vaju, jäävad mootorid tavaliselt terveks, välja arvatud katlad ja ventilatsioonitorud, mis nendesse tungiva lööklaine mõjul saavad kergesti viga. Vigastuste tulemusena võib laev kaotada liikumisvõime. Katlad saavad tõsiseid vigastusi, kui ülerõhk on $0,77 \text{ kG/cm}^2$, keskmise astme vigastusi ülerõhul $0,56 \text{ kG/cm}^2$ ja nõrku vigastusi, kui ülerõhk on $0,36 \text{ kG/cm}^2$. Transpordivahendite keskmisi ja tugevaid vigastusi põhjustava ülerõhu ligikaudne suurus on toodud tabelis 3.6.

Tabel 3.6

Ülerõhk, mis põhjustab transpordivahendite tugevaid ja keskmisi purustusi

Objekt	Ülerõhk, kG/cm^2	
	tugevad purustused	nõrgad purustused
Veoautod	1,0	0,45
Vagunid, tsisternid, platvormid, mis on küljega plahvatuse poole	0,75	0,45
Vagunid, tsisternid, platvormid, mis asuvad otsaga plahvatuse poole	1,7	1,4
Vedurid, mis seisavad küljega plahvatuse poole	2,5	0,9
Vedurid, mis on pikiteljega plahvatuse poole	8,0	3,0
Transpordilennukid maapinnal	0,21	0,14
Kerged lennukid maapinnal	0,14	0,07
Helikopterid maapinnal	0,21	0,1
Kaubalaevad	1,8	1,3
Autodele monteeritud ehitismehhanismid	1,0	0,45
Tee-ehitusmasinad	2,5	1,4

Tuleb silmas pidada, et vigastusi tekitava ülerõhu suurus on antud lahtiselt maastikul paiknevate transpordivahendite suhtes, seejuures ei ole arvesse võetud teiste kahjustavate tegurite otsest ega kaudset toimet.

Üldiselt tähendab keskmine purustus iga liiki transpordivahendite juures selle rivist väljalangemist ja seda, et taastamiseks on vajalik kapitaalremont. Tugevate purustuste puhul taastamise võimalust tavaliselt pole, s. o. praktiliselt tähendab see antud tüüpi masinate hävimist.

Hoonete maa-alused osad, samuti üksikud maa-alused ehitised on palju vastupidavamad tuumaplahvatuse kah-

justavatele mõjudele kui maapealsed ehitised. Seepärast võivad keldrid säilida ka hoonete täielikul purunemisel.

Keldrite säilimisel on otsustav tähtsus lagede tugevusel ja nende võimel vastu pidada koormusele, mis tekib hoonekonstruktsioonide varisemisel tuumaplahvatuse lööklaine toimel. Spetsiaalsed kaitseehitised, mis tavaliselt ehitatakse maa-alustena, peavad vastu veel kõrgemale lööklaine rõhule. Mitmekorruseliste hoonete keldritesse ehitatud varjendid purunevad siis, kui lööklaine rõhk maapinnale on 1,7... 3,0 kG/cm².

2. Valguskiirguse toime esemetesse ja ainetesse

Kui valguskiirgus langeb mingisugusele esemele, siis osa kiiri peegeldub ja ülejäänud neelduvad aines või läbivad seda. Üks osa neeldunud kiirgusest põhjustab valgustatud pinna soojenemise. Soojenemise tugevusest sõltub materjali kahjustumise iseloom ja aste.

Erinevad esemed ja ained, sõltuvalt pinna iseloomust ja värvusest, neelavad erineva hulga neile langevast valguskiirgusest.

Neelduva kiirguse hulka iseloomustab neeldumiskoeffitsient K_1 , s. o.

$$K_1 = \frac{U_1}{U}, \quad (3.1)$$

kus U_1 on neelduva valgusenergia hulk; U — pinnale langeva valgusenergia hulk.

Järgnevalt on ära toodud mõnede ainete ja esemete valgusenergia neeldumiskoeffitsiendi K_1 keskmised väärtused:

punased või pruunid katusekivid	0,70;
khakivärvi riie	0,60;
valge riie	0,25;
valge paber	0,20;
must kalev	0,99.

Valguse neeldumiskoeffitsient on valgete esemete puhul 0,18 ja mustadel 0,96. Läbipaistmatute ainete pu-

hul saab neeldumiskoefitsienti määrata peegeldumiskoefitsiendi K_2 põhjal.

Peegeldumiskoefitsient on peegeldunud ja esemele langenud valgusenergiate suhe;

$$K_2 = \frac{U_2}{U}, \quad (3.2)$$

kus U_2 on peegeldunud valgusenergia hulk.

Läbipaistmatute ainete neeldumis- ja peegeldumiskoefitsientide summa võrdub ühega:

$$K_1 + K_2 = 1. \quad (3.3)$$

Mida enam neelab pind valgusenergiat, seda rohkem ta soojeneb ja seda suurem on neeldumiskoefitsient.

Valgusenergia hulka, mis neeldub eseme pinna ühes ruutsentimeetris, nimetatakse soojusimpulsiks. Soojus- ja valgusimpulsid on seotud järgmiselt:

$$U_s = UK_1 \cdot \cos \alpha, \quad (3.4)$$

kus U_s on soojusimpulss (cal/cm^2); U on valgusimpulss (cal/cm^2); K_1 on neeldumiskoefitsient; α on langemisnurk, mille moodustavad valguse levimissuund ja langemispunktist tõmmatud ristjoon valgustatavale pinnale.

Nendes ainetes, mis paistavad läbi või mis peegeldavad valguskiiri hästi, kiired peaaegu ei neeldu ja need ained ei saa kannatada.

Mustad või tumedad pinnad neelavad rohkem neile langevat kiirgust kui heledad ja sellepärast on valguskiirguse toime neile tunduvalt suurem. Kui aga hele pind valguskiirguse toimel algul kiiresti tumeneb, siis neeldub ka hilisema kiirguse mõju all selles esemes tunduvalt rohkem valgust (nagu tumedates esemeteski). Kui kiirguse toimel tekib eseme pinnal palju suitsu, siis see suits nõrgendab kiirguse üldist toimet. Tugeva kuumenemise puhul võib eseme pind sulada, põlevad ained võivad kiirguse toimel aga söestuda või süttida.

Õhuke ainekiht süttib varem kui samast ainest paks kiht. Kuivasse ainesse on valguskiirguse toime tugevam kui niiskesse.

Valguskiirguse kahjustav toime sõltub valgusimpulsi suuruselt ja kiirguse kestusest, need aga omakorda sõltuvad vahetult tuumaplahvatuse võimsusest.

Kiirguse kestva toime puhul tungib soojus valgustatud pinnalt aine sügavusse ja pinna kuumutamiseks sama temperatuurini nagu lühikese valgustamise puhul kulub rohkem energiat.

Kiirguse toime kestus pikeneb, kui plahvatuse võimsus kasvab. Seepärast tekivad võimsamate plahvatuste puhul ühesugused kahjustused suuremate valgusimpulside toimel. Ja vastupidi, valgusimpulsid, mis on suuruselt võrdsed, põhjustavad seda suuremaid kahjustusi, mida väiksem on plahvatuse võimsus (tabel 3.7).

Tabel 3.7

Valgusimpulsi suurus, mis võib põhjustada esemete (ainete) süttimise

Esemed (ained)	Valgusimpulss (cal/cm ²), kui plahvatuse võimsus on		
	20 kt	1 Mt	10 Mt
Roheline puuvillane purjeriie	5	6	9
Must viskooskiust sarž	1	1,4	2
Puuvillane pesuriie	15	20	30
Autoistmete hele (roheline, pruun) puuvillane polster	9	12	16
Sinine puuvillane eririietus	8	10	13
Tihe puuvillane polstrimaterjal (pruun)	16	20	30
Ajalehepaberi tükid	2	3	4
Kortsutatud ajalehepaber	4	6	8
Pruuni pakkimispaberi lehed	7	10	14
Männilaastud	5	8	12
Kuiv rohi	5	7	10
Langenud okkad	8	13	18
Langenud puulehed	6	8	12

3. Tuumaplahvatusel tekkivad tulekahjud

Tuumaplahvatusel puhkevad tulekahjud kahel põhjusel. Esimeseks põhjuseks on valguskiirguse vahetu süütetoime. Hoonete ja ehitiste katmata konstruktsioonides kasutatavad põlevad materjalid, ruumide viimistlemiseks või sisustamiseks kasutatavad ained, samuti

mitmesugused elukondlikud esemed võivad valguskiirguse toimel süttida ja põhjustada tulekahju. Tulekahjude teiseks põhjuseks on lööklaine toimel purunenud ahjud, mitmesugused soojendusseadmed, elektrivõrkude ja gaasiseadmete purunemine jne.

Sõltumata süttimise põhjusest oleneb tulekahju edasine kulg ja levik põleva materjali hulgast ja paiknemisest. Tuumaplahvatusel sõltub tulekahjude ulatus ja iseloom peale valgusimpulsi suuruse veel hoonestuse iseloomust ja seisukorrast.

Kui hoonete läheduses on palju kergesti süttivat materjali, nagu paberit, prahti, laaste, kuiva rohtu ja puulehti, suurendab see tulekahjude tekkimise ja levimise ohtu. Tulekahjude iseloom sõltub samuti süttimiskollete tihedusest, s. o. nende arvust pinnaühiku kohta. Mõninga ettekujutuse süttimiskollete võimalikust tihedusest ideaalsete meteoroloogiliste tingimuste puhul annab tabel 3.8.

Tabel 3.8

Tulekahjukollete võimalik tihedus linna erinevates rajoonides

Rajooni iseloomustus	Tulekahjude arv ühel hektaril
Halvas seisukorras olevate puithoonetega elamurajoon	65
Halvasti heakorrastatud elamurajoon	30
Väiketööstuste rajoon	12
Administratiivhoonete ja kaupluste rajoon	7
Suurte tööstusettevõtete rajoon	5

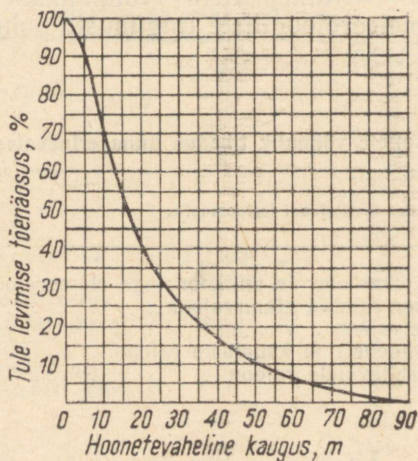
Kuid rajooni iseloomustusest ja võimalike süttimiskollete arvust on veel vähe tulekahjude ulatuse hindamiseks linnas, kus toimus tuumaplahvatus. Piirkonnas, kus esemed ja ained süttivad valguskiirguse toimel, tekkivad tingimused massiliste tulekahjude puhkemiseks. Kui hoonestustihedus¹ ei ületa 20%, siis ei liitu tulekolded üheks tulekahjuks.

Kõrge hoonestustiheduse puhul liituvad massiliselt tekkinud tulekolded üheks laustulekahjuks. See toimub

¹ Hoonestustihedus on hoonetealuse pindala suhe kogu kvartali pindalasse.

seda kiiremini, mida suurem on süttimiskollete tihedus. Laustulekahju tekkimist ja levimist soodustab tuul. Tugev tuul kannab edasi sädemeid, üksikuid kergeid põlevaid tukke ja gaasi, mille temperatuur on 800 . . . 1000°C. Tulemusena tekivad tulerinde ees tingimused teiste hoonete süttimiseks ja kogu laustulekahju rinne liigub päri tuult edasi.

Tulekahjude levimist takistavad ehitiste vahele jäetud hoonestamata alad (kujad). Magistraalteid ja veekogusid, mille laius on üle 100 meetri, loetakse küllaldateks, et ära hoida tulekahjude rinde levikut. Üldiselt võib tulekahjude levimise tõenäosust sõltuvalt hoonete vahelisest kaugusest väljendada graafiku (joonis 3.1) abil.



Joon. 3.1. Tule levimise tõenäosuse sõltuvus hoonetevahelisest kaugusest.

Tuulevaikse ilmaga võib massiliste tulekahjude piirkonnas puhkeda laustulekahju eriliik — tuletorm. Tuletormi puhkemise soodsateks tingimusteks on: hoonestustihedus üle 30%, enam kui 100 kg põlevat materjali hoonete horisontaalprojektsiooni iga ruutmeetri kohta ja massiline üheaegsete tulekahjude puhkemine maalal, mille pindala on üle 2 km².

Tuletormi puhkemise põhjuseks on järgmised asjaolud. Põleva piirkonna keskosas tekib tugev vertikaalne õhuvoolus. Selle tagajärjeks on tuul, mis puhub igast suunast tulekahjude piirkonna poole. Tuule kiirus võib ulatuda 50...65 km/h ja ta võib puhuda 2...3 tunni jooksul pärast plahvatust, kui tuletorm jõuab kulminatsioonini. Umbes kuue tunni möödumisel pärast plahvatust tuul vaibub ja tuletormi intensiivsus langeb. Selle aja jooksul hävitab tuli kõik tuletormi piirkonnas olnud põlevad materjalid. Tugevad õhuvoolused, mis on suunatud tulekahju keskosas, piiravad tuletormi korral, erinevalt laustulekahjust, tulekahju vööndi ligikaudu selle piirkonnaga, kus kohe pärast plahvatust tekkis massiliselt tulekahjusid.

Plahvatusest kaugel, kus süttivad ainult kergesti süttivad materjalid, võivad tekkida üksikud tulekahjud ka sekundaarsetel põhjustel. Ent kui tulega ei võidelda, võivad üksikud tulekahjukolded kõrge hoonestustiheduse puhul 2...3 tunni pärast massilisteks muutuda.

Tuumaplahvatuse valguskiirgus võib põhjustada laialdasi metsatulekahjusid; nende tekkimise põhjuseks on peamiselt kuivade puulehtede, rohu ja pehkinud puude süttimine. Metsatulekahjude levik sõltub paljudest tingimustest: puude niiskusest, maapinna reljeefist ja aastaajast. Lehtpuumets süttib ja põleb suvel tavaliselt vähem intensiivselt kui okaspuumets. Sügisel, kui on palju langenud lehti ja kuiva rohtu, nõrgendavad puude võrad vähem valguskiirgust ja seepärast võivad tekkida maapinda mööda levivad tulekahjud. Talvel vähendab lumi tunduvalt metsatulekahjude puhkemise tõenäosust.

4. Tuumaplahvatuse toime inimestesse

Tuumaplahvatus võib kahjustada inimesi või olla nende hukkamise põhjuseks. Kahjustused võivad olla otsesed või kaudsed. Lööklainest tingitud otsese kahjustuse põhjuseks võib olla kõrge ülerõhk või kiirusrõhk lööklaine survefaasi ajal. Kaudsete kahjustuste põhjustajateks võivad olla õhku paisatud hoonete või ehitiste rusud või muud esemed. Samuti võib inimene saada viga, kui lööklaine paiskab ta maha või vastu mõnda eset.

Ühetugevuse lööklaine puhul on tuumaplahvatuse kahjustav toime suurem kui tavalisel lahingumoonal, sest inimorganismisse avaldatava toime seisukohalt on suur tähtsus survefaasi kestusel. Tuumaplahvatuse puhul on see suhteliselt pikk. Samuti tekivad kaudsed vigastused tuumaplahvatusel (õhku paisatud esemetest) väiksema ülerõhu toimel kui tavalise plahvatuse korral.

Tuumaplahvatuse valguskiirgus, mis teatud tingimustel võib mõjuda epitsentrist kaugemal kui lööklaine, tekitab põletusi. Massilised tulekahjud, mõnikord ka tuletormid, võivad olla massiliste põletuste põhjuseks.

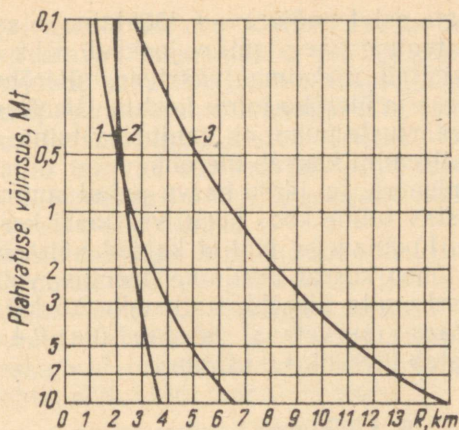
Põhimõtteliselt uueks kahjustuste liigiks tuumaplahvatusel on kiirituskahjustused, mis tekivad läbiva radiatsiooni toimel või inimeste kiiritamise tulemusena tuumaplahvatussaadustega radioaktiivselt saastunud piirkonnas.

Tuumaplahvatuse kõigi kahjustavate tegurite üheaegne otsene või kaudne toime kutsub esile kahjustuskolde viibivate inimeste kombineeritud vigastused. Erinevat liiki kahjustuste vahekord ei ole aga püsiv: olenevalt konkreetsetest tingimustest, plahvatuse liigist ja võimsusest võib see olla väga erinev. Plahvatuse võimsuse suurenemisega kasvab purustuste pindala ja kõigi teiste tingimuste võrdsuse puhul saab vigastada suurem hulk inimesi. Kuid erinevate kahjustavate tegurite läbi kannatada saanud inimeste arv muutub.

Väikese võimsusega tuumaplahvatuse puhul on läbiva radiatsiooni toime tunduvalt suurem kui lööklaine või valguskiirguse mõju. Plahvatuse võimsuse kasvuga peaks radiatsiooni osatähtsus vähenema, lööklaine poolt põhjustatud traumade, eriti põletuste arv aga suurenema.

Kahjustavate tegurite toimeraadiuste vahekorra muutumine sõltuvalt tuumaplahvatuse võimsusest on toodud joonisel 3.2. Sama võimsusega plahvatuse puhul sõltub erinevatest kahjustavatest teguritest kannatada saanud inimeste arv samuti plahvatuse liigist (õhus toimunud, maapealne või maa-alune plahvatus), s. o. plahvatuskeskme asendist maapinna suhtes.

Kõigi muude tingimuste võrdsuse puhul on olemas «optimaalne» kõrgus, mille korral pindala, kus lööklaine, valguskiirgus või läbiv radiatsioon põhjustavad kahjustusi, osutub maksimaalseks.



Joon. 3.2. Surmavate kahjustuste raadiused erineva võimsusega maapealsete plahvatuste puhul:

1 — lööklainest; 2 — läbivast radiatsioonist;
3 — valguskiirgusest.

5. Lööklaine otsene toime

Lööklaine haarab inimese keha peaaegu momentaanselt ja surub seda igast küljest kokku, kusjuures surve intensiivsus väheneb järk-järgult. Samal ajal tekitab kiirusrõhk tunduva surve sellele keha poolele, mis on pööratud epitsentri poole, ja inimene võib eemale paiskuda.

Rõhk ning sellele järgnev hõrendus vigastavad kudesid kohtades, kus need asuvad õhku sisaldavate elundite läheduses, samuti pehmete kudede ning kõõluste ja luude liitekohtades.

Lööklaine otsese toime tõttu tekivad peamiselt kuulmekile purunemine, verevalumid, rindkeres või kõhuõõnes asuvate elundite rebendid. Eriti tundlikud on kopsud. Tõsiste vigastuste puhul satub õhk kopsu veenidesse ja nende kaudu südamesse ning arteritesse. Surm võib järgneda mõne minuti pärast emboli tõttu mingis südame või aju veresoones või lämbumisest kopsude turse või kopsuverevalumi tagajärjel.

Kahjustuste astet mõjutavad lööklaine otsese toime puhul kolm tegurit: aeg, mille jooksul rõhk lööklaine frondis saavutab maksimaalväärtuse, ülerõhu maksimaalne suurus ja ülerõhu toime kestus. Ülerõhu võrdsete maksimaalväärtuste puhul on kahjustav toime seda suurem, mida kiiremini kasvab ülerõhk.

Rõhu momentaanse, järsu kasvu puhul suureneb lööklaine kahjustav toime koos positiivse faasi kestuse suurenemisega. Loomadega tehtud katsed näitasid, et ülerõhu järsu tõusu korral lööklaine frondis võib hukkumise põhjuseks olla ülerõhk ligikaudu $2,5 \text{ kG/cm}^2$, kui positiivne faas (survefaas) kestab üle 0,4 sekundi. Kopse vigastab ülerõhk $1,0 \text{ kG/cm}^2$.

6. Lööklaine kaudne toime

Inimene võib saada viga õhku paisatud esemetest või siis, kui lööklaine paiskab tema eemale (nn. kaudsed kahjustused).

Kahjustuste raskus, mille tekitavad lööklainest purustatud hoonete õhku paiskunud rusud, sõltub reast tingimustest: õhku paisatud esemete mõõtmetest, kujust, massist, langemisnurgast ja eseme lõppkiirusest löögi hetkel. Vigastuse raskus sõltub samuti löögi kohast ja seda iseloomustab tagajärg: lihtne põrutus, rebimishaav, kudede sügavam vigastus, luumurd või tähtsamate siseelundite ohtlik vigastus.

Inimese keha eemalepaiskumise tagajärjed sõltuvad põhiliselt kiireneva või aeglustuva liikumise ajast ja eemalepaiskumise kaugusest. Vigastused on tõenäolisemad aeglustumise ajal, kui inimene paiskub vastu kõva eset (seina või maad). Niisugusel juhul sõltub vigastuste raskus kiirusest, millega keha liikus enne pörkamist, ja sellest, kas saavad viga pea, selg, jäsemed ja rindkeres või kõhuõõnes asuvad elundid.

Peamisteks teguriteks, mis mõjutavad erinevate kehade liikumiskiirust lööklaine toimel, on ülerõhu ja kiirusrõhu suurused, nende toime kestus, kehade mass ja mõõtmed. Kerged esemed saavutavad lööklaine ülerõhu antud väärtuse korral üsna ruttu maksimaalse kiiruse. Tavaliselt kulub selleks ainult väike osa lööklaine energiast ja seepärast ei sõltu maksimaalne kiirus ei ülerõhu ega kiirusrõhu kestusest.

Suurte ja raskete esemete kiirus kasvab aeglasemalt ja need saavutavad maksimaalse kiiruse alles siis, kui neile on mõjunud juba suurem osa lööklainest. Niisugusel juhul mõjutavad eseme lennukiirust lööklaine ülerõhu suurus ja survefaasi kestus. Kiirust, mille puhul õhku paisatud teravad esemed tekitavad rebimishaavu, ei ole täpselt kindlaks tehtud. Igasugune lümfisõlmi vigastav haav võib olla ohtlik.

10-grammise massiga klaasikildude kriitiliseks kiiruseks, mille puhul tekivad niisugused haavad, on ligikaudu 30 m/s. Väiksema massiga kildude kriitiline kiirus on suurem. Tabelis 3.9 on toodud andmed mitmesuguse massiga klaasikildude kõhuõõnde tungimise tõenäosuse kohta, sõltuvalt kildude kiirusest.

Tabel 3.9

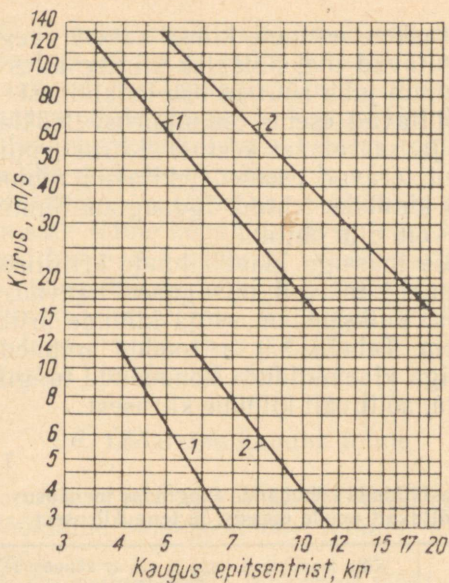
Klaasikildude kõhuõõnde tungimise tõenäosus, sõltuvalt nende massist ja lennukiirusest

Klaasikillu kaal, g	Killu lennukiirus (m/s) ja vastav kõhuõõnde tungimise tõenäosus, %		
	1	50	99
0,1	72	125	222
0,5	49	84	148
1,0	43	75	131
10,0	35	55	108

Peaaegu midagi ei teata õhku paisatud esemete lennukiiruse ja massi omavahelisest suhtest, kui esemest ei jää haava. Kild, mille mass on 4,5 kg (standardse telliskivi mass), võib kiirusel 3,5...4 m/s purustada kolba. Kui niisuguse killu kiirus löögi hetkel on alla 3 m/s, siis on vigastused vähetõenäolised.

Kui kiirus ligineb 6 m/s, siis on surmavate vigastuste tõenäosus tunduvalt suurem. Kui inimese keha kiirus löögihetkel ei ületa 3 m/s, siis reeglina tõsiseid vigastusi ei teki. Kiirustel üle 6 m/s kasvab surmajuhude tõenäosus löökide tagajärjel järsult.

Joonisel 3.3 on toodud 0,1...10-grammise massiga klaasikildude ja 75 kg kaaluva inimese keha kiiruste ligikaudsed väärtused 3 m pikkusel lõigul 1-Mt võimsusega tuumaplahvatuse korral.



Joon. 3.3. Klaasikildude (ülal) ja inimese keha lennukiirus (all), sõltuvalt kaugusest 1-megatonnise võimsusega plahvatuse epitsentrist:

1 — maapealse plahvatuse puhul; 2 — õhus toimunud plahvatuse korral.

Et määrata kaugust, kus plahvatuse erinevate võimsuste puhul täheldatakse võrdseid kiirusi, tuleb graafikust saadud kaugus korrutada vastava võimsuse koeffitsiendiga (tabel 3.10).

Lööklaine otsesest ja kaudselt toimest tingitud vigastusi jaotatakse tinglikult kergeteks, keskmisteks, raskeks ja surmavateks.

Kergete vigastuste korral saavad ajutiselt vigastada kõrvad, esineb üldine kerge pöörutus, jäsemete nihestused ja pehmete kudede haavad.

Keskmise raskusega vigastustega kaasneb kogu organismi tõsine pöörutus, kuuldeelundite vigastused, verejooks ninast ja kõrvadest, jäsemete tõsised nihestused, luumurrud ja jäsemete rebimishaavad.

Tabel 3.10

Koefitsiendid klaasikildude lennukiiruse ja inimese keha liikumiskiiruse arvutamiseks erineva võimsusega tuumaplahvatuste puhul

Plahvatuse võimsus, Mt	Koefitsient		Plahvatuse võimsus, Mt	Koefitsient	
	aknaklaasikildude lennukiiruse jaoks	inimese keha liikumiskiiruse jaoks		aknaklaasikildude lennukiiruse jaoks	inimese keha liikumiskiiruse jaoks
0,5	0,79	0,75	7	1,98	2,18
1	1	1	10	2,24	2,51
2	1,27	1,32	20	2,85	3,31
3	1,47	1,55	50	3,94	4,79
5	1,76	1,90			

Raskete traumade korral täheldatakse kogu organismi rasket põrutust, siseelundite vigastusi, jäsemete raskes-
kujulisi murde, pea-, rindkere- ja kõhuõõnehaavu.

Muidugi võivad vigastused sama ülerõhu korral olla erinevad, sest need sõltuvad inimese eest, füüsilisest seisundist, treenitusest ja tihti ka inimese asendist löök-
laine fronti toime hetkel.

Erineva raskusega vigastusi põhjustavate lööklaine ülerõhkude ligikaudsed väärtused on toodud tabelis 3.11.

Tabel 3.11

Väikese võimsusega tuumaplahvatuse lööklaine ülerõhku kahjustav toime

Vigastus	Lööklaine ülerõhk ¹ , kg/cm ²
Surmav (eriti raske)	üle 1,0
Raske	0,5 ... 1,0
Keskmine	0,4 ... 0,5
Kerge	0,2 ... 0,4

¹ Suure võimsusega tuumaplahvatuse korral on vigastusi põhjustav ülerõhk väiksem, sest lööklaine toime kestus on pikem.

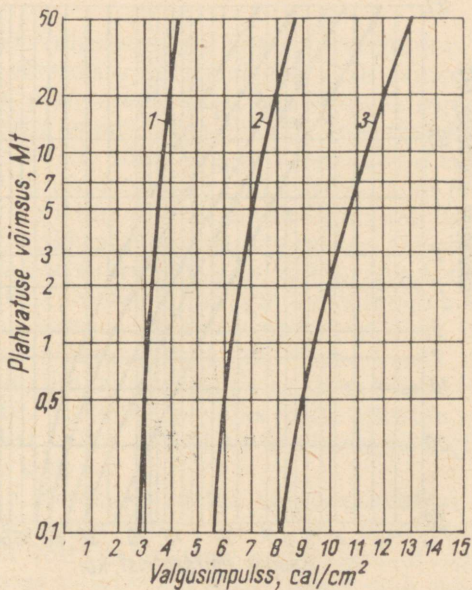
7. Valguskiirguse toime inimesesse

Valguskiirguse kahjustav toime inimesesse avaldub eelkõige pimestamises ja katmata kehapiindade põletustes. Põletused võivad tekkida kas siis, kui nahk neelab vahetult kiirgusenergiat (valguspõletused) või tulekahjude leekide toimel (põletused leekidest).

Põletuste tekkimise põhjustest sõltumata jaotatakse neid organismi kahjustamise astme järgi kolme liiki. Esimese (kerge) astme põletused avalduvad naha punetuses ilma villide tekkimiseta. Need põletused ei ole kuigi ohtlikud ja paranevad kiiresti, jätmata mingeid tagajärgi. Teise (keskmise) astme põletuste korral tekivad põletatud kohtades villid. Kui põletused hõlmavad tunduva osa nahast, kaotab inimene mõningaks ajaks töövõime. Kolmanda (raske) astme põletuste korral kahjustub nahk ja tekivad haavandid; niisugune naha kahjustus suures ulatuses võib lõppeda surmaga.

Tuumaplahvatuse tagajärgede hindamisel tuleb silmas pidada ainult teise ja kolmanda astme põletuste tekkimise võimalust. Valguspõletused tekivad peamiselt katmata kehaosadel, sest riietus neelab või peegeldab soojusenergiat ja kaitseb sel teel naha pinda. Kuid põletused on võimalikud ka riiete all oleva naha pinnal. Seda tõestavad Hirošima ja Nagasaki kogemused. Riiete all võivad põletused tekkida tugevate valgusimpulsside toimel ja peamiselt seal, kus riietus liibub tihedalt vastu keha. Nende põletuste põhjuseks pole tõenäoliselt mitte niivõrd valguskiirguse vahetu toime kui see, et nahk puutub kokku tugevasti kuumenenud riidega. Põletused võivad tekkida riide tumedamate kohtade all või tumeda riide süttimisel tekkinud leegist.

Analoogilisi põletusi võib saada tulekahjude läheduses. Selleks et määrata valguskiirguse kahjustuste võimalikku piiri, on tarvis kahte sorti andmeid. Esiteks on vaja andmeid valgusimpulsi suurusest, mis põhjustavad erineva raskusega põletusi erineva võimsusega tuumaplahvatuste korral (sõltuvalt energia levimise kiirusest). Teiseks on vajalikud andmed valgusimpulsi suurusest mitmesugustel kaugustel epitsentrist, sõltuvalt plahvatuse enese iseloomust ja atmosfääritingimustest.



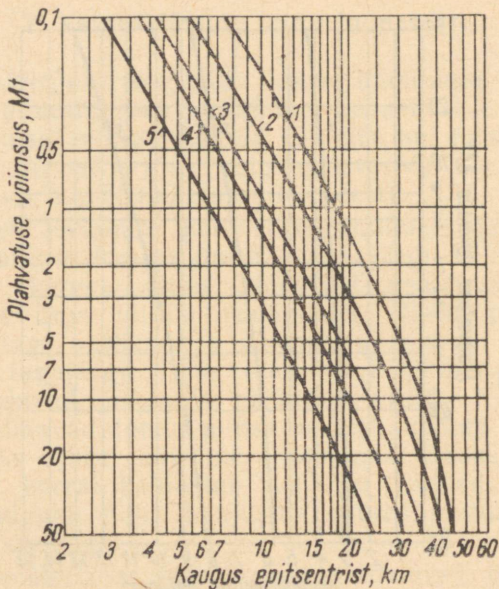
Joon. 3.4. Valgusimpulssid, mis põhjustavad erineva raskusega põletusi (sõltuvalt plahvatuse võimsusest):

1 — esimese (kerge) astme põletused; 2 — teise (keskmise) astme põletused; 3 — kolmanda (raske) astme põletused.

Atmosfääris toimunud tuumaplahvatuse valgusimpulsi väärtused, mis sõltuvad plahvatuse võimsusest ja põhjustavad erineva astmega põletusi, on toodud joonisel 3.4.

Andmed valgusimpulsi suuruse kohta, sõltuvalt plahvatuse võimsusest ja atmosfääritingimustest, võib saada II peatükis (joonis 2.11) toodud nomogrammi abil.

Kaugused, kus mitmesuguse võimsusega tuumaplahvatuse tagajärjel võivad tekkida erineva raskusega põletused selge ilma ja suurte linnade jaoks iseloomuliku tolmuse õhu korral, on toodud joonisel 3.5. Graafiku koostamisel on arvestatud antud raskusastmega põletusi tekitava valgusimpulsi muutumist plahvatuse võimsuse muutumise tõttu.



Joon. 3.5. Valguskiirgusest põhjustatud inimeste kahjustumise ja süttimiskollete iseloomu sõltuvus kaugusest epitsentrist (plahvatuse erineva võimsuse ja liigi puhul):

1 — esimese (kerge) astme põletused õhus toimunud plahvatuse puhul; 2 — teise (keskmise) astme põletused ja üksikud süttimiskolled õhus toimunud plahvatuse puhul; 3 — kolmanda (raske) astme põletused ja massilised süttimiskolled õhus toimunud plahvatuse puhul; teise astme põletused ja üksikud süttimiskolled maapealse plahvatuse puhul; 4 — laussüttimised õhus toimunud plahvatuse puhul; kolmanda astme põletused ja massilised süttimiskolled maapealse plahvatuse puhul; 5 — laussüttimised maapealse plahvatuse puhul.

Valguskiirgus kahjustab inimeste silmi. Eristatakse kahte liiki kahjustusi: taastumatud kahjustused, s. o. võrkkesta põletused, ja ajutised kahjustused, s. o. valgussähvavusest pimedaksjäämine. Taastumatud kahjustused tekivad siis, kui vahetult silma võrkkestale langeb niisugune hulk valgusenergiat, et sellest piisab kudede põletamiseks. Energiat kontsentreerib silmalääts juhul, kui plahvatuse tulekera on inimese vaateväljas.

Niisugune valgusenergia kontsentreerumine, mis on küllaldane võrkkesta põletamiseks, võib esineda ka sellisel kaugusel plahvatuskohast, kus valguskiirguse intensiivsus ei tekita enam nahapõletusi. Ameerika Ühendriikides täheldati 20-kt võimsusega katseplahvatusel võrkkesta põletusi 16 km kaugusel epitsentrist, s. o. kaugusel, kus otsene valgusimpulss oli ainult ligikaudu $0,15 \text{ cal/cm}^2$.

Silma võrkkesta kahjustuste raskus sõltub suurel määral silmaava suurusel, s. o. silma adaptatsioonist. Helleda päikesepaistelise ilmaga, kui silmaava aheneb kuni 2 mm, on kaugus plahvatuskeskmest, kus võib esineda võrkkesta põletusi, ligikaudu kaks korda väiksem kui öösel, mil silmaava läbimõõt on kuni 8 mm. Ent inimeste arv, kelle vaateväljas võiks olla tulekera, on plahvatuse hetkel väike. Järelikult ei ole ka niisuguste kahjustuste arv suur.

Ajutinenägemise kaotus valgussähvatuse ajal on sagedamini esinev kahjustuste liik, seepärast on tarvis õigel ajal võtta tarvitusele kaitseabinõud. Ajutine nägemise kaotus valgussähvatuse toimel võib esineda ka inimestel, kes asuvad küllalt kaugel epitsentrist ega vaata otse valguskera poole. Nägemise kaotuse põhjuseks on asjaolu, et võrkkestale langeb rohkem valgusenergiat, kui seda on vaja nägemiseks, ent vähem sellest energiahulgast, mis tekitab põletusi. Silma funktsioonid taastuvad mõne aja jooksul (vahemikus mõnest sekundist kuni mõne päevani).

Väikese võimsusega või kõrgel õhus toimunud tuumaplahvatuse puhul kiirgub suur hulk valgusenergiat väga lühikese aja jooksul, seepärast ei anna soovitatavat efekti ei silmade sulgemise ega silmaava ahenemise refleksi. Suure võimsusega plahvatuse korral kestab tulekera hendumine aga niivõrd kaua, et silmade sulgemisrefleksi suudab silmi mõningal määral kaitsta.

8. Tuumaplahvatustest tingitud kaotused

Ainsaks vahetu informatsiooni allikaks tuumaplahvatustest tingitud kaotuste kohta on andmed Jaapanis toimunud plahvatustest. Need ongi lähteandmeteks võimalike kaotuste hindamisel.

Inimkaotused jaotatakse kahte põhirühma — hukkunud ja sanitaarsed kaotused. Hukkunute hulka loetakse kõiki, kes said surma tuumaplahvatuse kahjustavate tegurite toime ajal, ja neid, kes surid eriti rasketel kahjustuste tagajärjel enne, kui neile abi anti.

Sanitaarseid kaotusi arvatakse kõik need inimesed, kes said kannatada, kuid kelle vigastused ei põhjustanud kohest surma, ja kes vajavad arstiabi. Sanitaarseid kaotusi jaotatakse rasketeks, keskmisteks ja kergeteks. Sanitaarsed kaotused võib jaotada ka kahjustuste liigi järgi, mis võimaldab määrata suhte arstiabi üksikute liikide vahel.

Tabel 3.12

Erinevate kahjustusliikide suhe Hirošima elanike hulgas

Kahjustuse liik	Kannatada- saanute hulk ellujäänute suhtes, %
Lööklainest põhjustatud vigastused (mehhaanilised traumad)	70
Valguskiirgusest ja lekidest põhjustatud põletused	65
Läbivast radiatsioonist põhjustatud kahjustused	30

Tabelis 3.12 on toodud uurimisandmed Jaapani linnades pärast tuumarünnakut ellujäänud inimeste kahjustuste kohta. Need näitavad, et reeglina oli tegemist kombineeritud kahjustustega.

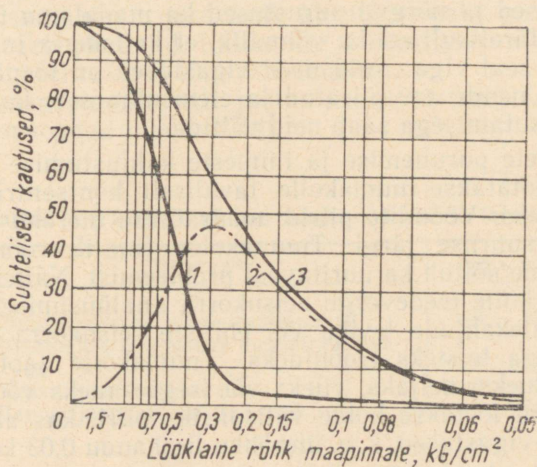
Tuleb märkida, et võimsamatel tuumaplahvatustel langeb järsult läbiva radiatsiooni tagajärjel kannatada saanud inimeste suhteline hulk. Maapealsete plahvatuste puhul võib paikkonna tugevast radioaktiivsest saastumisest tingitud kahjustuste arv aga suurenedada.

Ülerõhu suurusest olenevat võimalike kaotuste suhtelist väärtust võib hinnata Hirošima kaotuste kohta käivate andmete järgi (tabel 3.13).

Suhtelised kaotused Hirošimas lööklaine erineva ülerõhuga vööndites

Kaugus episentrist kuni välispiirini, km	Ülerõhk välispiiril, kG/cm^2	Ei saanud kannatada, %	Kaotused, %		
			kokku	hukkunud	sanitaarsed kaotused
0,48	1,33	0,8	99,2	96,5	2,7
0,97	0,77	5,7	94,3	83,0	11,3
1,45	0,42	15,5	84,5	51,6	32,9
1,93	0,28	36,9	63,1	21,9	41,2
2,57	0,18	61,1	38,9	4,9	34,0
3,06	0,13	58,9	41,1	2,7	38,4
4,00	0,08	74,8	25,2	2,5	22,7
5,00	0,07	90,7	9,3	1,1	8,2

Tabelis 3.13 on toodud kaotused protsentides elanikkonna selle osa kohta, kes plahvatushetkel asus ringikujulisel territooriumil, mille välispiiril oli teatav kindel ülerõhk (joonis 3.6).



Joon. 3.6. Aatomipommi plahvatuselt tingitud kaotused Hirošimas:

1 — hukkunud; 2 — sanitaarsed kaotused; 3 — üldised kaotused.

9. Tuumakolde üldine iseloomustus

Maa-ala, millel on mingi kahjustusvahendi kasutamise tagajärjel tekkinud purustusi, tulekahjusid või kaotusi, nimetatakse kahjustuskoldeks.

Tuumarelvahäbi puhul võib kahjustuskoldeks lugeda niihästi maa-ala, kus avaldus selliste kahjustavate tegurite toime, nagu lööklaine ja valguskiirgus, kui ka territooriumi, mis on saastatud radioaktiivsest pilvest sadestunud plahvatussaadustega.

Kuid nii mõju kestuse kui ka kahjustuste iseloomu poolest erineb paikkonna radioaktiivne saastumine oluliselt teistest plahvatuse kahjustavatest teguritest, seepärast vaadeldakse seda tavaliselt eraldi.

Maa-ala, kus lööklaine ja valguskiirguse toimel tekiavad massilised purustused, tulekahjud ja kaotused, nimetatakse tuumaplahvatuse koldeks.

Tuumaplahvatuse koldel ei ole täpseid piire, vaid need on tinglikud ja nende määramisel lähtutakse plahvatuse kahjustava toime iseloomust. Niisuguseks piiriks võib näiteks olla kaitsmata inimesele ohutu ülerõhk, s. o. piir, kus rõhk lööklaine frondis on ligikaudu $0,1 \text{ kG/cm}^2$. Muidugi võivad hoonestatud maa-alal esineda hoonete vigastused ja nõrgad purustused ka madalama ülerõhu puhul. Järelikult on ka võimalik, et kaitsmata inimesed saavad seal viga. Kuid need vigastused on tõenäoliselt kerged, nende arv piiratud ja elementaarsete kaitsevii- sude kasutamisega saab neid vältida.

Hoonete purunemise ja inimeste kahjustumise astme järgi jaotatakse tuumakolde tavaliselt kontsentrilisteks vöönditeks. Vööndite piirid määratakse ülerõhu iseloomuliku suuruse järgi. Tuumakolde tinglik vöönditeks jaotamine sõltub ka uuritavast probleemist. Näiteks jaotatakse kolde teedevõrgu seisukorra analüüsimisel ühtedeks, tulekahjude leviku või ehitiste seisukorra hindamisel aga teisteks tsoonideks. Tuumakolde jaotatakse kas kolmeks, neljaks, viieks või isegi kuueks vööndiks. Mõnikord loetakse kolde välispiiriks piiri, kus algavad hoonete vigastused, s. o. ülerõhku ligikaudu $0,03 \text{ kG/cm}^2$.

Lugedes kolde välispiiriks rõhku $0,1 \text{ kG/cm}^2$, vaatleme kolme kõige iseloomulikumat vööndit.

Väline vöönd hõlmab maa-ala, kus maapealsed tsiviil- ehitised saavad nõrku ja keskmisi purustusi, tööstushoo-

ned aga nõrku purustusi. See tähendab, et enamik peamistest kandekonstruktsioonidest säilib ja purunevad ainult teisejärgulised elemendid. Järelikult on selle vööndi sisepiiriks lööklaine ülerõhk 0,25...0,35 kG/cm². Kaitsmata inimesed saavad selles vööndis erineva raskusastmega vigastusi. See on massiliste sanitaarsete kaotuste vöönd.

Keskmine vöönd hõlmab maa-ala, kus hoonete ja ehitiste maapealne osa puruneb tugevasti või isegi täielikult. Hoonete maa-alune osa, samuti eraldiseisvad maa-alused ehitised saavad nõrku ja keskmisi purustusi. Kaitsmata elanike hulgas on massiliselt (kuni 90%) hukkunud.

Sisemist vööndit, kus lööklaine rõhk ületab 1,0...1,2 kG/cm², iseloomustab kõigi ehitiste (peale varjendite) purunemine.

Rusude iseloomu ja teede seisukorra järgi võib tuumakolde jagada samuti mitmeks vööndiks, Maa-alal, kus ülerõhk on kuni 0,17...0,25 kG/cm², on kõik tänavad liiklemiseks kõlblikud. Hoonete väheste purustuste korral võib sõiduteedel olla ainult üksikuid kergeid hoonekonstruktsiooni osi, seepärast võib seda vööndit pidada suhteliselt hõlpsa liiklemise vööndiks.

Kõrgemal rõhul, järelikult ka tõsisemate purustuste korral tekivad rusud. Liiklemise võimalikkus sõltub sel juhul suurel määral tänavate laiuusest.

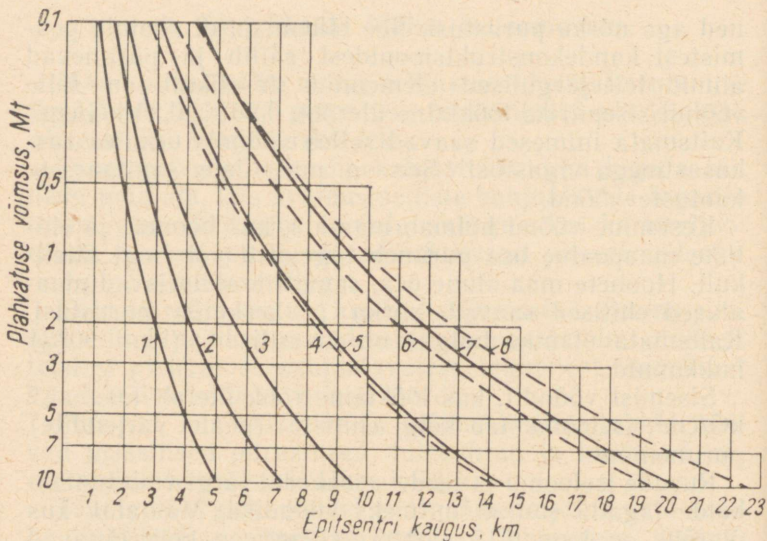
Kaasaegsete tänavate jaotus nende otstarbe ja laiuse järgi on toodud tabelis 3.14.

Tabel 3.14

Linnatänavate klassifikatsioon nende otstarbe ja laiuse järgi

Tänavaliik	Laius, m
Linna suubuvad magistraaltänavad	40...50
Ülelinnalise tähtsusega magistraaltänavad	30...50
Linnarajooni magistraal	20...30
Elamurajooni-sisesed tänavad	15...20

Hoonete kokkuvarisemise ja rusude tekkimise tõttu säilib läbisõiduvõimalus vööndis, kus lööklaine rõhk on 0,17...0,6 kG/cm², ainult magistraaltänavail. Seejuures on tänavatel laiuusega 30...40 m võimalik vaid ühesuu-



Joon. 3.7. Maapealse tuumaplahvatuskolde vööndite mõõtmed:

1 — täielik purustuste vöönd ($1,2 \text{ kG/cm}^2$ ja tulekahjude sisemine piir; 2 — transpordivahenditele lähimatu vöönd ($0,6 \text{ kG/cm}^2$); 3 — tugevate purustuste vöönd ($0,3 \text{ kG/cm}^2$); 4 — laustulekahjude ja tuletormi vöönd; 5 — transpordivahenditele raskesti läbipääsetav vöönd ($0,17 \text{ kG/cm}^2$); 6 — massiliste tulekahjude vöönd; 7 — nõrkade purustuste vöönd ($0,1 \text{ kG/cm}^2$); 8 — üksikute tulekahjude vöönd.

naline liiklemine. Kahesuunaline liiklemine on võimalik tänavatel, mis on laiemad kui 40 meetrit. Vööndis, kus ülerõhk on kõrgem kui $0,6 \text{ kG/cm}^2$, katavad tänavaid lausrusud ja liiklemine on võimalik alles pärast sõidutee puhastamist.

Tuumakolde ja selle vööndite mõõtmed sõltuvad plahvatuse võimsusest. Vööndite raadiust on võimalik leida jooniselt 3.7. Graafikul on näidatud samuti kaugus, kus võivad puhkeda mitmesugused tulekahjud suurtele linnadele iseloomuliku tolmu õhu korral.

10. Radioaktiivse kiirguse kahjustav toime

Kiirituskahjustused erinevad oluliselt kahjustustest, mida põhjustavad teised tuumaplahvatuse kahjustavad tegurid — lööklaine ja valguskiirgus. Erinevus on sel-

les, et radioaktiivse kiirguse mõjumishetkel ei saa inimene kehalisi vigastusi ega tunne valu. Järelikult ei märka inimene pikka aega ohtu, mis teda saastunud maa-alal varitseb.

Radioaktiivse kiirguse kahjulik toime on seotud eluskudede molekulide ioniseerumisega, mille tagajärjel mõningad tähtsad kudede koostisosad muutuvad või lagunevad. Peale selle on tekkinud molekuliosad organismi võõrad ja võivad paljudel juhtudel toimida rakumürkidenä. Organismi võivad kahjustada nii väline kui ka sisemine kiirgus.

Väline beeta- ja gammakiirgus kahjustavad inimest, kes viibib radioaktiivsete ainetega saastunud maa-alal. Gammakiirgus, mille läbimisvõime ja kahjustav toime organismi kudedesse ning vereloomeelunditesse on tugev, on inimestele ja loomadele eriti ohtlik. Väline beeta-kiirgus inimesele nii ohtlik ei ole. Beeta-kiirgus nõrgeneb tugevasti riietuse läbimisel. Ülejäänud osa kiirgusest tungib pealmistesse kudedesse ega kahjusta siseelundeid.

Kui aga radioaktiivsed ained satuvad nahale, siis võib nende kõrge kontsentratsioon põhjustada nn. naha beeta-põletusi. Niisugused kahjustused esinesid Marshalli saarte elanikel 1954. aasta märtsis toimunud tuumaplahvatuse radioaktiivsete saaduste toime. Mõnel saarel hakkasid radioaktiivsed ained sadestuma viis tundi pärast plahvatust. Mitte mingisuguseid kaitseabinõusid ei rakendatud ja seepärast oli radioaktiivsete ainete toime kohalikule elanikkonnale tugev. 24...48 tunni pärast tundsid paljud neist, kes said kiiritada, et nahk sügeles ja kipitas. Kahe-kolme nädala pärast langesid kiiritatud kohtadest välja juuksed ja tekkisid haavandid. Kuid kahjustada sai ainult naha pealne kiht. Sügavamal asuvad kihid viga ei saanud, sest beeta-kiirguse läbimisvõime on väike.

Suurte maa-alade radioaktiivsel saastumisel tekib reaalne oht, et radioaktiivsed isotoobid võivad sattuda inimese või looma organismi, olgu siis sissehingatava õhu, saastunud toiduainete või veega. Veri kannab radioaktiivsed ained üle kogu organismi laiali ja need jäävad peatuma elunditesse ning kudedesse.

Organismi sattumisel osutuvad kõige ohtlikumateks lühikese poolestusajaga isotoobid, mille organismist väl-

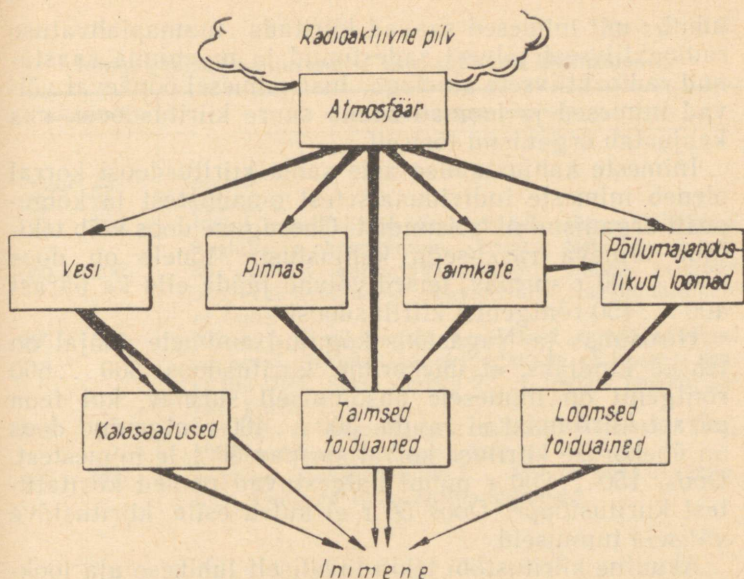
jumise poolperiood¹ on suhteliselt pikk. Lühikese poolestusajaga isotoobid tekitavad teiste tingimuste samaksjäämisel ilmselt intensiivsema kiirguse kui pika poolestusajaga isotoobid. Kui nende organismist eraldumise poolperiood on pikk, siis lagunevad need isotoobid organismis praktiliselt täielikult. Näiteks on jood 131 poolestusaeg kaheksa päeva, kuid organismist väljumise poolperiood 90 päeva. Järelikult sadestuvad jood 131 osakesed kilpnäärmesse ja kahjustavad seda.

Seespidisest kiiritusest on inimestele kõige ohtlikumad beeta- ja gammaaktiivsed isotoobid, mis ladestuvad luudesse. Nende hulka kuuluvad strontsium 89, strontsium 90, tseerium 144 ja ütrium 91. Kõige ohtlikum neist on strontsium 90.

Strontsium 90 võtab looduses osa samadest bioloogilistest ainevahetusprotsessidest nagu kaltsium, seepärast neeldub strontsium 90 inimese organismis nagu kaltsiumgi. On teada, et organism kasutab kaltsiumi luukudede loomiseks. Organismi sattunud strontsium 90 ladestub samuti luudes. Tema poolestusaeg on pikk (28,4 aastat). Ta jääb püsima aeglaselt uuenevasse luukoosse ja kiiritab inimese või looma kogu elu jooksul pidevalt mitte ainult luukudesid, vaid ka luu kändolluses asuvaid vereloomeelundeid. Strontsiumi organismi sattumise tõenäosus kohe pärast plahvatust on väike, sest nn. noortes kildudes on seda vähe. Hiljem strontsium 90 osatähtsus laguproduktide hulgas suureneb, sest teda tekib krüpton 90 lagunemisel. Seepärast säilib strontsium 90 organismi sattumise oht, eriti piima ja piimasaadustega, veel kaua pärast plahvatust. Joonisel 3.8 on näidatud radioaktiivsete ainete organismi sattumise võimalikud teed.

Tuumakiirgusest põhjustatud muutused inimorganismis võivad esile kutsuda erilise haigestumise — kiiritustõve. Organismi kiirituskahjustuste iseloom sõltub kiirituse liigist ja doosist, radioaktiivse kiirguse toime kestusest, kiiritatud pinna suuruselt ja samuti organismi üldseisundist. Mida suuremad on kiiritusdoos ja kiiritatud pind, seda tugevam on kahjustus ja seda raskem kiiritustõve kulg.

¹ Väljumise poolperiood on aeg, mille jooksul organismist eraldub pool sinna sattunud radioaktiivsest isotoobist.



Joon. 3.8. Radioaktiivsete ainete organismi tungimise võimalikud teed.

Kuid elusorganismi kiiritamise tagajärjed võivad olla erinevad, kui sama doos on saadud erineva aja jooksul. Näiteks on lühikese aja vältel saadud 1000-röntgenine doos igal juhul surmav. Ent sama annus, kui see on saadud 30 aasta jooksul, ei kutsu organismis esile märgatavaid muutusi. Põhjuseks on see, et inimorganism on suuteline taluma pidevat kiiritamist väikeste annuste kaupa, ilma et sel oleks kahjulikke tagajärgi. Niisugusel juhul taastab organism vigastatud rakud kiiresti. Kui aga kiirituse intensiivsust suurendada, siis on purustavad protsessid taastavate protsesside suhtes ülekaalus, mis lõpuks viib organismi haigestumiseni. Sellega seoses jaotatakse kiiritus ühekordseks (akuutseks) ja mitmekordseks (krooniliseks). Tavaliselt loetakse akuutse kiirituse doosi võrdseks ööpäevase kiiritusdoosiga. Mitme päeva, nädala või kuu jooksul saadud doos on kroonilise kiirituse doos. Ilmselt on niisugune jaotus tinglik ja mõnevõrra meelevaldne, kuid samal ajal on akuutse ja kroonilise kiirituse kestuse piiramine vajalik

juhul, mil inimesed saavad kiiritada tuumaplahvatuse radioaktiivsest pilvest sadestunud ja maapinda saastanud radioaktiivsete ainetega. Just esimesel ööpäeval võivad inimesed ja loomad saada suure kiiritusdoosi, mis kahjustab organismi tõsiselt.

Inimeste kahjustamise aste sama kiiritusdoosi korral oleneb inimeste individuaalsetest omadustest ja kõigepealt organismi üldseisundist. Ühesugune doos võib tekitada erineva raskusega kahjustusi. Mõnele on doos 250...300 r surmav, teised võivad jääda ellu ka pärast 400...450-röntgenist kiiritusdoosi.

Hirošimas ja Nagasakis kogutud andmete põhjal on tehtud kindlaks, et ühekordne kiiritusdoos 500...600 röntgenit on inimesele absoluutselt surmav, kui teda pärast kiiritamist ei ravita. 300...400-röntgenine doos on ühekordse kiirituse korral surmav 50%-le inimestest. Doosi 150...200 r puhul haigestuvad pooled kiiritatud kiiritustõppe. Doos 50 r ei kutsu esile kiiritustõve väliseid tunnuseid.

Akuutne kiiritustõbi tekib tavaliselt lühikese aja jooksul saadud suure doosi toimet. Haiguse kulg jaotatakse nelja perioodi:

- 1) primaarne ehk algreaktsioon;
- 2) näiline heaolu ehk peiteperiood;
- 3) kliiniliste nähtude ilmnemine;
- 4) haiguse lõpp.

Primaarse reaktsiooni periood algab vahetult pärast radioaktiivse kiirguse toimet ja kestab mõnest tunnist 1...2 päevani. Selle tunnusteks on üldine nõrkus, seedehäired ja isupuudus. Samal ajal muutub vere koosseis. Pärast seda algab peiteperiood. See kestab mõnest päevast kahe-kolme nädalani. Suurema doosi korral on peiteperiood lühem. Sel ajal kaovad haiguse välised tunnused. Haige tunneb end mõnevõrra paremini kui primaarse reaktsiooni perioodil. Kuid samal ajal patoloogiline protsess progresseerub pidevalt ja leukotsüütide hulk veres väheneb. Peiteperioodi lõpul halveneb haige enesetunne järsult, tekib palavik, haigel puudub isu, tugevnevad seedehäired, juuksed langevad välja, tekivad haavandid ja verejooks. Järsult väheneb vererakkude arv. Leukotsüütide arvu vähenemisega nõrgeneb organismi vastupanuvõime nakkushaigustele. Kui haige ei sure, siis paraneb ta väga aeglaselt (tabel 3.15).

Inimorganismi kahjustumise aste sõltuvalt kiiritusdoosist

Kiiritusdoos, r	Kahjustuse välised tunnused
kuni 25	puuduvad
25...50	puuduvad
25...100	10% ⁰ -l kannatadasaanutest esineb esimesel ööpäeval iiveldus ja oksendamine, väsimus; töövõime ei kao.
100...200	30...50% ⁰ -l kannatadasaanutest esineb esimesel ööpäeval iiveldus ja oksendamine. Surmajuhtumeid ei esine.
200...300	Peaaegu kõigil kannatadasaanutel esineb esimesel ööpäeval iiveldus ja oksendamine. Suremus ligikaudu 20% ⁰ . Surm saabub 2...6 nädala jooksul pärast kiiritust.
300...400	Iiveldus ja oksendamine esimesel ööpäeval. 50% ⁰ kannatadasaanutest sureb kuu aja jooksul.
400...500	Iiveldus ja oksendamine 2...4 tundi pärast kiiritamist. Peaaegu 100% ⁰ surmajuhtumeid.

IV. TUUMARELVA EEST KAITSMISE PÕHIMÕTTED

1. Kaitse korraldamise võimalikud teed

Tuumakolde analüüsist järeldub, et linnade kaitsmata elanikkond võib lööklaine ja valguskiirguse otsesest ja kaudsest toimest kanda tohutuid kaotusi. Peale selle ähvardab tuumasõja tingimustes kogu riigi elanikkonda radioaktiivse kiiritamise oht, mille põhjustajaks on radioaktiivsetest plahvatuspilvedest sadestunud radioaktiivsed ained.

Kuigi tuumarelva eest ei ole absoluutset kaitset, on olemas mitmesuguseid mooduseid, kuidas kaotusi tunduvalt vähendada.

Nende hulka kuuluvad kõigepealt tähtsate objektide hajutamine juba rahu ajal ja inimeste väljavedu kõige ohtlikumaist piirkondadest kallaletungiohu tekkimisel. Eriti kehtib see nõue suurte administratiiv- ja tööstuskeskuste kui vaenlase kõige tõenäolisemate ründeobjektide kohta.

Võimalikeks ründeobjektideks olevatel tähtsatel tööstusobjektidel, samuti siis, kui hajutamine ei ole võimalik, saab inimesi kaitsta ehitistes, mille püstitamisel on arvestatud lööklaine toimet, s. o. varjendites.

Radioaktiivse saastumise vööndites saab võimalikke kaotusi vähendada, kui kasutada maksimaalselt ära hoonete ja ehitiste kaitseomadusi, sobitada neid varjenditeks ja püstitada lihtvarjeid, mis vähendavad kiiritusdoosi väärtuseni, kus see pole enam ohtlik.

Teataval määral vähendavad tuumaplahvatuse kahjustavat toimet elementaarsed kaitsemoodused, mida inimesed kasutavad plahvatushetkel (maastiku, hoonete, riietuse jne. kaitseomaduste kasutamine).

2. Kaitse lööklaine eest

Suurte linnade elanike hajutamiseks kulub ka siis palju aega, kui selleks kasutatakse kõiki liiki transpordivahendeid ja kui evakueerimine on hästi korraldatud. Järelikult on hajutamine efektiivne vaid siis, kui seda tehakse aegsasti.

Hajutamise efektiivsemateks vormideks on uute tööstuskomplekside ehitamine üksteisest küllalt kaugele ja suurte linnade kasvu piiramine. Nendel abinõudel on vaieldamatu kaitsealane tähtsus ja need kindlustavad linnade elanikele parimad sanitaar-hügieenilised ning elukondlikud tingimused. Neid seisukohti kinnitab täielikult nõukogude linnaehituse teooria ja praktika.

Olemasolevate linnade, eriti tööstusega seotud elanike hajutamine toob kaasa terve rea raskusi. Nende inimeste kaitsmise kõige efektiivsemaks vormiks on nende varjamine õigel ajal püstitatud varjenditesse. Linnades ja tööstusettevõtete territooriumil asuvad varjendid peavad inimesi kindlalt kaitsma niihästi tuumaplahvatuse kõigi kahjustavate tegurite toime eest kui ka purunevate hoonete rusude eest (pidama vastu koormusele, mis tekib hoonete purunemisel), võimaldama tulekahjude ja radioaktiivse saastumise korral neis pikka aega viibida. Peale selle peavad neil olema varuväljapääsud juhaks, kui varjend jääb rusude alla.

Varjendi kaitseomadusi iseloomustab lööklaine ülerõhu suurus, mida ehitise peab taluma. Kaitseehitiste efektiivsus, sõltuvalt nende kaitsevõimsusest, on piltlikult näha tabelist 4.1. Selles on ära toodud territooriumi suurus protsentides, kus maapealse tuumaplahvatuse koldes võib tekkida rõhk, mis ületab ehitise kaitsevõimsuse, selle territooriumi suhtes, kus kaitsmata inimene saab eriti raskelt vigastada (ülerõhk $0,5 \text{ kG/cm}^2$).

Tabelist 4.1 on näha, et kui varjend talub ülerõhku näiteks 2 kG/cm^2 , siis vähendab see inimeste kahjustamise võimalikku vööndit neli korda (kuni $25,2\%$). Linnas võib inimene saada viga ka siis, kui ülerõhk on alla $0,5 \text{ kG/cm}^2$. Järelikult on varjendite suhteline efektiivsus siin veelgi kõrgem.

Võttes arvesse tuumalaengu võimalikku märgist kõrvalkaldumist, saab kaitseehitiste efektiivsust hinnata tõenäosuse järgi, mis on antud punktis (või territooriumi

Tuumakolde vööndite suhtelised pindalad

Ülerõhu suurusjärk, kG/cm ²	Vööndi territoorium, %
üle 10	4,6
5...10	6,2
3...5	6,5
2...3	7,9
1...2	22,8
0,5...1	52,0

mil) valitseval rõhul, juhul kui see ei ületa ehitise kandevõimet. Varjendite kõrge kaitsevõime tagatakse piirdekonstruktsioonide (seinte ja lagede) tugevuse ning kindla seosega ja samuti sellega, et nad ehitatakse tavaliselt täielikult maa alla. Varjendite seinad võib teha tellistest, betoonblokkidest, monteeritavast või monoliitsest raudbetoonist, katused aga monteeritavast või monoliitsest raudbetoonist. Eraldiseisvad varjendid kaetakse vähemalt 1 m paksuse pinnasekihiga.

Hoonete keldrites asuvate varjendite laele pannakse samuti liivakiht. See kaitseb täiendavalt radioaktiivse kiirguse eest, on soojusisolaatoriks (hoiab ära lae kuumenemise tulekahju korral) ja amortiseerib hoone varisevate konstruktsioonide lööke. Varjendite ventileerimiseks kasutatakse filterventilatsiooniseadmeid (ventilatoreid ja filtrite süsteemi), mis puhastavad õhu tolmust, sealhulgas ka radioaktiivsetest ja mürkainetest ning bakteriaalsetest vahenditest.

Tuumaplahvatuse lööklaine võib ka väikeste avade kaudu tungida ruumi ja kahjustada seal viibivaid inimesi. Et vältida lööklaine ruumi tungimist, varustatakse varjendite sissepääsud kaitse-hermeetiliste ustega ja õhukanalitesse ning tuulutustööridesse ehitatakse spetsiaalsed lainesummutid, mis koosnevad kruusafiltritest, paisumiskambritest ja kaitseventiilidest-katkestajatest.

Hoonete keldrites asuval varjenditel peavad olema avariiväljapääsud, et varjendis viibivad inimesed saaksid sealt väljuda ka siis, kui hoone kokku variseb ja peasissepääsud on rusude all. Avariiväljapääsud ehitatakse tavaliselt maa-aluste galeriidena, mis lõpevad vertikaalkaevuga, millele on ehitatud pealisehitis või mis on kae-

tud luugiga. Viimased peavad asuma väljaspool võimaliku rusustamise piiri.

Linnades ja tööstusettevõtetes on ehitisi, mida vastaval sobitamisel saab kasutada varjenditeks. Nende hulka kuuluvad kõigepealt allmaaraudtee, jalakäijate, transpordivahendite ja tööstusotstarbelised tunnelid, samuti teised maa-alused ehitised. Näiteks jalakäijate maa-alused ülekäigud, mis on arvestatud transpordivahendite poolt tekitatavale koormusele, on küllalt tugevad. Selleks et neid saaks varjenditeks kasutada, tuleb tunneli sissepääsudele ehitada kaitse-hermeetilised ukсед ja ventilatsioonisüsteem. Kulutused niisugustele täiendustele ei ületa 10% tunneli maksumusest.

Kultuurilise ja elukondliku teenindamise asutused, kus tavaliselt ei viibi palju inimesi (vastuvõtu- ja laenutus-punktid, remonditöökodad, fotolaboratooriumid, kohvikud, väikesed kauplused jne.) võib paigutada elamute keldrikorrustele. Nendele asutustele määratud ruume on otstarbekohane projekteerida ja ehitada nii, et neid saaks kasutada varjenditeks.

Lööklaine ja teiste tuumaplahvatuse kahjustavate tegurite eest kaitsevad ka varjed — ehitised, millel on varjenditega võrdsed kaitseomadused, kuid kus ei ole filterventilatsiooni. Varjetes viibimise kestus sõltub sellest, kui palju on ruumis õhku ühe inimese kohta. Nagu teada, suureneb väljahingatava süsihappegaasi hulk õhus ventilatsiooni puudumisel kiiresti. Süsihappegaasi lubatud piirkontsentratsiooniks loetakse 1...2% (tavaliselt 0,03%). Kui sissehingatavas õhus on kuni 4% süsihappegaasi, siis võib see esile kutsuda tõsise mürgituse.

Kui varjetes on iga inimese kohta 2 m³ õhku, siis võib maksimaalselt lubatud süsihappegaasi kontsentratsioon tekkida nendes 3,5...4 tunni pärast. Varjetes viibimise kestus suureneb peaaegu võrdeliselt õhu kubatuuri suurenemisega ühe inimese kohta. Varjeteks võidakse vajaduse korral sobitada ka tavalisi keldreid. Selleks tuleb aknaavad kinni müürida, asendada tavalised ukсед kaitseustega (samuti laudadest) ja tugevdada lage lisatugede ning -taladega. Vaatamata ebatäiuslikkusele võivad varjed kui kaitseehitised tunduvalt vähendada kaotusi elanike hulgas.

Isegi siis, kui elanikke ei hoiatatud tuumarünnaku eest ja rünnaku esimeseks tunnuseks kujuneb valgussähva-

tus, on olemas mõningane võimalus võtta kasutusele elementaarsed kaitseabinõud lööklaine toime eest. Lööklaine front levib tunduvalt aeglasemalt kui valgus (vt. joonis 2.6) ja seepärast kulub valgussähvatusetekest kuni lööklaine saabumiseni teatud aeg, millest piisab niisuguste kaitseabinõude rakendamiseks.

Avamaastikul on kaitsmata inimesele kõige ohtlikum lööklaine kiirusrõhk, mis võib paisata inimese mitme meetri kaugusele, mille tagajärjel võib saada raskeid vigastusi. Kõik abinõud, mis vähendavad kiirusrõhu toimet, on kasulikud ja vähendavad lööklaine kahjustavat mõju. Seepärast on otstarbekohane heita enne lööklaine saabumist maha, nii et pea või jalad oleksid plahvatuskoha poole. Sellises asendis on rõhu mõju all olev keha pind kõige väiksem. Kiirusrõhu toimet vähendavad samuti igasugused lohud (augud, kraavid) või madalad, tugevad aiad, kännud ja teised esemed, mille taha saab varjuda.

Hoonete läheduses viibimisel on peale lööklaine ja kiirusrõhu vahetu toime suureks ohuks veel hoonete purunemisel õhku paiskuvad rusud ja klaasikillud. Seepärast tuleb plahvatushetkel pikali heita välis- või mõne teise kapitaalseina äärde, eemale akendest ja udest.

Isegi siis, kui viibitakse nõrkade ja keskmiste purustuste vööndis, võivad elementaarsed kaitseabinõud tunduvalt vähendada tõenäosust, et inimesed saavad vigastada.

Peale inimeste kaitse on mõningane võimalus vähendada ka tuumaplahvatusete lööklainest tekitatavat materiaalselt kahju (hoonete ja ehitiste purunemist, tööstuse sisseseadete, masinate, kommunaal- ja energiavõrkude rivist väljalangemist). Need abinõud, mille eesmärgiks on tõsta tööstuse, sidevahendite ja energiasüsteemi töökindlust, samuti kergendada päästetöid ja tööstuse taastamist, kuuluvad tsiviilkaitse inseneritehniliste abinõude ühtsesse kompleksi. Inseneritehniliste abinõude rakendamine nõuab materiaalseid kulutusi ja aega ning seda tehakse pidevalt linnade ja rahvamajandusobjektide insenerilise ettevalmistamise käigus.

Kõige efektiivsemad ja odavamad on inseneritehnilised abinõud siis, kui neid rakendatakse uute linnade ja tööstuskomplekside ehitamisel. Seepärast erinevad uusehituse juures rakendatavad tsiviilkaitse insenerilised abinõud oma otstarbekuse ja täiuslikkuse poolest oluli-

selt neist, mida kasutatakse juba olemasolevates linnades ja tööstussõlmedes.

Vaatleme mõningaid iseloomulikke näiteid linnade ja tööstusettevõtete ettevalmistamisest. Tuumaplahvatuse purustavast toimest ehitistesse võib teha järgmisi, kõige silmatorkavamaid järeldusi.

1. Sama pindala ja sama võimsusega tuumaplahvatuse korral on purustused kompaktses linnas suuremad kui kujult väljavenitatud või mitmest eraldi seisvast linnajaost koosnevas linnas.

2. Sama elanike arvuga linnades on kaotusi rohkem seal, kus hoonestustihedus on kõrgem.

3. Vajaliku abi maht ja päästetööde kestus on väiksemad, kui magistraaltänavate võrk on hästi välja arendatud ja elanike käsutuses on rohkem kaitseehitisi.

Järelikult on insenerilise ettevalmistuse üheks probleemiks linna planeerimisstruktuuri parandamine (või valik). Suured linnad on selles suhtes raskemas olukorras, sest juba ajalooliselt väljakujunenud planeerimisstruktuuri muuta või oluliselt parandada on praktiliselt võimatu. Ainsaks võimalikuks teeks on vähendada osaliselt hoonestustihedust vanade linnajagude rekonstrueerimise käigus, arendades samaaegselt välja magistraaltänavate võrku ja piirates linnade kasvu.

Tunduvalt suuremad võimalused kaitsealaste nõuete täitmisel on uute linnade rajamisel ja väikeste ning keskmiste linnade rekonstrueerimisel, seda enam, et need nõuded langevad täielikult kokku vaadete ja normidega kaasaegsele linnaehitusele ega nõua mingeid täiendavaid kulutusi.

Teine ja mitte vähem tähtis küsimus, mis on seotud tööstuse töökindluse tõstmisega, on uute tööstusettevõtete paigutamine ja olemasolevate arendamine. Tööstuse ülemäärane kontsentreerimine suurlinnadesse suurendab võimalust, et üheaegselt saab kannatada palju ettevõtteid. Seepärast on neid otstarbekohane paigutada hajutatult, ohutule kaugusele olemasolevatest tööstussõlmedest ja suurlinnadest.

Suurlinnades peab tööstust edasi arendama tööstusprotsesside kompleksse automatiseerimise ja sisseseadete moderniseerimise teed mööda, vältides tööliste arvu suurendamist.

Samasugused on probleemid ja nende lahendamise

teed ka transpordi, side- ja energiasüsteemi, samuti linnade kommunaalmajanduse arendamisel ja nende töökindluse tõstmisel.

Järelikult ei ole niisugust majandusharu, kus ei oleks vaja ega võimalik juba aegsasti arvestada kaitsenõudeid.

3. Kaitse valguskiirguse eest

Suurem osa valguskiirgusest levib sirgjooneliselt, seepärast on iga läbipaistmatu ese, mis asub tulekera ja inimese vahel, mõningaks kaitseks kiirguse eest. Niisugused esemed kaitsevad valguskiirguse eest ka siis, kui nad hiljem lööklaine toimel purunevad, sest selle aja jooksul, mis kulub lööklainel esemeni jõudmiseks, lõpeb intensiivne valguskiirgus. Loomulikult kaitsevad valguskiirguse eest ka igasugused kaitseehitised.

Palju keerulisem on kaitsta end valguskiirguse eest avamaastikul. Kui inimene jõuab minna varjule, enne kui tulekera saavutab teise arengufaasi maksimumi, siis ei saa ta selle aja jooksul mitte üle 20% valguskiirgusest. Järelikult kui elementaarseid kaitseabinõusid rakendatakse enne tulekera teise faasi kulminatsiooni saabumist või vahetult pärast seda, siis ei lange suurem osa valguskiirgust inimesele. Tabelis 4.2 on ära toodud aeg, mis kulub plahvatuse (valgussähvatus) hetkest kuni helenduse teise faasi kulminatsioonini.

Tabel 4.2

Valgussähvatuselt kuni helenduse teise faasi kulminatsiooni saabumiseni kuluv aeg

Plahvatuse võimsus, Mt	Aeg, mis kulub kuni teise faasi kulminatsioonini, s
0,1	0,3
1	1,0
10	3,2

Märganud üldise valgustuse järsku tugevnemist, tuleb kohe pikali heita, näoga vastu maad (hoonetes tuleb põrandale pikali heita), ja roomata kõige vähem ohtlikku kohta. Avamaastikul, kui läheduses ei ole sobivat

varjet (kraavi, piirdeaedu, puid jne.), tuleb katmata kehaosad püüda katta riietega. Paremini kaitseb hele riietus, sest see peegeldab rohkem valgust kui tume. Tume riietus, mis neelab hästi valguskiirgust, võib süttida ja leekidest saadud põletused on niisama ohtlikud kui valguskiirgusest põhjustatud põletused. Mida tihedam on riie, seda paremini ta kaitseb. Villane riie kaitseb valguskiirguse eest paremini kui puuvillane. Kui kahe riietuseseme vahel on õhukiht, siis väheneb valguspõletuste oht tunduvalt. Seepärast on avar riietus parem kui tihedalt vastu keha liibuvad rõivad.

Silmi on valguskiirguse kahjustava toime eest väga raske kaitsta eriti neil, kes asusid juhuslikult näoga plahvatuskeskme poole.

Pilgutamisrefleks kestab ligikaudu 0,15 sekundit ja see võib kaitsta silmi valguskiirguse eest siis, kui plahvatuse võimsus on mitu megatonni. Väiksema plahvatuse võimsuse korral ja kaugusel, kus valgusvoo intensiivsus on võrdne võimsa plahvatuse valguskiirgusega, võib see refleks osutada kasutuks. Kõrgel õhus toimunud plahvatuste puhul, kui valguskiirgus kiirgub ühe kiire impulsinä, on mingite kaitseabinõude tarvituselevõtmine plahvatushetkel praktiliselt võimatu. Tavalised päikesepriidid ei kaitse silmi küllaldaselt määral, sest tuumaplahvatuse valguskiirguse intensiivsuse nõrgendamiseks on vaja materjali, mis paistab vähem läbi.

Kaitstes valguskiirguse toime eest on tähtsaks elemendiks tuletõrje, sest tuumaplahvatuse valguskiirguse toimel võivad kannatadasaanud linnas puhkeda massilised tulekahjud. Tuletõrjeabinõusid võib jagada kahte rühma. Esimesse kuuluvad need, mille eesmärgiks on vältida või vähendada tulekahjude puhkemise võimalikkust, ja teise need, mille eesmärgiks on piirata puhkenud tulekahjude levikut ja luua tingimused, mis kergendaksid võitlust tulega.

Hoonetes tekivad tulekahjud tavaliselt seal olevate esemete või põlevate ainete süttimise tagajärjel.

Et vältida tulekahju hoones, tuleb kõik kergesti süttivad esemed (kardinad, pehme mööbel jne.) ruumidest eemaldada või paigutada selliselt, et neile ei langeks akendest valguskiirgus.

Välised süttimised võivad tekkida puithoonete rajoonis. Kuid nagu seda kinnitasid tuumarelvade katsetused

Nevada osariigis (1953. a.), on tulekahjude puhkemise tõenäosus tunduvalt väiksem, kui hooned on korras, värvitud ja õued puhastatud. Lohakile jäetud hoonete puhul ja kui õuedes on palju süttivat prahti, on tulekahjude tõenäosus palju suurem.

Puithoonete korral on seega peamisteks tuletõrjeabinõudeks hoida hooned heas korras ja regulaarselt koristada nende ümbert praht.

Tulekahjude seisukohalt on väga ohtlik hoida majade läheduses igasugust taarat ja pakkimismaterjali, mida väga tihti tehakse kaupluste ja mitmesuguste varustusbaaside lähedal.

Majade vahel asuvad põlevad ained ja esemed soodustavad tulekahjude levikut.

Tulekahjude levimise tõenäosus sõltub majade omavahelisest kaugusest (joonis 3.1). Seepärast oleneb tulekahjuoht linna eri rajoonides suurel määral hoonestustihedusest ja sellest, kas mikrorajoonid on üksteisest eraldatud. Üheks olulisemaks tuletõrjealaseks abinõuks linnade ehitamisel on kujade rajamine. Eriti tähtis on kujade loomine kõrge hoonestustihedusega piirkondades, selleks et vältida tuletormide puhkemist ja laustulekahjusid. Tuletõrje seisukohalt on niisuguste kujade minimaalseks laiuseks 100 meetrit. Suurlinnade rekonstrueerimisel on otstarbekohane kasutada neid kujasid kiirmagistraalide rajamiseks. Need magistraalid omakorda on vajalikud selleks, et hoonete purunemisel võimaldada tuletõrjetechnikale kiiresti tulekahjude rajooni pääseda. Kui väikesed tulekahjud ja üksikud põlengud kiiresti kustutada, siis on suurte tulekahjude arv tunduvalt väiksem ja nende lokaliseerimine hõlpsam.

Tuletõrjealaste abinõude hulka kuulub samuti veehoidlate ehitamine ja heade juurdepääsuteede rajamine olemasolevatele.

Peale selle peab linna veevarustussüsteem võimaluse korral laskma juhtida vett säilinud magistraalide kaudu (juhul kui pumbajaamad on terved) tulekahjude piirkonda. Selleks peab olema täpselt välja töötatud veevärgi purustatud osade väljalülitamise kord ja pumbajaamades peavad olema energia varuallikad.

Kokkuvõttes võib linnade tuletõrjealane ettevalmistamine tunduvalt vähendada kahju, mida põhjustab tuumaplahvatus.

4. Kaitse radioaktiivse kiirguse eest

Radioaktiivsete pilvede levimisel saastuvad peale maapinna ka kõik seal asuvad esemed. Saastumisvöönditesse võivad jääda asulad, tööstusettevõtted, karjafarmid, veevarustuse allikad jne. Kõige ohtlikumad on inimestele suhteliselt kõrge radiatsioonitasemega alad. Lühiaegne, kas või mõni minut kestev viibimine avamaastikul, kus radiatsioonitase on mitusada röntgenitunnis, on väga ohtlik ja võib saada tõsiste kahjustuste põhjuseks.

Inimeste kaitsmine radioaktiivse sadestuse ja kiirguse eest on üheks kõige komplitseeritumaks osaks sellest kaitseabinõude kompleksist, mida rakendatakse kaitseks tuumarelva kahjustavate tegurite eest, sest radioaktiivne kiirgus on nähtamatu, seda ei saa tajuda meelegaorganitega, vaid ainult spetsiaalsete dosimeetriliste mõõteriistadega. Pealegi levivad radioaktiivsed sadestused tuumarelva massilise kasutamise puhul väga suurele maalale ja saastumine on püsiv.

Plahvatuspilvede liikumise jälgede näol võib radioaktiivsete ainetega saastuda tohutu territoorium ja iga asula võib jääda saastumisvööndisse. Seepärast tuleb juba aegsasti kõiki elanikke ette valmistada kaitseks radioaktiivsete ainete ja nende kiirguse eest.

Suur osa kaitstes radioaktiivsuse eest on täita tsiviilkaitse organitel.

Kaitseabinõude hulka kuuluvad:

- radioaktiivse saastumise vööndite prognoosimine;
- elanike hoiatamine neid ähvardava ohu eest;
- õhu ja maapealse radiatsiooniluure korraldamine;
- dosimeetrilise kontrolli korraldamine;
- saastunud piirkondade elanike kõige otstarbekohasema tegutsemiskorra kehtestamine;
- radioaktiivse saastumise tagajärgede likvideerimine.

Kogu see eriabinõude kompleks kuulub linnade, rajoonide ja rahvamajandusobjektide tsiviilkaitse staapide kompetentsi. Nende abinõude rakendamisest võtavad osa hüdro-meteoroloogia teenistuse ja kommunaalmajanduse organid, miilits ning rahvamajandusobjektide baasil loodud mitmesugused tsiviilkaitse formeeringud.

Kuid inimeste kaitsmise edukus sõltub lõpuks sellest, mil määral kogu elanikkond võtab osa tsiviilkaitse organite tööst, kuivõrd ta tunneb radioaktiivse kiirguse kahjustavaid omadusi, ja sellest, kui hästi teab elanikkond kaitsemooduseid ja käitumisreegleid saastunud maa-alal.

Paikkonna saastumise iseloomu ja radioaktiivse kiirguse kahjustava toime tundmine võimaldab määrata inimeste peamisi kaitseviise.

Kaitse organiseerimisel on peamiseks inimeste isoleerimine välise radioaktiivse kiirguse eest, samuti probleem, kuidas vältida radioaktiivsete ainete sattumist organismi õhu, vee ja toiduainetega.

Inimeste kaitsmise kõige tõhusamaks teeks radioaktiivsete pilvede liikumise jälgedes tuleb pidada nende õigeaegset evakueerimist oletatavast saastumisvööndist. Evakueerimine asulatest, mida ähvardab saastumine, kõrvaldab inimeste kahjustamisvõimalused. Kuid tuumarelva massilise kasutamise korral on niisuguste abinõude praktiline rakendamine seotud raskustega. Evakueerimiseks kulub teatud hulk aega ja palju transpordivahendeid, mida vajalikul hetkel ei ole alati küllaldaselt. Peale selle — ja see on väga tähtis — on evakueerimine efektiivne ainult siis, kui eeldatava radioaktiivse saastumise piirid on enam-vähem täpselt kindlaks määratud. Kuid radioaktiivsete pilvede liikumissuuna ja -kiiruse prognoosimise kaasaegsed meetodid ei ole nii täiuslikud, et saaks täpselt kindlaks määrata oletatava radioaktiivse saastumise jälje suurust.

Radioaktiivsete pilvede liikumise suund ja kiirus sõltuvad täielikult meteoroloogilistest tingimustest, mis on nii ajas kui ka ruumis väga muutlikud. Pilve liikumissuuna muutumisel võivad need maa-alad, mida enne tuule suuna muutumist loeti ohutuiks, saastuda, oletatavas radioaktiivse saastumise vööndis võib radioaktiivsus aga puududa.

Tuleb arvestada ka seda väga tähtsat asjaolu, et tuumarelva massilise kasutamise korral on väga raske lühikese aja jooksul prognoosida neid maa-alasid, mis ei saastu radioaktiivsete ainetega.

Järelilikult ei saa inimeste eelnevat evakueerimist maa-alalt, mida ähvardab radioaktiivse saastumise oht, pidada elanikkonna kaitsmise peamiseks meetodiks ja seda

rakendatakse ainult erandjuhtudel. Evakueerida võidakse saastumise tagajärgede likvideerimise ajal ja ainult siis, kui mõned asulad on jäänud ohtliku saastumise vööndisse. Eriti kõrge radiatsioonitaseme korral võib inimeste kahjustamise oht säilida väga kaua ka siis, kui rakendatakse kaitseabinõusid. Nendest vöönditest võib inimesi samuti evakueerida, kuid mitte enne pilve saabumist, vaid mõni aeg pärast radioaktiivsete ainete sadestumist. Evakueerimise aja ja korra määravad kindlaks tsiviilkaitse organid.

Radioaktiivsete ainete ja nende kiirguse eest kaitsmise peamiseks ning kõige otstarbekamaks mooduseks on inimeste ajutine varjamine kaitseehitistesse. Need ehitised peavad nõrgendama radioaktiivset kiirgust nii võrd, et summaarne doos, mille saavad varjes viibivad inimesed, ei ületaks maksimaalselt lubatud normi.

Peale selle peavad kaitseehitised takistama radioaktiivsete ainete ruumidesse tungimist ja vastama sanitaarhügieenilistele ning elukondlikele nõuetele.

Ehitiste kaitseomadusi hinnatakse tavaliselt nn. radiatsioonidoosi nõrgendamise koefitsiendi järgi. Nõrgendamiskoefitsiendi all mõistetakse arvu, mis näitab, mitu korda vähendab kaitseehitis doosi võimsust. Järelikult võib nõrgendamiskoefitsienti väljendada suhtega:

$$K = \frac{P_m}{P_v}, \quad (4.1)$$

kus P_m on radiatsioonitase avamaastikul ja P_v — radiatsioonitase varjendis (varjes).

Kõige paremad kaitseomadused on varjenditel, mis peavad kinni praktiliselt kogu radioaktiivse kiirguse voo. Kui varjendeid ei ole, siis võib kaitseks kasutada lihttüüpi varjeid: muldonne, kaitsepilusid jne. Peale selle võib nii maal kui linnas kasutada varjeteks kivihooneid, keldreid, kaevandusi jm., kuid nende ehitiste kaitseomadused on erinevad.

Mõnede kaitseks kasutatavate ehitiste nõrgendamiskoefitsiendid on toodud tabelis 4.3.

Tuleb rõhutada seda, et tabelis 4.3 toodud nõrgendamiskoefitsiendid on ligikaudsed ja täpseteks pidada neid ei saa. Nõrgendamiskoefitsient sõltub sellest, kui sügaval maa all on ehitis, põhikonstruktsioonide materjalist,

Radioaktiivse kiirguse nõrgendamiskoeffitsiendid

Ehitis	Nõrgendamiskoeffitsient
Eriotstarbelised varjendid	Peavad kinni praktiliselt kogu radioaktiivse kiirguse
Kaitsepilud ja muldonnid	40 ¹
Majade keldrid maal	20 ... 50
Mitmekorruselised kivihooned	10 ... 15
Puithooned	2

¹ Mullakihi paksusel 30 cm.

kaitseehitise mõõtmetest ja plaanist, samuti paikkonna radioaktiivse saastumise iseloomust varje piirkonnas.

Nagu näha tabelist 4.3, on tsiviilehitistest kõige paremad kaitseomadused keldritel, sest nad asuvad küllalt sügaval maa all. Radioaktiivne kiirgus tungib keldritesse ainult välisuste ja kaitsekihi kaudu, kui see on alla 30 ... 40 cm.

Majade, eriti puithoonete puhul on nõrgendamiskoeffitsient madal. Gammakiirgus tungib kergesti läbi akendest, udest ja osaliselt ka välisseintest ja lagedest. Tsiviilehitiste kaitseomadusi saab tõsta. Selleks tuleb suurendada kaitsekihi paksust, müürida akna- ja ukseavad tellistega kinni või katta nad liivakottidega. Niisuguste lihtsate abinõude rakendamine tõstab kaitsevõimet 1,5 ... 2 korda.

Kui ehitisi valmistatakse ette varjeteks, tuleb pöörata tähelepanu sellele, et radioaktiivsed osakesed ei satuks ruumi. Osakesed võivad ruumi tungida lekete kaudu ustes, kommunikatsioonides, õhutorudes või ventilatsioonivädes. Et vältida radioaktiivsete ainete ehitisse sattumist, varjed hermetiseeritakse.

Et inimestel tuleb varjetes viibida mitu päeva, tuleb erilist tähelepanu pöörata varjete sisustamisele. Varjetes, sealhulgas ka lihttüüpi varjetes, sisustatakse puhkekohad ja luuakse toiduainete ning joogivee varud. Tagavaravalgustuseks on otstarbekohane kasutada taskulampe, mitte aga petrooleumilampe, sest need rikuvad õhku. Peale selle on hea, kui varjes on olemas käsiapteek ja võimaluse korral ka patareivastuvõtja.

5. Märgi tabamine tuumalaenguga varustatud rakettrelvaga

Mõnedes välismaa autorite töödes käsitletakse üksikasjaliselt märki rakettrelvaga tabamisega seotud arvutusi. Autorid lähtuvad sellest, et tsiviilkaitse abinõude planeerimisel on kõigepealt tarvis luua ettekujutus võimalikust olukorrast ja selgitada, kus ja missuguse võimsusega tuumaplahvatus on kõige tõenäolisem ja missugused on niisuguse plahvatuse võimalikud tagajärjed.

Küsimuse käsitlemisel lähtutakse sellest, et laengu võimsus sõltub sihtmärki mõõtmetest ja sellest, missugust lööklaine ülerõhku läheb vaja tema purustamiseks, samuti nende relvade tehnilisest karakteristikast, mida kasutatakse tuumalaengu kohaletoimetamiseks. Arvesse võetakse ainult neid rakette, mis jõuavad eesmärgile, mitte aga kõiki lähetatud rakette.

Tuumarünnaku sihtmärkideks võivad olla administratiivkeskus, tööstusobjektide rühm või eraldi paiknev tööstusobjekt, suur energeetikasõlm, raketipositsioon jne.

Tuumaplahvatus põhjustab purustusi suurel maa-alal. Võrdselt vastupidavad objektid võivad ühe ja sama plahvatuse tulemusena erineval määral viga saada. Mida lähemal on objekt epitsentrile, seda suuremad on purustused. Objekti vastupidavust tuumaplahvatuse kahjustavatele teguritele võib hinnata selle järgi, kui suur on maksimaalne kaugus epitsentrist, kus objekt veel puruneb. Seda kaugust nimetatakse kahjustamisraadiuseks (R_k).

Kui sihtmärki mõõtmed on võrreldavad märki põhielementide kahjustamisraadiusega, siis nimetatakse niisugust märki pindmärgiks. Pindmärgi territooriumil saavad võrdselt vastupidavad objektid ühe tuumaplahvatuse tagajärjel erinevaid kahjustusi, sõltuvalt kaugusest epitsentrist.

Kui sihtmärki mõõtmed on kahjustamisraadiusest tunduvalt väiksemad ja võrdselt vastupidavad objektid saavad märki territooriumil ühesuguseid kahjustusi, siis nimetatakse niisugust sihtmärki punktmärgiks.

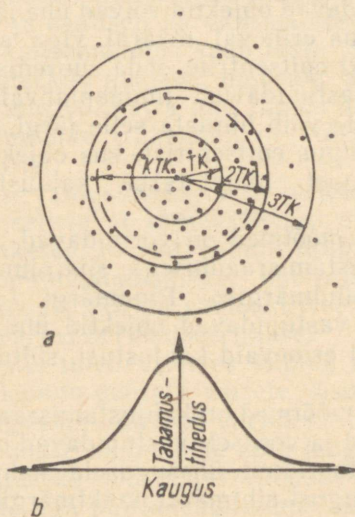
Pindmärgi purustuste iseloomu hinnatakse tuumalöögi oletatava võimsuse ja märki territooriumil asuvate üksi-

kute objektide kahjustamise tõenäosuse järgi. Sihtpunktiks loetakse tavaliselt märgi geomeetrilist keset. Märgi tabamist vaadeldakse tõenäosusteooria järgi kui juhuslikku sündmust. Selle juhusliku sündmuse esinemise arvulist hinnangut nimetatakse tõenäosuseks. Võimatu sündmuse tõenäosus võrdub nulliga ja kindla tabamuse tõenäosus ühega (100%). Iga sündmuse tõenäosus asub vahemikus nullist kuni üheni.

Sihtmärgi tabamise tõenäosus tuumarelvaga sõltub paljudest asjaoludest.

6. Sihtmärgi tabamise tõenäosus

Märgi tabamine tulistamisel on juhuslik sündmus. Ent kui tulistada mitusada või mitu tuhat korda, siis märkame, et tabamused jaotuvad mingi seaduspärasuse järgi. Reeglina on sihtpunkti läheduses tabamusi rohkem ja sellest eemal vähem (joonis 4.1, a). Kui tabamuste tihedust (tabamuste arvu pinnaühikule) kujutada sõltuvalt sihtpunkti kaugusest graafiliselt, siis näeks see graafik välja nii, nagu on näidatud joonisel 4.1, b.



Joon. 4.1. Tabamuste hajumine sihtpunkti ümber.

Üldkujul tuntakse seda graafikut normaaljaotuse kõverana (Gaussi kõver). Analüütiliselt iseloomustab vigade normaaljaotust funktsioon $f(x)$, mida nimetatakse jaotustiheduseks või tõenäosuse tiheduseks:

$$f(x) = \frac{x}{\sigma^2} e^{-\frac{x^2}{\sigma^2}}, \quad (4.2)$$

kus x on kaugus sihtpunktist; σ^2 — parameeter, mida nimetatakse vigade dispersiooniks (hajuvuseks); $\sqrt{\sigma^2} = \sigma$ — ruutkeskmine viga.

Selleks et ringhajumise korral määrata tõenäosust, mis on märgi tabamisel ühe lasuga, võib valemi taandada kujule:

$$P_1 = 1 - e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{R}{\sigma}\right)^2}, \quad (4.3)$$

kus P_1 on sihtmärgi tabamise tõenäosus ühe lasuga ringhajumise korral ja R on sihtmärgi raadius.

Enne kui selle valemi järgi arvutama hakata, on tarvis kindlaks teha kõigi valemi paremal pool esinevate tähistuste mõte ja viia valem arvutamiseks sobivasse kujju. Seejuures on tarvis silmas pidada, et raketi tabamistäpsuse põhikarakteristikuks on tema võimalik kõrvalekalduvuse sihtpunktist.

Hajumisseaduste ja tõenäosusteooria seaduste järgi iseloomustatakse sihtmärgi tabamise tõenäosust ühe tabamise tõenäolise kõrvalekalde (TK) järgi.

Tõenäoliseks kõrvalekaldeks (TK) loetakse ringhajumise puhul niisuguse ringi raadiust, mida tabab 20% kõigist väljatulistatud rakettidest (pommidest, mürskudest, kuulidest jne.) tingimusel, et sihtpunkt langeb ühte selle ringi keskmega. Väga tihti hinnatakse sihtmärgi tabamise tõenäosust keskmise tõenäolise kõrvalekalde (KTK) järgi. Keskmiseks tõenäoliseks kõrvalekaldeks loetakse niisuguse ringi raadiust, mida ringhajumise puhul tabab 50% kõigist väljatulistatud rakettidest (mürskudest, kuulidest), kui sihtpunkt langeb ühte ringi keskmega (joonis 4.1, a). Arvutuste puhul, mida tehakse sihtmärgi tabamise tõenäosuse määramiseks, võib kasutada kas üht tõenäolist kõrvalekallet või keskmist tõe-

näolist kõrvalekallet. Nende vahel kehtib seos: keskmine tõenäoline kõrvalekalle on võrdne 1,75 tõenäolise kõrvalekaldega.

$$KTK = 1,75 TK. \quad (4.4)$$

Järgnevalt kasutame tõenäolist kõrvalekallet (TK). Vastavalt tõenäosusteooriale on ruutkeskmise vea (σ) ja tõenäolise kõrvalekalde (TK) vahel järgmine seos:

$$\sigma = 1,48275 TK \quad (4.5)$$

Selleks et määrata sihtmärgi ühe raketiga tabamise tõenäosust P_1 (märgi raadius on R), võib valemit (4.3) teisendada järgmiselt. Asendame σ väärtuse TK kaudu ja saame:

$$P_1 = 1 - e^{-0,2273 \left(\frac{R}{TK}\right)^2}. \quad (4.6)$$

Märgi pihta tulistatud rakettide (mürskude jne.) arvu suurenemisega kasvab ka tõenäosus, et vähemalt üks rakett tabab. Selle tõenäosuse määrab valem:

$$P_n = 1 - (1 - P_1)^n, \quad (4.7)$$

kus n on väljatulistatud rakettide (mürskude) arv ja P_n on ühe raketi tabamise tõenäosus (üks rakett väljatulistatud n raketist).

Tähistades $\frac{R}{TK} = m$ ja lahendades koos võrrandid (4.6) ning (4.7), võib saada üldvalemi ühe raketiga (mürsuga) tabamise tõenäosuse arvutamiseks ringhajumise puhul:

$$P_n = 1 - e^{-0,2273m^2n}. \quad (4.8)$$

Mida suuremad on sihtmärgi mõõtmed ja mida väiksem on üks tõenäoline kõrvalekalle, seda suurem on märgi tabamise tõenäosus. Kui ringikujulise sihtmärgi raadius võrdub ühe tabamise tõenäolise kõrvalekaldega ($R = TK$), siis on niisuguse ringi tabamise tõenäosus $P_1 = 0,203$ (20,3%), kui $R = 2TK$, siis kasvab tõenäosus kuni $P_1 = 0,598$ (59,8%), kui $R = 3TK$, siis on ringi tabamise tõenäosus 0,871 (87,1%) jne.

Tabel 4.4

Märgi raadiusega R tabamise tõenäosus ringhajumise puhul, sõltuvalt väljatulistatud raketite arvust ja sihtmärgi raadiuse ning ühe tabamise tõenäolise kõrvalekalde suhtest

Suhe $\frac{R}{TK} = m$	Sihtmärgi tabamise tõenäosus (%), kui välja on tulistatud rakette				
	üks	kaks	kolm	neli	viis
0,25	1,4	2,8	4,2	5,5	6,8
0,5	5,6	10,9	16,0	20,7	25,1
0,75	12,0	22,6	31,9	40,0	47,2
1,0	20,3	36,5	49,4	59,7	67,8
1,1	24,1	42,5	56,4	67,0	75,0
1,2	28,0	48,2	62,7	73,2	80,7
1,3	31,9	53,6	69,1	79,0	85,7
1,4	35,9	58,9	73,6	83,2	89,2
1,5	40,1	64,1	78,5	87,1	92,3
1,6	44,2	68,8	82,6	90,3	94,6
1,7	48,2	73,2	86,1	92,8	96,3
1,75	50,2	75,2	87,6	94,0	97,0
1,8	52,1	77,1	89,0	94,7	97,5
1,9	56,0	80,6	91,5	96,3	98,4
2,0	59,8	83,8	93,5	97,4	99,0
2,1	63,3	86,5	95,0	98,2	99,3
2,2	66,7	88,9	96,3	98,8	99,6
2,3	69,9	90,9	97,3	99,2	—
2,4	73,0	92,7	98,0	99,5	—
2,5	75,8	94,1	98,6	99,7	—
2,6	78,6	95,4	99,0	—	—
2,7	81,0	96,4	99,3	—	—
2,8	83,3	97,2	99,5	—	—
2,9	85,2	97,8	99,7	—	—
3,0	87,1	98,3	—	—	—
3,2	90,4	99,1	—	—	—
3,4	92,7	99,5	—	—	—
3,6	94,7	99,7	—	—	—
3,8	96,3	—	—	—	—
4,0	97,4	—	—	—	—
4,5	99,0	—	—	—	—
5,0	99,7	—	—	—	—

Teiste sõnadega, raket, mille täpsust iseloomustab tõenäoline kõrvalekalle $TK = 1$ km, tabab ringi raadiusega $R = 3$ km tõenäosusega 0,871 (87,1%), s. o. 1000 raketist tabab seda ringi 871.

Arvuline seos tabamise tõenäosuse P_n , sihtmärgi raadiuse R , tõenäolise kõrvalekalde TK ja märgi pihta tulistatud raketite arvu n vahel, mis analüütiliselt on väljendatud valemite (4.6 ja 4.7), on toodud ära tabelis 4.4.

7. Pindmärgi hävitamiseks vajaliku plahvatusvõimsuse määramine

Ringi raadiusega R tabamise tõenäosus sõltub raketi täpsusest. Mida suurem on täpsus, seda väiksem võib olla märgi hävitamiseks vajaliku tuumalaengu võimsus. Teisest küljest, mida tugevamad on hävitatavad ehitised, seda suurem peab olema plahvatusvõimsus. Vaenlase poolt kasutatava tuumalaengu tõenäolise võimsuse hindamisel võetakse arvesse sihtmärgi suurus ja kuju, raketi tabamise täpsus ja plahvatusvõimsusega purustatavate ehitiste tugevus.

Võtnud endale eesmärgiks hävitada tuumarelva abil pindmärki, püüab vaenlane teha kindlaks selle ülesande täitmise tõenäosuse. Teades, kui suur on ühe raketi tõenäoline kõrvalekalle, võib leida tabamise tõenäosuse. Märgi hävitamise tõenäosus on niisugusel juhul võrdne teatud raadiusega ringi tabamise tõenäosusega, kui sihtpunkt langeb ühte selle ringi keskmega. Järelikult määrab märgi tabamise tõenäosuse P_m ja tõenäolise kõrvalekalde TK seose antud juhul hajumisringi suurus:

$$R_h = mTK, \quad (4.9)$$

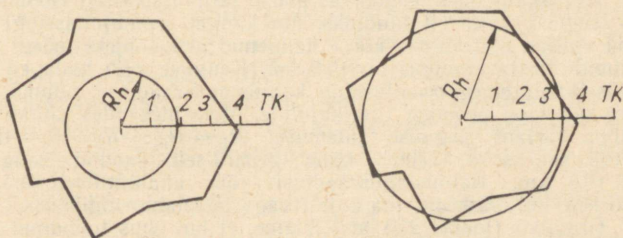
kus R_h on hajumisringi raadius; m — tõenäoliste kõrvalekallete arv (tabel 4.4); TK — ühe raketi tõenäolise kõrvalekalde suurus.

Näiteks kui raketi tõenäoline kõrvalekalle $TK = 1$ km ja ühe raketiga tabamise nõutav tõenäosus on 90%, siis võrdub hajumisringi raadius

$$R_h = mTK = 3,2 \cdot 1 = 3,2 \text{ km.}$$

Kui ühe tõenäolise kõrvalekalde suurus, rakettide arv ja tabamise nõutav tõenäosus on teada, siis on tuumalaengu võimsuse määramisel tarvis eelkõige määrata hajumisringi raadius ($R_h = mTK$).

Üldiselt võib rakett langeda ühesuguse tõenäosusega ükskõik missugusesse punkti hajumisringis. Kuid on otsustav eeldada, et vaenlane lähtub oma arvutustes sellest, et rakett langeb hajumisringi piirile (joonis 4.2). Niisuguse arvestuse korral suureneb märki hävitamise tõenäosus. Sõltuvalt pindmärgi nõutavast kahjustamistaskest ja ehitiste tugevusest, määratakse kindlaks kahjustamisraadius kui kaugus plahvatuskeskmest piirini, kus plahvatusel peab maapinnal tekkima teatud kindel ülerõhk. Teades kahjustamisraadiust ja rõhku maapinnale, saab graafiku (joonis 2.5) ja lihtsate arvutuste abil määrata plahvatuse võimsuse ja liigi, mille korral on kindlustatud ülesande täitmine nõutava tõenäosusega.

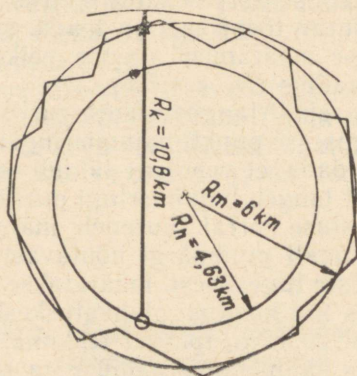


Joon. 4.2. Hajumisring sihtmärgi kahjustamisel.

Ulesanne. Märki, mille kaju on plaanil lähedane ringile ja $R = 6$ km, on tarvis tabada tõenäosusega 85%. Tuumarelva sihtmärgini toimetamiseks kasutatakse raketti, mille tõenäoline kõrvalekalle on 1,6 km. Määrata, missugune peab olema õhus toimunud tuumaplahvatuse võimsus, et hävitada märki territooriumil kõik objektid, mis purunevad, kui ülerõhk maapinnal on 2 kG/cm².

L a h e n d u s . 1. Tabelist 4.4 leiame, et märki tabamiseks ühe raketiga tõenäosusega 85% on suhe $\frac{R_h}{TK} = 2,9$. Järelikult kui $TK = 1,6$ km, siis võrdub hajumisringi raadius:

$$R_h = mTK = 2,9 \cdot 1,6 = 4,63 \text{ km.}$$



Joon. 4.3. Pindmärgi tabamine.

2. Joonistame ühes mõotkavas märgi ja hajumisringi (joonis 4.3) ning teeme graafiliselt kindlaks, kui kaugel on hajumisringi piirjoonel valitud epitsentrist kõige kaugemal asuv objekt märgi territooriumil. Vastav kaugus on 10,8 km. Kauguse võib leida ka analüütiliselt kui märgi raadiuse ja kahjustamisraadiuse summa, kusjuures märk on peaaegu ringikujuline. Meie ülesandes annab analüütiline variant järgmise tulemuse: $R_k = R_m + R_h = 6 + 4,63 = 10,63$ km, s. o. erineb vähe graafiliselt saadud kaugusest $R_h = 10,8$ km. Kahjustamisraadiust võib analüütiliselt määrata ainult siis, kui märk on oma kujult väga lähedane ringile.

3. Graafiku (joonis 2.5) abil leiame, et kui õhus toimunud plahvatuse võimsus $q_0 = 1$ Mt, siis ülerõhk $\Delta P = 0,2$ kG/cm² tekib epitsentrist $R_0 = 6$ km kaugusel. Vastavalt sarnasuse seadusele on võrdse ülerõhuga võõndite raadiuste suhe võrdeline plahvatuste võimsuste kuupjuurte suhtega.

Järelikult
$$\frac{R_k}{R_0} = \frac{\sqrt[3]{q}}{\sqrt[3]{q_0}},$$
 kus q on tuumaplahvatuse

otsitav võimsus. Kui $\frac{3}{\sqrt[3]{q_0}} = 1 \frac{3}{\sqrt[3]{q}} = \frac{R_k}{R_0} = \frac{10,8}{6} = 1,8$, siis plahvatuse otsitav võimsus, mille korral märgi hävitamise tõenäosus on 85%, võrdub:

$$q = (1,8)^3 = 5,8 \approx 6 \text{ Mt.}$$

8. Pindmärgi territooriumil asuvate üksikobjektide kahjustamistõenäosuse määramine

Kui pindmärgi nõutava tõenäosusega kahjustamiseks vajalik tuumaplahvatuse võimsus on välja arvatud, siis saab määrata sihtmärgi territooriumil (või väljaspool seda) asuva üksiku objekti kahjustumise või säilimise tõenäosuse. Selleks on tarvis teada märgi vastupidavust ja kaugust sihtmärgi keskmeni.

Kas objekti kahjustab tuumaplahvatuse lööklaine või valguskiirgus, seda hinnatakse antud tuumaplahvatuse kahjustamisraadiuse (R_k) järgi. Märgi kahjustamine sõltub samuti sellest, kui lähedal on objekt sihtpunktile ja missugune on tulistamisräpsus. Viimast hinnatakse raketi tõenäolise kõrvalekalde järgi. Mida kaugemal pindmärgi keskmenst on objekt, seda väiksem on tema tabamise tõenäosus.

Sihtmärgi ühe raketiga tabamise tõenäosust, sõltuvalt kahjustamisraadiuse R_k ja tõenäolise kõrvalekalde TK suurusest, samuti objekti kaugusest sihtpunktist x , võib määrata graafiku abil (joonis 4.4). Kui kahjustumise (või säilimise) tõenäosus on antud, siis võib selle graafiku abil, teades, kus objekt asub, määrata kindlaks kahjustamisraadiuse, järelikult ka konstruktsioonide nõutava tugevuse. Graafik on koostatud järgmiselt: abstsissiteljele on kantud plahvatuskeskme kauguse ja ühe tõenäolise kõrvalekalde suhe $\left(\frac{x}{TK}\right)$ ning ordinaatteljele kahjustamisraadiuse ja ühe tõenäolise kõrvalekalde suhe $\left(\frac{R_k}{TK}\right)$. Objekti kahjustamise tõenäosust iseloomustavad vastavad kõverad graafikul. Säilimise tõenäosuse võib arvutada valemi järgi:

$$N = 1 - P_1.$$

Ulesanne. Kaitseehitis puruneb osaliselt tuumaplahvatuse lööklaine toimel, kui ülerõhk maapinnal on 2 kG/cm^2 . Ehitis asub $x = 4,5$ kilomeetri kaugusel pindmärgi keskmenst. Määrata, missugune on ehitise purunemise tõenäosus, kui plahvatuse võimsus $q = 5 \text{ Mt}$ ja tõenäoline kõrvalekalle $TK = 3,0 \text{ km}$.

L a h e n d u s. 1. Ehitise kahjustamisraadiuse määrame graafiku (joonis 2.5) ja tabeli 2.6 järgi. Ehitise, mille kandevõime $\Delta P = 2 \text{ kG/cm}^2$, kahjustamisraadius on maapealse plahvatuse korral $q = 1 \text{ Mt}$ $R_{0k} = 1,8 \text{ km}$ (joonis 2.5). Kahjustamisraadius, kui $q = 5 \text{ Mt}$, võrdub:

$$R_h = R_{0k} = \sqrt[3]{q} = 1,8 \times 1,71 = 3,1 \text{ km}.$$

2. Kahjustamisraadiuse ja tõenäolise kõrvalekalde suhe:

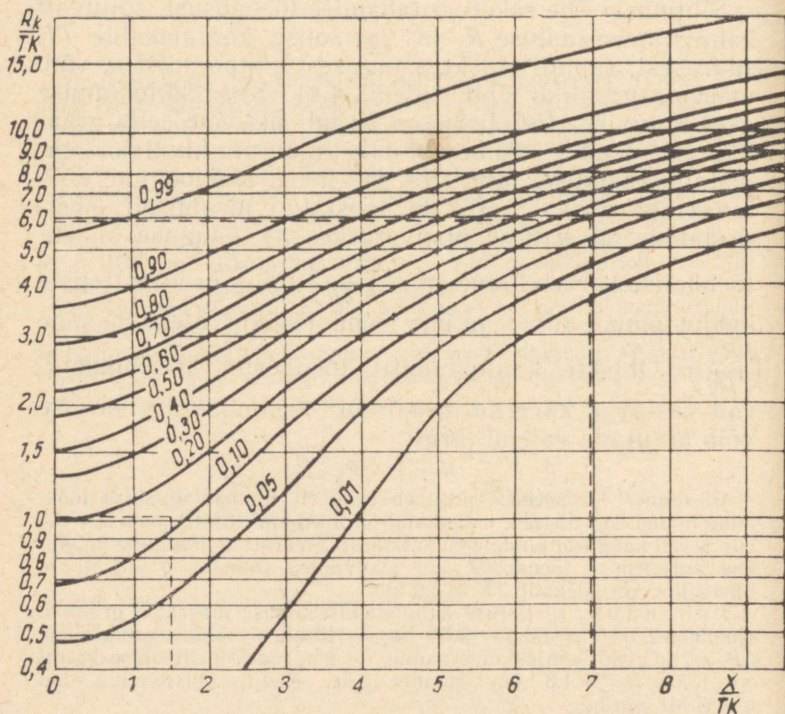
$$\frac{R_k}{TK} = \frac{3,1}{3,0} \approx 1.$$

3. Objekti kauguse ja tõenäolise kõrvalekalde suhe on:

$$\frac{x}{TK} = \frac{4,5}{3} = 1,5.$$

4. Väärtuste $\frac{R_k}{TK} = 1$ ja $\frac{x}{TK} = 1,5$ järgi leiame jooniselt 4.4, et objekti kahjustamistõenäosus $P_1 = 0,12$ ehk 12% ja säilimise tõenäosus

$$N = 1 - P_1 = 1 - 0,12 = 0,88 \text{ ehk } 88\%$$



Joon. 4.4. Graafik üksikobjekti kahjustamistõenäosuse määramiseks.

Objekti kahjustamistõenäosuse valguskiirguse mõjul saab samuti määrata graafiku (joonis 4.4) abil. Selleks määratakse kahjustamisraadius sõltuvalt kahjustava valgusimpulsi suuruselt ja plahvatuse võimsusest ning liigist nomogrammi (joonis 2.11) järgi. Ülejäänus on arvutused analoogilised tuumaplahvatuse lööklaine kahjustamistõenäosuse arvutustega.

Ulesanne. Määrata tulekahju tekkimise tõenäosus objektil, mis asub $x = 14$ km kaugusel linna keskmest, kui õhus toimunud plahvatuse võimsus on 1 Mt ja süttimine toimub valgusimpulsi $U = 9$ cal/cm² toimel; ühe tabamuse tõenäoline kõrvalekalle $TK = 2$ km.

L a h e n d u s. 1. Nomogrammist (joonis 2.11) leiame, et valgusimpulssi $U = 9$ cal/cm² täheldatakse 1 Mt õhus toimunud tuumaplahvatuse puhul linnatingimustes 12 km (R_h) kaugusel.

2. Suhe $\frac{x}{TK} = \frac{14}{2} = 7$.

3. Suhe $\frac{R_h}{TK} = \frac{12}{2} = 6$.

4. Graafikult (joonis 4.4) leiame, et nendes tingimustes on tulekahjude tekkimise tõenäosus

$$P_1 = 0,2 \text{ (ehk } 20\%).$$

9. Mõningad arvutused, mis on vajalikud radiatsiooniolukorra hindamiseks

Radioaktiivsete sadestuste piirkonna prognoosimine. Eespool oli märgitud, et elanikkonna radiatsioonikaitseabinõude planeerimisel on üheks tähtsamaks elemendiks radioaktiivsete ainetega saastuva piirkonna prognoosimine. Kui see piirkond on kindlaks määratud, siis saavad tsiviilkaitse staabid õigeaegselt, s. o. enne radioaktiivse pilve saabumist hoiatada elanikkonda ähvardava ohu eest ja võtta tarvitusele abinõud inimeste kaitseks.

Radiatsiooniolukorra prognoosimiseks on tarvis teada tuumalaengu võimsust, plahvatuse liiki ja selle koordinaate, keskmise tuule kiirust ning suunda.

Saastumispiirkondade prognoosimise meetodikat ideaalsete kontuuridega etalonintensiivsuse korral ja sarnasuse seaduste kasutamisega kirjeldati eespool. Vaatleme näidete varal selle praktilist kasutamist.

Ulesanne. Lähteandmed: termotuumalaengu maapealne plahvatus võimsusega 10 Mt. Keskmise tuule kiirus kihtides 0...12 km ja 0...30 km on 50 km/h.

Määrata: 1) saastumispiirkondade kontuuride mõõtmed, kus radiatsioonitase 1 tund pärast plahvatust (doosi etalonvõimsus) on 5000, 500, 50 ja 0,5 r/h;

2) saastumispiirkondade mõõtmed 4, 12 ja 24 tundi pärast plahvatust ja missugune on radiatsioonitase nimetatud ajal;

3) saastumiskontuuri raadius, kus radiatsioonitase pealtuuleküljes on 1, 10 ja 100 r/h.

Lahendus. Plahvatuse võimsus oli 10 Mt. Et tegemist on termotuumarelvaga, siis ainult 50% energiast vabaneb lõhustumisenergia näol. Järelikult on 10 Mt termotuumapommi summaarne radioaktiivsus võrdne viie tuumapommi radioaktiivsusega, millest igauhe võimsus on 1 Mt.

Kasutades sarnasuse seadust [võrrand (2.6)] ja joonist 2.17 või tabelit 2.14, leiame, et 10 Mt termotuumaplahvatuse korral on kontuurid, kus radiatsioonitase on 5000, 500, 50 ja 0,5 r/h, mõõdetelt võrdsed kontuuridega, kus 1 Mt tuumaplahvatuse puhul on radiatsioonitase vastavalt 1000, 100, 10 ja 0,1 r/h. Märgime need andmed tabelisse 4.5.

Tabel 4.5

Saastumisvööndite mõõtmed 1- ja 10-megatonnise võimsusega tuumaplahvatuse puhul (keskmise tuule kiirus on 24 km/h)

Kontuuri number	Plahvatuse võimsus 1 Mt			Plahvatuse võimsus 10 Mt		
	radiatsioonitase, r/h	kontuuri mõõtmed, km		radiatsioonitase, r/h	kontuuri mõõtmed, km	
		pikkus	laius		pikkus	laius
1	1000	67	16	5000	67	16
2	100	192	29	500	192	29
3	10	480	69	50	480	68
4	1	708	90	5	708	90
5	0,1	853	98	0,5	853	98

Nimetatud radiatsioonitasemetega kontuuride lõplike mõõtmete saamiseks tuleb teha keskmise tuule kiirusest tingitud parandus:

$$K_v = \sqrt{\frac{50}{v}} = \sqrt{\frac{50}{24}} = 1,44.$$

Korrutanud kontuuride parameetrite vastavaid väärtusi 1,44-ga, saame saastumisvööndite tegelikud mõõtmed üks tund pärast plahvatust radiatsioonitasemetega 5000, 500, 50, 5 ja 0,5 r/h (tabel 4.6).

Tabel 4.6

Saastumisvööndite mõõtmised 1 tund pärast 10-megatonnise võimsusega termotuuma laengu plahvatamist (keskmise tuule kiirus on 50 km/h)

Radiatsioonitase, r/h	Vööndite mõõtmised, km	
	pikkus	laius
5000	96	23
500	280	42
50	690	98
5	1000	130
0,5	1230	140

Saastunud piirkondade ja radiatsioonitasemete määramine 4, 12 ja 24 tundi pärast plahvatust

Kui vööndite mõõtmised ja radiatsioonitasemed 1 tund pärast plahvatust on teada, siis on tabeli 2.12 või võrandi (2.5) järgi lihtne arvutada radiatsioonitaset ükskõik missugusel ajahetkel pärast plahvatust.

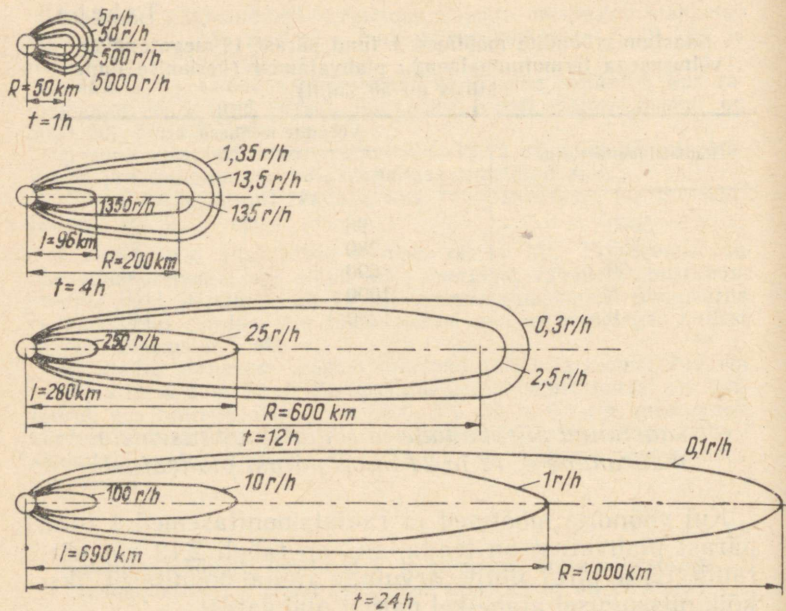
Meie ülesandes on tarvis määrata radiatsioonitase 4, 12 ja 24 tundi pärast plahvatust.

Tabelist 2.12 leiame, et 4 tundi pärast plahvatust on radiatsioonitase 27%, 12 tundi pärast plahvatust 5% ja 24 tundi pärast plahvatust 2% radiatsioonitasemest, mis oli 1 tund pärast plahvatust. Kui korrutada radiatsioonitaset, mis oli 1 tund pärast plahvatust, nimetatud koefitsientidega, saame radiatsioonitaseme meid huvitaval ajahetkel (tabel 4.7).

Tabel 4.7

Radiatsioonitase 1, 4, 12 ja 24 tundi pärast plahvatust

Kontuuri number	Radiatsioonitase, r/h			
	1 tund pärast plahvatust	4 tundi pärast plahvatust	12 tundi pärast plahvatust	24 tundi pärast plahvatust
1	5000	1350	250	100
2	500	135,0	25	10
3	50	13,5	2,5	1,0
4	5	1,35	0,3	0,1
5	0,5	0,14	0,03	0,01



Joon. 4.5. 10-megatonnise maapealse termotuumaplahvatuse radioaktiivse pilve jälje ehitamise skeem (keskmise tuule kiirus on 50 km/h).

Nüüd on tarvis teha kindlaks saastumisvööndite mõõtmed 1, 4, 12 ja 24 tundi pärast plahvatust. Kui pilve liikumiskiirus on 50 km/h, siis on jälje pikkus 1 tund pärast plahvatust 50 km, nelja tunni pärast 200 km, 12 tunni pärast 600 km ja 24 tunni pärast 1200 km.

Kui radioaktiivse pilve liikumissuund on teada, siis, kasutades saadud andmeid vööndite mõõtmete ja radiatsioonitaseme kohta nende piiril, on lihtne kanda kaardile piirkonnad, kus võib eeldada radioaktiivset saastumist. Saastumisvööndite mõõtmed koos radiatsioonitasemega erinevatel ajahetkedel on näidatud joonisel 4.5.

Saastumiskontuuride määramine maa-alal, mis asub plahvatuskeskme suhtes vastutuult (radiatsioonitasemed vastavalt 1, 10 ja 100 r/h)

Graafikust (joonis 2.19) leiame, et 10-megatonnise võimsusega plahvatuse puhul on kontuuride raadius, kus radiatsioonitase on 1, 10 ja 100 r/h, vaikse ilmaga vastavalt 34, 26 ja 17 kilomeetrit.

Tuule kiirusel 50 km/h liigub nimetatud kontuuride kese tuule suunas edasi

$$l = \frac{n}{u} \cdot v = \frac{12}{30} \cdot 50 = 20 \text{ km.}$$

Järelikult on radiatsioonitaseme 1 r/h piir plahvatuskeskmest faktiliselt 14 km (34—20) ja piir, kus radiatsioonitase on 10 r/h, 6 km (26—20) kaugusel. Mis puutub radiatsioonitasemesse 100 ja enam röntgenit tunni kohta, siis niisugune tase esineb plahvatuskeskme suhtes ainult allatuult, sest radiatsioonitasemega 100 r/h kontuuri nihkumise kaugus keskmise tuule mõjul on üle 17 kilomeetri.

Proгноosimise vaadeldud varianti, nagu kõiki teisigi, kasutatakse oletatavate saastumisvööndite määramiseks ja mõningatel tingimustel võib see anda positiivseid tulemusi. Kuid maastiku konkreetne radioaktiivne saastumine sõltub paljudest teguritest, mida radiatsiooniolukorra prognoosimisel ei saa arvesse võtta.

Epitsentri läheduses võib radioaktiivse saastumise astet mõjutada indutseeritud radioaktiivsus, mis sõltub lõhustumis- ja sünteesireaktsioonide vahekorra, tuumaplahvatuse kõrgusest ja pinnase iseloomust.

Pilve jäljes võivad esineda üksikud piirkonnad, kus radiatsioonitase on prognoositust kõrgem. Neid prognoosida ei ole võimalik. Mõnikord on kõige kõrgema radiatsioonitasemega ala megatonnise plahvatuse korral plahvatuskeskmest teataval kaugusel allatuult. Niisuguste alade tekkimine sõltub reast tingimustest.

Linnades ja suurtes asulates võib radiatsioonitase hoonete ja puude ekraniseeriva toime tõttu olla prognoositust 20...30% madalam.

Oluliselt mõjutab radioaktiivse saastumise prognoose ilmastikutingimuste muutumine sadestumise ajal ja erineval kaugusel plahvatuskohast. Keskmise tuule suuna

ja kiiruse muutumine mõjutab järsult radioaktiivse pilve liikumise suunda ja kiirust. Keskmise tuule parameetrite määramisel tekkinud vead mõjutavad prognoosimise tulemusi.

Võttes arvesse prognoosimismeetodi puudusi ja tulemuste ebatäpsust, tehakse igal juhul pärast tuumaplahvatust radiatsiooniluuret, mille eesmärgiks on saada täpsemaid andmeid saastumise ulatuse ja kiirguse intensiivsuse kohta erinevates punktides (asulates). Radiatsiooniluuret teevad eri-allüksused, kes on varustatud dosimeetriliste seadmetega. Kõige kiiremini saab andmeid kiiritusdoosi võimsuse kohta suurte maa-alade ulatuses õhuluurelt. Peale selle võib õhuluuret teha seal, kus maapealne luure ei saa kõrge radiatsioonitaseme tõttu tegutseda. Kui lennuk või helikopter lendab 500 m kõrgusel, siis väheneb radiatsioonitase 100 korda, kui aga lennukõrgus on 900 meetrit, siis 1000 korda. Gammakiirguse nõrgenemiskoeffitsiendid teiste kõrguste jaoks on toodud tabelis 4.8.

Tabel 4.8

Gammakiirguse nõrgenemiskoeffitsiendid sõltuvalt kõrgusest

Kõrgus, m	Nõrgenemiskoeffitsient	Kõrgus, m	Nõrgenemiskoeffitsient
50	2,5	300	27
100	5	400	60
150	7	500	100
200	12	900	1000
250	20		

Radiatsioonitaseme alanemise kontroll. - Radioaktiivsete ainete lagunemise tulemusena alaneb radiatsioonitase aja jooksul. Taseme alanemise kontroll on vajalik mitmesuguste tähtsate ülesannete lahendamisel, nagu saastunud maa-alal viibinud inimeste kiiritusdoosi arvutamine, ohutu tööaja kestuse määramine saastunud maa-alal, aja määramine, millal võib pärast plahvatust minna saastunud maa-alale.

Radiatsioonitaseme alanemist arvutatakse valemi (2.5) järgi:

$$P_2 = P_1 \left(\frac{t_2}{t_1} \right)^{-1,2}, \quad (4.10)$$

kus P_2 on otsitav radiatsioonitase ajahetkeks t_2 pärast plahvatust (r/h); P_1 — dosimeetriteliste mõõteriistade abil mõõdetud radiatsioonitase t_1 tundi pärast plahvatust (r/h).

Teades radiatsioonitaset mingil ajahetkel pärast tuumaplahvatust, saab määrata radiatsioonitaset ükskõik missuguse ajavahemiku jaoks.

Ulesanne. 5 tundi pärast tuumaplahvatust mõõdeti asula territooriumil radiatsioonitaset ja saadi 50 r/h. Kui kõrge on radiatsioonitase 10 ja 20 tundi pärast plahvatust?

L a h e n d u s. Leiame algul radiatsioonitaseme 10 tundi pärast plahvatust:

$$P_2 = P_1 \left(\frac{t_2}{t_1} \right)^{-1,2} = 50 \left(\frac{10}{5} \right)^{-1,2};$$

$$\log P_2 = \log 50 + (-1,2 \log 2) = 1,32;$$

$$P_2 = 21 \text{ r/h.}$$

Analoogiliselt leiame radiatsioonitaseme 20 tundi pärast plahvatust; see on 0,5 r/h.

Radiatsioonitaseme määramisega seotud arvutuste kiirendamiseks ja lihtsustamiseks on otstarbekohane kasutada tabelis 2.12 toodud andmeid. Kui radiatsioonitase ükskõik missugusel ajahetkel pärast tuumaplahvatust on teada, siis saab tabeli abil arvutada radiatsioonitaseme kõigi teiste ajahetkede jaoks.

Tabeli kasutamist vaatleme ülesande v~~a~~ral.

Ulesanne. Mõõtmisega tehti kindlaks, et 5 tundi pärast tuumaplahvatust oli radiatsioonitase $P_1 = 30$ r/h. On tarvis kindlaks teha, kui kõrge on radiatsioonitase samas kohas 10 tundi pärast plahvatust.

L a h e n d u s. Selleks et leida radiatsioonitaset 10 tundi pärast plahvatust, on tarvis määrata, kui kõrge oli radiatsioonitase antud punktis 1 tund pärast plahvatust (P_0). Tabelist 2.12 leiame, et 5 tundi pärast plahvatust moodustab radiatsioonitase 14,5% sellest radiatsioonitasemest, mis oli seal 1 tund pärast plahvatust.

Leiame radiatsioonitaseme 1 tund pärast plahvatust:

$$P_0 = \frac{P_1 \cdot 100}{14,5} = \frac{30 \cdot 100}{14,5} = 207 \text{ r/h.}$$

Pärast seda leiame samast tabelist, et 10 tundi pärast plahvatust moodustab radiatsioonitase 6,3% sellest radiatsioonitasemest, mis oli antud punktis 1 tund pärast plahvatust.

Järelikult on 10 tundi pärast tuumaplahvatust radiatsioonitase:

$$P_2 = \frac{P_0 \cdot 6,3}{100} = \frac{207 \cdot 6,3}{100} = 13,1 \text{ r/h.}$$

Niisuguste ülesannete lahendamisel võib vältida vahepealseid arvutusi, s. t. ei ole vaja radiatsioonitaset taandada 1 tunnile pärast tuumaplahvatust. Selle asemel võib kasutada suhet:

$$P_2 = \frac{P_1 \cdot n_2}{n_1}, \quad (4.11)$$

kus n_1 ja n_2 on suhtelised radiatsioonitasemed ajahetkedel t_1 ja t_2 .

Tabelit 2.12 võib samuti kasutada aja määramiseks, mille jooksul radiatsioonitase saavutab teatud kindla väärtuse. Oletame, et 5 tundi pärast plahvatust mõõdeti kiiritusdoosi võimsust ja saadi 10 r/h. On tarvis kindlaks teha, missuguse aja jooksul väheneb kiirguse intensiivsus 2 r/h-ni.

Tabelist 2.12 leiame suhtelise radiatsioonitaseme 5 tundi pärast plahvatust (n_1); see on 14,5.

Kui P_1 , P_2 ja n_1 on teada, leiame suhtelise radiatsioonitaseme n_2 , mis vastab otsitavale ajahetkele:

$$n_2 = \frac{P_2 \cdot n_1}{P_1} = \frac{2 \cdot 14,5}{10} = 2,90.$$

Samast tabelist leiame arvu 2,90 järgi aja, mis peab mööduma tuumaplahvatuse hetkest, selleks et radiatsioonitase alaneks 2 r/h-ni; see on 19 tundi. Järelikult alaneb radiatsioonitase 2 r/h-ni järgneva 14 tunni jooksul.

Kiiritusdooside arvutamine ja radioaktiivse saastumise vööndites viibimise aja määramine. Inimeste radioaktiivse kiirguse vastase kaitse korraldamisel on vaja kindlaks teha kas maksimaalselt lubatud aeg, mille vältel võib viibida saastunud vööndis, ilma et saadav kiiritusdoos ületaks lubatud normi, või kiiritusdoosi suurus, mille inimene saab teatud aja jooksul.

Kiiritusdoos, mille saavad avamaastikul töötavad inimesed, sõltub doosi võimsusest ja saastatud vööndis viibimise ajast ning väljendub lihtsa valemiga:

$$D = P \cdot t, \quad (4.12)$$

kus P on radiatsioonitase (doosi võimsus) r/h-des ja t kiirituse kestus tundides.

Valem on õige tingimusel, et radiatsioonitase jääb kogu aeg suhteliselt samale tasemele või muutub väga vähe. Valemit võib kasutada kiiritusdooside arvutamiseks siis, kui radioaktiivse sadestumise hetkest on möödunud üle ühe ööpäeva ja kiirituse kestus ei ületa mõnda tundi.

Kui avamaastikul tuleb töötada esimesel ööpäeval (eriti aga esimeste tundide jooksul) pärast tuumaplahvatust, s. o. siis, kui radiatsioonitase alaneb kiiresti ja kiiritusdoos peab olema täpsemalt arvutatud, kasutatakse võrrandit:

$$D = 5Pt^{1,2} \cdot (t_1^{-0,2} - t_2^{-0,2}), \quad (4.13)$$

kus D on kiiritusdoos, mis saadakse aja $t_1 - t_2$ jooksul röntgenites; t_1 ja t_2 on vastavalt kiirituse algus ja lõpp tundides; P on radiatsioonitase, mis on mõõdetud aja hetkel t röntgenites tunni kohta.

Vaatleme avamaastikul saadud kiiritusdoosi arvutamist ülesande varal.

Ulesanne: Formeeringu isikuline koosseis saabus varjest töökohta 5 tundi pärast tuumaplahvatust. Tööde piirkonnas oli sel ajal radiatsioonitase 6 r/h. Määrata saadav kiiritusdoos, kui on teada, et töötatakse 3 tundi.

Lahendus. Valemi 4.13 järgi leiame, et doos, mille saavad töölised kolme tunni jooksul, võrdub:

$$D = 5 \cdot 6 \cdot 5^{1,2} \left(\frac{1}{5^{0,2}} - \frac{1}{8^{0,2}} \right) = 14,3 \text{ r.}$$

Väärtused $t^{1,2}$ ja $t^{-0,2}$ on toodud tabelis 4.9.

Arvutamise kiirendamiseks võib lähtuda keskmisest radiatsioonitasemest (P_k). Keskmise radiatsioonitase on tööde alguses ja lõpus mõõdetud radiatsioonitasete aritmeetiline keskmine:

$$P_k = \frac{P_a + P_l}{2},$$

kus P_a ja P_l on vastavad radiatsioonitasemed r/h-des tööde alguses ja lõpus.

Suuruste $t^{1,2}$ ja $t^{-0,2}$ väärtused

t	$t^{1,2}$	$t^{-0,2}$	t	$t^{1,2}$	$t^{-0,2}$	t	$t^{1,2}$	$t^{-0,2}$
1,0	1,00	1,000	7,0	10,35	0,680	14,0	23,56	0,590
1,5	1,62	0,920	7,5	11,22	0,670	15,0	25,70	0,581
2,0	2,30	0,870	8,0	12,10	0,660	16,0	27,80	0,574
2,5	3,00	0,830	8,5	12,98	0,654	17,0	31,50	0,567
3,0	3,72	0,805	9,0	13,90	0,644	18,0	32,00	0,561
3,5	4,50	0,780	9,5	14,84	0,638	19,0	34,10	0,555
4,0	5,27	0,757	10,0	15,83	0,632	20,0	36,42	0,548
4,5	6,08	0,740	10,5	16,80	0,625	21,0	38,60	0,543
5,0	6,96	0,728	11,0	17,78	0,620	22,0	40,90	0,538
5,5	7,73	0,710	11,5	18,70	0,614	23,0	43,00	0,534
6,0	8,60	0,700	12,0	19,86	0,607	24,0	45,40	0,530
6,5	9,42	0,690	13,0	21,80	0,599			

Kui keskmine radiatsioonitase on teada, siis on lihtne arvutada, missuguse kiiritusdoosi saavad inimesed saastatud territooriumil töötamise ajal:

$$D = P_k t, \quad (4.14)$$

kus t on töötamise aeg tundides.

Vaatleme valemi kasutamist eelmise ülesande tingimustel.

Ülesanne. Selleks et määrata kiiritusdoosi kolme tunni jooksul, s. o. ajavahemikus 5-st kuni 8 tunnini pärast tuumaplahvatust, on tarvis kindlaks teha radiatsioonitase tööde lõpuhetkeks. Tabelist 2.12 leiame P_l :

$$P_l = P_{t=8h} = \frac{6 \cdot 8,2}{14,5} = 3,4 \text{ r/h.}$$

Kui radiatsioonitase tööde alguses ja lõpus on teada, siis arvutame kiiritusdoosi:

$$D = \frac{P_a + P_l}{2} \cdot t = \frac{6 + 3,4}{2} \cdot 3 = 14,1 \text{ r.}$$

Valemi (4.13) abil saadud tulemus on mõnevõrra suurem tulemusest, mille saime valemi (4.14) järgi, kuid erinevus ei ületa mõnda protsenti, vaid jääb lubatud piiresse.

Kiiritusdooside arvutamisel, kui need on saadud töötamise tootmishoonetes või puhkamise ajal kaitsehi-

tistes, tuleb hoonete ja ehitiste piirkonnas oleva radiatsioonitaseme järgi leitud kiiritusdoos jagada vastava nõrgendamiskoeffitsiendiga K . Niisugusel juhul kirjutame valemi (4.14) üles järgmiselt:

$$D = \frac{P_k \cdot t}{K}. \quad (4.14, a)$$

Kiiritusdooside arvutamine nõrgendamiskoeffitsiendi arvestamisega on näidatud järgmise ülesande korral.

Ülesanne. Määrata, missuguse kiiritusdoosi saavad kivihoones puhkavad inimesed, kui on teada: 1) puhkus algas 24 tundi pärast tuumaplahvatust; 2) 5 tundi pärast plahvatust oli dosimeetriliste mõõteriistadega mõõdetud radiatsioonitase hoonete piirkonnas 50 r/h; 3) puhkuse kestus — 6 tundi. Kivihoonete nõrgendamiskoeffitsient $K = 10$ (tabel 4.3).

Lahendus. Selleks et määrata kiiritusdoosi 6 tunni jooksul, arvutame välja, missugune oli radiatsioonitase 24 ja 30 tundi pärast tuumaplahvatust ($P_{t=24h}$, $P_{t=30h}$).

Tabelist 2.12 leiame:

$$P_0 = P_{t=1h} = \frac{P_{t=5h} \cdot 100}{14,5} = \frac{50 \cdot 100}{14,5} = 345 \text{ r/h.}$$

$$P_a = P_{t=24h} = \frac{P_0 \cdot 2,2}{100} = \frac{345 \cdot 2,2}{14,5} = 7,6 \text{ r/h.}$$

$$P_t = P_{t=30h} = \frac{P_0 \cdot 1,69}{100} = \frac{345 \cdot 1,69}{100} = 5,8 \text{ r/h.}$$

Arvutanud radiatsioonitasemed kiirituse alguses ja lõpus, leiame valemi (4.14, a) abil kiiritusdoosi:

$$D = \frac{P_k \cdot t}{K} = \frac{P_a + P_t}{2K} \cdot t = \frac{7,6 + 5,8}{2 \cdot 10} \cdot 6 = 4 \text{ r.}$$

Selleks et määrata saastunud võõndis viibimise lubatud aega, võib kasutada tabeli 4.10 andmeid.

Niisuguste ülesannete lahendamiseks on tarvis teada radiatsioonitaset saastunud võõndisse sisenemishetkel ja kehtestatud kiiritusdoosi normi.

Oletame, et radioaktiivse saastumise võõndis tuleb töid alustada 10 tundi pärast tuumaplahvatust. Sel ajal oli radiatsioonitase 5 r/h. Lubatud kiiritusdoos on 10 r. On tarvis määrata, kui kaua võivad inimesed töötada saastunud võõndis.

Lubatud viibimisaeg radioaktiivsete ainetega saastunud piirkonnas (tundides)

D ¹ P	Saastunud maa-alale mineku aeg (tundides pärast plahvatust)																				
	0,1	0,2	0,5	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15	20	24	30	40		
0,2	1,2	0,4	0,3	0,25	0,25	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	
0,3	9,7	1,0	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
0,4	312,4	2,4	0,7	0,5	0,5	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
0,5	∞	6,0	1,0	0,7	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
0,6		19,3	1,4	0,9	0,7	0,7	0,7	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
0,7		82,0	2,1	1,1	0,9	0,8	0,8	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
0,8		624,0	2,9	1,4	1,0	0,9	0,9	0,9	0,9	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
0,9		2000,0	4,0	1,7	1,2	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
1,0		∞	6,0	2,0	1,4	1,2	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1
1,25			15,0	3,2	1,9	1,6	1,5	1,4	1,4	1,4	1,4	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3
1,5			48,0	5,0	2,5	2,1	1,9	1,8	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,5
2,0			1562,0	12,0	4,0	3,2	2,8	2,6	2,5	2,4	2,3	2,3	2,3	2,2	2,2	2,2	2,2	2,1	2,1	2,1	2,0
2,5			∞	31,0	6,6	4,5	3,8	3,5	3,3	3,1	3,0	3,0	3,0	2,8	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,6
3,0				96,0	10,0	6,0	5,0	4,5	4,2	4,0	3,8	3,7	3,7	3,5	3,4	3,3	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2
4,0				3124,0	23,7	11,0	8,0	7,0	6,2	6,6	5,5	5,3	5,2	5,0	4,7	4,5	4,4	4,3	4,3	4,2	4,2
6,0				∞	193,0	36,0	20,0	15,0	12,0	11,0	10,0	9,5	9,0	8,3	7,7	7,2	7,0	6,8	6,8	6,5	6,5
10,0 ²					∞	730,0	124,0	60,0	40,0	30,0	26,0	22,5	21,5	18,0	16,0	14,0	13,0	12,5	11,7	11,7	11,7

¹ Lubatud kiiritusdoosi (röntgenites) ja radiatsiooni taseme (röntgenites tunni kohta) suhe hetkel, mil siseneti radioaktiivselt saastunud piirkonda.

Ülesande lahendamiseks leiame lubatud doosi ja radiatsioonitaseme suhte $\left(\frac{D}{P}\right)$, mis võrdub $\frac{10}{5} = 2$. Arvule 2 vastava horisontaalrea ja saastunud maa-alale mineku ajale (10 tundi) vastava vertikaalrea lõikumispunkti loeme lubatud töötamisaja pikkuse. See on 2,3 tundi.

Tuumaplahvatuse aja määramine. Radiatsiooniolukorra hindamisel ei ole alati käepärast andmeid selle kohta, millal toimus tuumaplahvatus, mille tulemusena tekkis radioaktiivne saastumine. Niisugusel juhul võib tuumaplahvatuse aja määrata tabeli 4.11 järgi.

Tuumaplahvatuse aja määramiseks on tarvis kahte erineval hetkel mõõdetud radiatsioonitaset.

Tabel 4.11

Aeg, mis on möödunud tuumaplahvatusest kuni esimese mõõtmiseni (tundides)

Δt	Suhte P_1/P_2								
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
0,5	—	—	—	—	—	0,9	1,5	2,5	6,25
1	—	—	—	0,9	1,3	1,9	2,9	5,0	12,5
2	—	—	1,1	1,7	2,6	3,8	5,9	10,0	25,0
3	—	1,0	1,7	2,6	3,8	5,7	8,8	15,0	37,5
4	—	1,4	2,3	3,5	5,1	7,5	11,8	20,0	50,0
5	0,9	1,8	2,9	4,3	6,4	9,4	14,7	25,0	62,5
6	1,0	2,1	3,4	5,2	7,7	11,3	17,7	30,0	75,0
7	1,2	2,5	4,0	6,1	9,0	13,2	20,6	35,0	87,5
8	1,4	2,8	4,6	7,0	10,2	15,1	23,6	40,0	100,0
9	1,5	3,2	5,2	7,8	11,5	17,0	26,5	45,0	112,5
10	1,7	3,5	5,7	8,7	12,8	18,9	29,4	50,0	125,0
12	2,0	4,2	6,9	10,4	15,4	22,6	35,3	60,0	150,0

Ülesanne. Kell 12.00 mõõdeti asula territooriumil radiatsioonitaset, mis oli $P_1 = 50$ r/h; kuus tundi hiljem, s. o. kell 18.00 oli radiatsioonitase (P_2) samas kohas 17 r/h. Määrata, millal toimus tuumaplahvatus, mille tulemusena objekti territoorium saastus radioaktiivsete ainetega (tabel 4.11).

Lahendus. Tuumaplahvatuse aja määramiseks leiame suhte

$$\frac{P_2}{P_1} = \frac{17}{50} = 0,34.$$

Tabelis vastab ajavahemikule mõõtmiste vahel $\Delta t = 6$ h ja suhtele $\frac{P_2}{P_1} = 0,3$ aeg 3,4 tundi, suhtele $\frac{P_2}{P_1} = 0,4$ aeg 5,2 tundi. Interpoleerimise teel leiame, et suhtele $\frac{P_2}{P_1} = 0,34$ vastab aeg 4,1 tundi. Järelikult tehti esimene mõõtmine 4,1 tundi pärast plahvatust. Plahvatus toimus kell 8.00.

KIRJANDUS

- Венцель Е. С. Теория вероятностей. М., Изд-во «Наука» 1965.
- Венцель Е. С. Элементарное введение в теорию операций. М., «Советское радио» 1964.
- Гречушкина М. П. Таблицы состава продуктов мгновенного деления ^{235}U , ^{238}U , ^{239}Pu . М., Атомиздат 1964.
- Иванов А. И., Рыбкин Г. И. Поражающее действие ядерного взрыва. М., Воениздат 1960.
- Кириллов В. И. Бомбометание. М., Воениздат 1960.
- Краткая энциклопедия «Атомная энергия». М., Изд-во «Большая советская энциклопедия» 1958.
- Лэпп Р. Убийство и сверхубийство (перев. с англ.). М., Воениздат 1964.
- Оценка радиационной обстановки на объекте народного хозяйства. «Военные знания», № 4 (1964).
- Последствия взрыва атомной бомбы в Хиросиме (перев. с англ.). М., Изд-во иностр. лит. 1960.
- Цунами и ядерный взрыв. «Военные знания», № 10 (1964).
- The Effects of Nuclear Weapons. Samuel Glasstone Editor, Washington 1962.
-

SISUKORD

Eessõna	5
-------------------	---

I. TUUMAMUUNDUMISED

1. Aatomi ja aatomituuma ehitus	7
2. Radioaktiivsus	11
3. Radioaktiivse kiirguse omadused	14
4. Radioaktiivse lagunemise seadus	19
5. Tuumaenergia vabanemine	22

II. TUUMAPLAHVATUSE KAHJUSTAVAD TEGURID JA NENDE PARAMEETRITE ARVUTAMINE

1. Tuumaplahvatuse liigid	28
2. Tuumaplahvatuse peamised kahjustavad tegurid	36
3. Õhus leviv lööklaine	37
4. Lööklaine vees	49
5. Gravitatsioonilised pinnalained	50
6. Valguskiirgus	53
7. Tuumaplahvatuse radioaktiivsuse allikad	58
8. Läbiv radiatsioon (primaarne tuumakiirgus)	61
9. Paikkonna radioaktiivse saastumise iseloom tuumaplahvatusel	66

III. TUUMAPLAHVATUSE PURUSTAV JA KAHJUSTAV TOIME

1. Lööklaine toime hoonetesse ja ehitistesse	81
2. Valguskiirguse toime esemetesse ja ainetesse	92
3. Tuumaplahvatusel tekkivad tulekahjud	94
4. Tuumaplahvatuse toime inimestesse	97
5. Lööklaine otsene toime	99
6. Lööklaine kaudne toime	100
7. Valguskiirguse toime inimesesse	104

8. Tuumaplahvatustest tingitud kaotused	108
9. Tuumakolde üldine iseloomustus	110
10. Radioaktiivse kiirguse kahjustav toime	112

IV. TUUMARELVA EEST KAITSMISE PÕHIMÕTTED

1. Kaitse korraldamise võimalikud teed	118
2. Kaitse lööklaine eest	119
3. Kaitse valguskiirguse eest	124
4. Kaitse radioaktiivse kiirguse eest	127
5. Märgi tabamine tuumalaenguga varustatud rakett- relvaga	131
6. Sihtmärki tabamise tõenäosus	132
7. Pindmärki hävitamiseks vajaliku plahvatusvõimsuse määramine	136
8. Pindmärki territooriumil asuvate üksikobjektide kah- justamistõenäosuse määramine	139
9. Mõningad arvutused, mis on vajalikud radiatsiooni- olukorra hindamiseks	141
Kirjandust	155

ILMUNUD TSIVIILKAITSEALAST KIRJANDUST

1. **I. Bezdenežnõhh, I. Tõrkova. KAITSE BAKTERIOOLOO-
LOOGILISE RELVA EEST.**
Tallinn, «Eesti Raamat», 1965.
2. **M. Korabljev. PÄÄSTE- JA VÄLTIMATUD
AVARIITAASTAMISTÖÖD TUUMAPLAHVATUSE
KOLLETES.**
Tallinn, «Eesti Raamat», 1965.
3. **V. Medvedjev. KAITSEABINOUD RADIOAKTIIVSE
SAASTUMISE TSOONIDES.**
Tallinn, «Eesti Raamat», 1965.
4. **V. Kotlukov, V. Moskaljev. TSIVIILKAITSEALASED
KOHUSTUSED JA KÄITUMISREEGLID VAENLASE
RÜNNAKU PUHUL.**
Tallinn, «Eesti Raamat», 1966.
5. **B. Gratšov. TSIVIILKAITSEST ÕPILASTELE.**
Tallinn, «Eesti Raamat», 1967.
6. **L. Gorškov. LIHTTÜÜPI VARJED KAITSEKS
MASSILISE HÄVITAMISE RELVADE EEST.**
Tallinn, «Eesti Raamat», 1967.
7. **TSIVIILKAITSE MAARAJONIS. Käsiraamat.**
Tallinn, «Eesti Raamat», 1967.
8. **TSIVIILKAITSE.**
Tallinn, «Eesti Raamat», 1968.
9. **SEDA PEAB IGAÜKS TEADMA.**
Tallinn, «Eesti Raamat», 1968.

Н. Д. Поникаров, В. И. Чумаков,
А. П. Дуриков

ЧТО НЕОБХОДИМО ЗНАТЬ О
ЯДЕРНОМ ОРУЖИИ И ЗАЩИТЕ
ОТ НЕГО

На эстонском языке

Оформление Э. Тали

Издательство «Ээсти Раамат»
Таллин, Пярнуское шоссе, 10.

*

Toimetajad H. Heinoja ja E. Ingar.

Kunstiline toimetaja A. Jõers.

Tehniline toimetaja V. Alev.

Korrektorid A. Rammus ja K. Roger.

Laduda antud 17. VII 1968. Trükkida antud
20. XI 1968. Trükipoognaid 10. Tingtrükipoog-
naid 8,4. Arvestuspoognaid 8,01. Trükiarv
10.000. Tellimise nr. 2471. Trükikoda «Ühis-
elu», Tallinn, Pikk t. 40/42, Trükipaber nr. 2 —
Kohila Paberivabrik.

Hind 24 kop.

1-12-5.

24 kop.

A

29548

63 88872

TÜ RAAMATUKOGU



1 0300 00638887 2