

**UMEĆE MANIPULISANJA JEZGRIMA ATOMA:  
BLAGOSLOV ILI PROKLETSTVO ?  
ili  
ZRAČENJE - BLAGODET ILI NESREĆA ?**

Ivan V. Aniĉin  
Fiziĉki Fakultet, Beograd

Osnovni atribut civilizacije kojoj pripadamo je nesumnjivo, za razliku od svih prethodnih, njen nauĉni, tehniĉki i tehnološki karakter. Ako se XVIII vek mogao zvati vekom mehanike a XIX vekom elektromagnetizma, XX vek je sa pravom poneo naziv nuklearnog doba. Nuklearna fizika, tehnika i tehnologija imaće verovatno i u budućnosti presudan uticaj ne samo na ljudsko društvo već i na njegovo vaskoliko okruženje. Ovaj sudbinski karakter znanja o atomskim jezgrima, i veština manipulisanja njima, proistiĉe iz ĉinjenice da smo na taj naĉin ovladali oslobađanjem ultimativnih zaliha energije koje postoje u materiji. Energija, koja je *de facto* samo drugo ime za mogućnost da se nešto u okolnom svetu uradi, se može, kao uostalom i sve drugo, upotrebiti i zloupotrebiti - jedino što su i upotreba i zloupotreba ultimativnog vasijskog izvora mogućnosti da se nešto uradi potencijalno dalekosežnije od ma koje druge upotrebe i zloupotrebe. Obzirom da se, kako nas istorija ljudskog roda nemilosrdno uĉi, duh koji je jednom pušten iz boce više u nju ne može vratiti, ta situacija se, ako ništa drugo, mora pokušati shvatiti, i, svidala nam se ili ne, sa njom se mora nauĉiti živeti.

Zbog tog ekskluzivnog karaktera celokupni nuklearni kompleks, i sa njim vezan problem zraĉenja, neodvojiv je od svog humanistiĉkog i politiĉkog aspekta. Bez pretenzija da ga osvetlimo sa svih strana, pokušaćemo da sagledamo suštinu ovog najsloženijeg problema sa kojim se ĉoveĉanstvo do sada susrelo, a u ĉijoj će se zlokobnoj senci od sada pa do u neizvesnu budućnost odvijati sve naše, na izgled tako važne svakodnevne delatnosti.

Bitna odrednica nuklearnih znanja i veština (znatno više veština no znanja) je da su one u potpunosti koncentrisane u rukama malog broja tehniĉki najnaprednijih nacija, koje, uprkos deklaracijama o globalizaciji, jednakosti i ljudskim pravima, uz pomoć izvanredno širokospektralnog sistema globalne kontrole, kao svoju osnovnu preokupaciju imaju oĉuvanje monopola nad ovim presudnim dostignućima ĉoveĉanstva. To važi za oba segmenta nuklearnog kompleksa - kako za nuklearno naoružanje tako i za nuklearnu energetiku, mada za ovu drugu u nešto blažoj formi. Najveći deo fundamentalne nuklearne fizike, koja leži u osnovi celog kompleksa je, međutim, danas praktiĉno potpuno internacionalizovan. Ovo se može smatrati vrhunskom perfidnošću; na taj naĉin je prividno zadovoljena deklarirana globalna demokratija, dok se u suštini plodovima tih globalnih napora mogu da koriste praktiĉno iskljuĉivo oni koji već drže monopol na bitne primene tih znanja, da bi taj svoj monopol još više ojaĉale.

Kada je na prelomu vekova i milenijuma svet postao unipolaran ispostavilo sa da je nuklearna moć ostala u rukama globalnog krupnog kapitala. Krupni kapital ovu moć

koristi, kao uostalom i sve drugo, prvenstveno u cilju sopstvenog jačanja. Nevolja je, jasno, u tome što bezgranična moć pothranjuje beskonačne apetite. Vlasnici monopola nad ovim ultimativnim izvorom energije u svemiru već sada ga koriste na način koji bi se najblaže mogao okvalifikovati kao licemeran; retorika koja opravdava akcije usmerene na održavanje monopola prepuna je eufemizama i zamena teza - sve ono što ne konformira interesima nuklearnih gospodara proglašava se za pretnju opstanku čovečanstva. Najmoćniji ali i najrafiniraniji instrumenti koje je svet do sada video nalaze se u službi postizanja i održanja postojećeg stanja. Najmoćniji instrument je svakako samo nuklearno naoružanje a u rafinirane spada zloupotreba sve savršenijeg globalnog sistema informisanja za propagiranje paradoksalnog stava da su glavna pretnja svetskoj sigurnosti oni koji ne poseduju nuklearno naoružanje, a ne oni koji ga poseduju! Institucija Ujedinjenih Naroda sve više postaje globalni nadzornik i realizator ovakve politike Sistema. Jedan relativno blagi nagoveštaj onoga što čovečanstvo može očekivati u budućnosti osetili smo nedavno i mi na svojoj koži. Svi totalitarni sistemi iz ljudske prošlosti uzeti zajedno dečja su igra u odnosu na globalni, apsolutno totalitarni Sistem koji nam se smeši. A snaga tog sistema počiva na nuklearnoj moći kojom njegovim nosioci monopolistički upravljaju, za sada kao instrumentom ultimativnog terora i straha i kolektivne psihološke prinude (setimo se samo više puta na razne načine iskazane pretnje da će famozna Straževica biti uništena penetracionom nuklearnom bombom, ili opravdane sumnje da je na Avganistan zaista i bila bačena).

O tome koliko je Sistem useo maha i postao moćan možda najbolje govori današnji, praktično nepostojeći, odnos globalnog intelekta prema njemu. Pedestih, šezdesetih, pa i sedamdesetih godina dvadesetog veka, dok je svest o užasu Hirošime i Nagasakija još bila sveža, a svet ravnotežno podeljen, brojni pokreti svetske inteligencije vodili su žestoku borbu protiv monopola na sve brže rastuću apsolutnu nuklearnu moć. Osnovna strepnja tog trenutka bila je vezana za mogućnost da se delikatna ravnoteža dva konfrontirana sistema poremeti i otme kontroli, kada bi upotreba nuklearne moći vrlo verovatno dovela do kraja života na Zemlji, bar onakvog kakvog smo ga do tada poznavali. Samo su oni dalekovidiji predosećali još goru budućnost u kojoj bi preostao samo jedan od dva sistema, koji bi time postao Sistem - Sistem koji bi monopol nad nuklearnom moći koristio za apsolutnu globalnu dominaciju i zatiranje nagoveštaja svih svojih suprotnosti. Kao što dobro znamo, ova druga mogućnost se realizovala čak i pre no što su i najdalekovidiji predviđali, a to što ka globalizaciji idemo pod zastavom i u ime interesa krupnog kapitala, koji je po svojoj suštini materijalno nezajažljiva kultura, ništa ne olakšava situaciju. Vladavina Sistema je, međutim, brižljivo pripremana. U trenutku pobede Sistem je morao da izgleda ne samo relativno bolji u odnosu na alternativu, već i apsolutno besprekoran. U tom smislu je i monopol nad nuklearnom moći počeo da se prikazuje kao osnovni kvalitet i stožer Sistema u borbi za svoju idealnost, a ne kao njegova glavna mana. Svako ko je dizao glas protiv tog monopola dizao je glas protiv napretka čovečanstva i bio moćnim mehanizmima Sistema ili marginalizovan ili prosto uništen. Postepeno se došlo do današnjeg stanja u kome u javnosti postoji mešavina neshvatanja suštine stvari kod onih koji ne znaju, beznađa i apatije kod onih koji znaju ali shvataju da se praktično više ništa ne može učiniti, i licemerja kod onih koji na Sistemu kapitaliziraju. Globalni intelekt spada dominantno u ovu srednju kategoriju, ali pošto ima

svest i savest koja pretenduje da bude globalna svest i savest, a mogućnost da interveniše po najvažnijem problemu čovečanstva mu je uskraćena, morao je naći nešto što će mu zameniti interes a zvučati dovoljno ozbiljno i značajno da opravda angažman. Sam Sistem se trudio da nađe zgodnu alternativu, i da je ponudi globalnom javnom mnjenju u trenutku kada mu to bude najbolje odgovaralo. To nešto je moralo biti vezano za nuklearni kompleks, moralo je biti realno, a relativno neškodljivo po interese Sistema. I gle, opet paradoksalno, fokus javnosti, na čelu sa globalnim intelektom, skrenut je sa nuklearnog oružja, sa onog što je najnegativnije u nuklearnom kompleksu, na nuklearnu energetiku, na ono što je u njemu najpozitivnije! Ovo skretanje pažnje na sporedni problem, koji je u suštini problem istog ranga kao i svi ostali problemi tehnološke civilizacije na koje se ni izbliza ne obraća toliko pažnje, dovelo je do postojećeg stanja u kome globalni intelekt praktično više nema nikakav stav o glavnom problemu čovečanstva. U onome što sledi pokušaćemo da razjasnimo osnovne aspekte današnjeg angažmana javnog mnjenja po pitanju nuklearne energetike i sa njim povezanog fenomena hipertrofirane radiofobije.

Savremena naučno-tehničko-tehnološka civilizacija neprestano demonstrira i pozitivne i negativne strane svakog svog segmenta i kroz taj stalni sukob protivurečnosti za sada ne samo da ravnotežno opstaje već uspeva da i kontinuirano progresira. Setimo se izvanredno podignute produktivnosti proizvodnje hrane ali i opasnosti od pesticida, đubriva i genetski promenjenih materijala, setimo se izvanredne game lekova i ostalih hemikalija koje nam olakšavaju i produžuju život ali i problema zagađenja okoline hemijskim otpadom, setimo se udobnosti transporta automobilom ali i ogromnog zagađenja vazduha izduvnim gasovima, pa se konačno setimo i pogodnosti koje nudi opšta elektrifikacija ali i opasnosti koje donosi sagorevanje ogromnih količina nekvalitetnog uglja ili mogući akcident na nuklearnoj elektrani. U tom spektru problema nuklearno zagađenje okoline objektivno izgleda samo kao jedan od mnogih sličnih problema koji se za sada uspešno drže pod kontrolom, i to kako izgleda i uspešnije od svih drugih problema te vrste. No, sudeći po globalnoj pojavi izrazito intenzivne radiofobije reakcija javnosti na ovaj problem daleko prevazilazi njegove stvarne dimenzije. To postaje očigledno recimo kada posmatramo broj nesreća koje se dešavaju u automobilima prema broju učesnika u saobraćaju, u odnosu na broj nesreća usled ozračavanja prema broju korisnika električne energije, pri čemu je ovaj drugi procenat apsolutno zanemarljiv u odnosu na prvi; pa ipak nikome ne pada na pamet da preispituje opravdanost korišćenja automobila. Ili pak problem industrije i trgovine duvana, koja je do sada odnela više žrtava no što će verovatno ikada odneti svi budući nuklearni akcidenti zajedno. Za ovakav odnos prema nuklearnoj energiji i sa njom povezanog problema zračenja, uprkos očigledno mnogo većih opasnosti koje vrebaju iz konvencionalnih tehničkih dostignuća, mora da postoji dobar razlog. Takav zaključak i opravdava naše gornje razmatranje. U istom tom nivou našao se i trenutno aktuelni problem korišćenja municije od osiromašenog urana (za koju se ispostavilo da je ustvari nešto drugo, bitno ozbiljnije od toga). Isti metod skretanja pažnje ("misdirection of attention") sa bitnog problema na sporedni i ovde je doveo u žižu pažnje javnosti problem koji je, bez želje da mu smanjimo težinu, marginalan u odnosu na činjenicu da je tom istom prilikom na jednu državu koja ni sa kim nije bila u ratu bačeno 20.000 tona klasičnog eksploziva, kao i da

su joj upućivane ozbiljne pretnje o upotrebi autentičnog nuklearnog oružja. Naš primer bi, u tom smislu, globalnoj inteligenciji trebalo da posluži kao ozbiljno upozorenje da prestane da se bavi vešto podmetnutim marginalnim problemima i da centar svog interesa vrati na suštinski problem načina na koji Sistem upravlja apsolutnom nuklearnom moći. Nuklearna znanja i veštine će svakako rešiti probleme vezane za nuklearni otpad i za sve miroljubive primene nuklearne energije ali problem nuklearnog oružja više nije u domenu nuklearnih znanja i veština i preti da postane instrument nečuvene zloupotrebe i terora. Boriti se, boriti i boriti svim raspoloživim sredstvima prvenstveno za povratak problema nuklearnog naoružanja pod jurisdikciju javnog mnjenja, mora biti osnovna preokupacija globalnog intelekta, jer drugog spasa od totalitarnog Sistema budućnosti nema.

## POJMOVNIK

### Šta je "zračenje"?

Pod "zračenjem" ili "radijacijom" ovde ćemo podrazumevati takozvana *jonizujuća, nuklearna, ili radioaktivna* zračenja, što su sve sinonimi za raznovrsne čestice velikih energija (alfa, beta, gama, X, neutroni i.t.d.) koje se emituju u raznovrsnim spontanim ili veštački izazvanim procesima pretvaranja atomskih jezgara jednih u druga. (Potrebno je znati da se jonizujuća zračenja mogu proizvoditi i u akceleratorima (i rentgenska cev je vrsta akceleratora), kada sa pojavom radioaktivnosti nemaju nikakve veze.) Energije svih ovih zračenja toliko su velike da na svom putu kroz materiju, koji u zavisnosti od tipa zračenja i njegove energije može biti vrlo različite dužine (prodorna i manje prodorna zračenja), čestica zračenja može da izazove drastične promene u velikom broju atoma i molekula koji čine materiju. Na tome su zasnovani i korisni i štetni učinci ovih zračenja. (Ostala, takozvana *nejonizujuća* zračenja, kao što su recimo ultraljubičasto, svetlosno, mikrotalasno, i.t.d., svoje, kako korisne tako i štetne efekte, ostvaruju drugačijim načinima interakcije sa materijom, nisku energiju čestica koje ih čine nadoknađujući njihovim velikim brojem.). Osnovni integralni pokazatelj učinka zračenja na datu sredinu je *doza* koju je sredina izložena zračenju primila. Disciplina koja meri ove učinke naziva se dozimetrijom. Od mnogobrojnih dozimetrijskih veličina *ekvivalentna doza* meri učinke zračenja na žive organizme. Jedinica ove doze je Sivert (Sv). Deterministički smrtonosna doza za čoveka je oko 5 Sv, godišnja dozvoljena doza, za koju se pretpostavlja da ne izaziva eksplicitne efekte, je 5 mSv (5 hiljaditih delova Siverta, tj. oko hiljadu puta manja od smrtonosne), a doza od prirodnog fonskog zračenja, kojoj smo svi neminovno izloženi tokom celog svog života, iznosi od 1 do 2 mSv godišnje, mada u nekim krajevima na Zemlji može biti i do 100 puta veća.

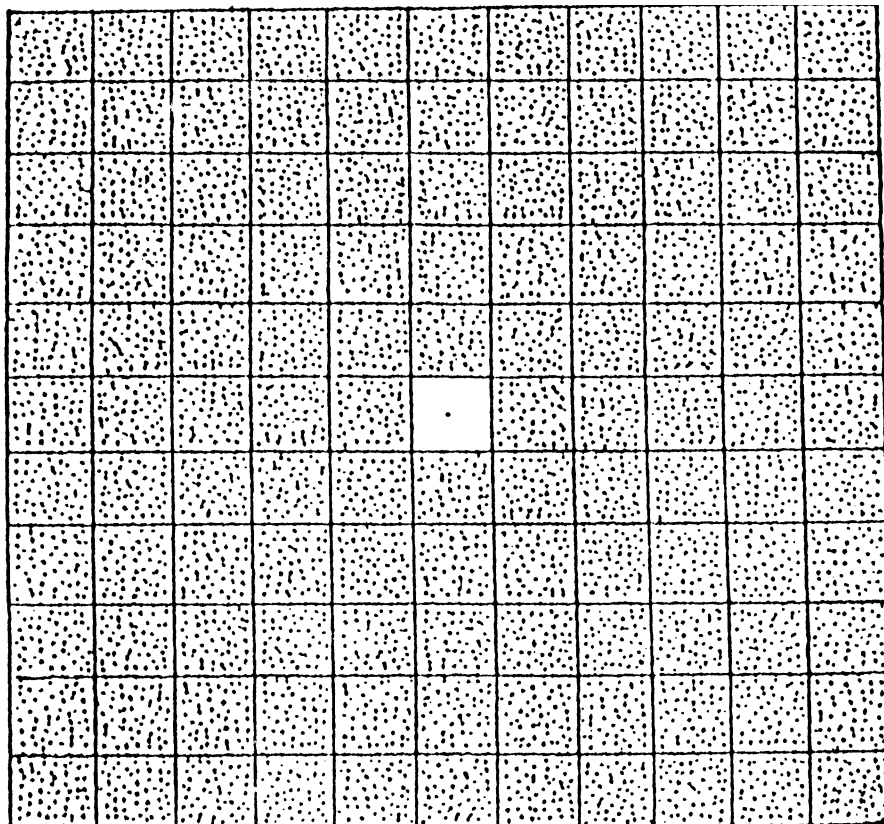
## Prirodni izvori zračenja

Izvori zračenja na Zemlji danas su dvojaki: *prirodni* i *veštački*. Na našoj planeti materija je sastavljena od 92 *hemijska elementa* (uslovno) čije najmanje, još uvek hemijski prepoznatljive delove, zovemo *atomima*. Svi atomi jednog elementa isto se hemijski ponašaju, ali se njihovi centralni delovi, njihova jezgra, mogu međusobno razlikovati. Raznovidnosti atoma jednog elementa zovemo njegovim *izotopima*. Zahvaljujući osobinama svojih jezgara atomi različitih izotopa mogu biti *stabilni* ili *radioaktivni*. Stabilni izotopi su oni čiji atomi, pod uslovom da ih od spolja ne uznemiravamo odgovarajućim fizičkim agensima, ostaju takvi kakvi su beskonačno dugo. Jezgra atoma radioaktivnih izotopa zbog svojih internih osobina imaju tendenciju da spontano prelaze u jezgra stabilnijih atoma. Transformacija jednog atoma u drugi, koju zovemo *radioaktivnim raspadom*, uvek je praćena emisijom odgovarajućih *čestica zračenja*. Svaki ovakav spontani proces ima svoj karakteristični tempo opisan *vremenom poluraspada*; vremenom potrebnim da polovina prisutnih radioaktivnih atoma doživi dati raspad. Izvanredna je osobina prirode da se na tempo tih procesa nikako (ili gotovo nikako) *ne može uticati*. *Kratkoživeći* izotopi žive od delova sekunde do nekoliko dana a *dugoživeći* od nekoliko godina do nekoliko milijardi godina. Broj raspada u sekundi u datoj količini radioaktivnog materijala je njegova *aktivnost*. Aktivnost je tim veća što je veća količina materijala i što je izotop kraćeg života. Intenzitet emitovanih zračenja proporcionalan je aktivnosti. Kako se sa vremenom smanjuje količina radioaktivnih atoma tako se smanjuje i aktivnost a time i intenzitet emitovanih zračenja. Kod *dugoživećih* izotopa je, međutim, to smanjenje aktivnosti jedva primetno.

Elementi od vodonika do olova na Zemlji imaju praktično samo stabilne izotope, ukupno oko 270 njih, i otud naša iluzija da je priroda u osnovi stabilna, večita i nepromenljiva. Elementi teži od olova, zaključno sa najtežim uranom, kojih na Zemlji sve zajedno ima veoma malo, međutim, imaju samo radioaktivne izotope, ukupno njih pedesetak. Oni čine najveći deo inače slabe *prirodne radioaktivnosti*, čijeg postojanja, usled nedostatka čula za emitovana zračenja, do pre nešto više od sto godina nismo bili ni svesni. Prirodna radioaktivnost rasuta u zemljinoj kori, u svemu što nas okružuje, i u nama samima, najviše doprinosi takozvanom *radijacionom fonu*, ili *osnovnoj aktivnosti*; prirodnom nivou zračenja ispod koga se, bez preduzimanja specijalnih mera, ne može sići i koji predstavlja normalnu komponentu našeg prirodnog okruženja. U vreme nastanka života na Zemlji, pre oko 3 milijarde godina, nivo fona prirodne radioaktivnosti bio je znatno viši, i on je, ubrzano indukujući slučajne mutacije, po svemu sudeći odigrao bitnu, sa našeg gledišta pozitivnu, ulogu u početnim stadijumima evolucije života. Druga komponenta radijacionog fona je vanzemaljskog porekla i ne potiče iz pojava radioaktivnosti. Nju čini takozvano *kosmičko zračenje*, koje do Zemlje stiže iz dubina svemira i na njenoj površini čini oko jednu trećinu ukupnog fonskog zračenja.

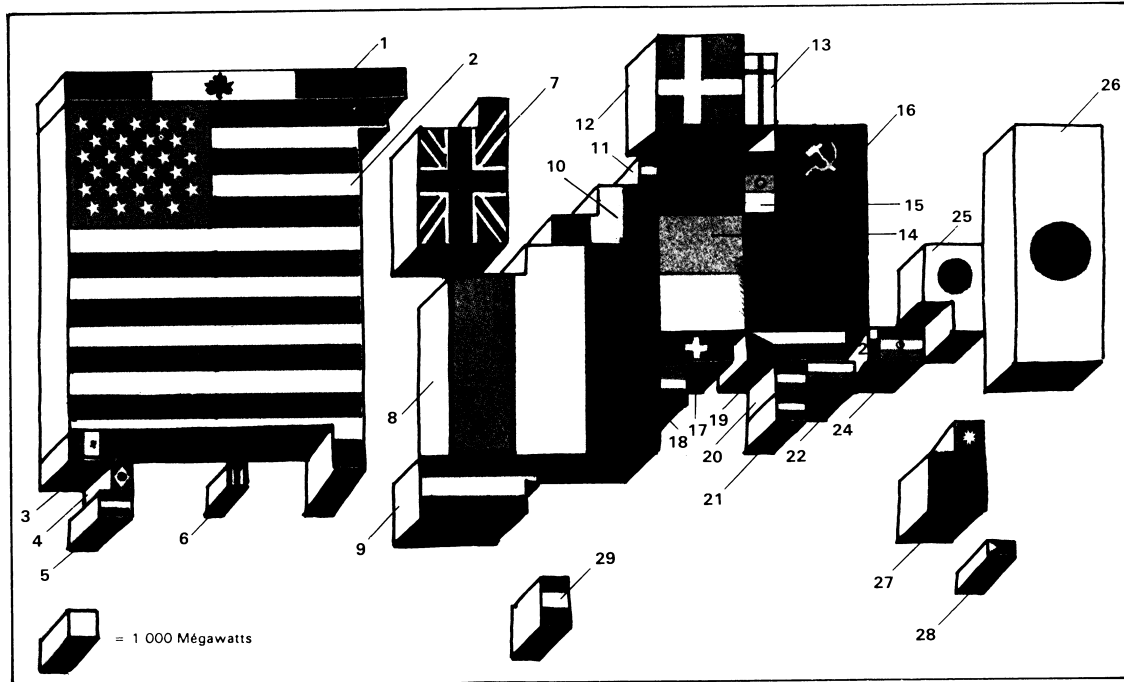
## **Veštački izvori zračenja**

Počev od tridesetih godina XX veka ovladali smo veštinom manipulisanja atomskim jezgrima. Naučili smo da, indukujući raznovrsne procese u kojima jezgra atoma mogu da učestvuju, od jednih atoma pravimo druge i da pritom oslobađamo ogromnu energiju kojom su čestice koje ih čine međusobno vezane. Ne samo da smo shvatili da svi elementi koji u prirodi postoje samo u formi svojih stabilnih izotopa imaju i radioaktivne izotope, koje zovemo *veštačkim radioaktivnim izotopima*, već smo naučili i da ih po želji proizvodimo. Manipulišući jezgrima, te izotope dobijamo i kada to želimo i kada ne želimo, recimo uvek kada to radimo radi oslobađanja nuklearne energije. Oslobađanje nuklearne energije, i nekontrolisano i kontrolisano, praćeno je trenutnom intenzivnom emisijom zračenja, kao i produkcijom veštački radioaktivnih izotopa koji, u slučaju eksplozija svakako dospevaju u okolinu ili, u slučaju energetske primene u okolinu dospevaju samo u akcidentalnim situacijama. Veština manipulisanja jezgrima kao i mnogobrojne primene zračenja dobijenih na druge načine doveli su do velikog broja situacija u kojima je stanovništvo izloženo dejstvu zračenja, željenom ili neželjenom, a time i do povećanja doza preko fonskih, kao i pitanja dejstva tih doza. U tom broju se nalaze, što se često zaboravlja, i sve medicinske primene zračenja, kako terapijske tako i dijagnostičke.



## **Nuklearno oružje**

Očigledna slika nuklearnog mača koji visi nad glavom čovečanstva. Tačka u centralnom kvadratu odgovara procenjenoj snazi svih eksplozivnih naprava (3 Megatona klasičnog eksploziva TNT) koje su upotrebljene tokom celog II Svetskog rata, u kome je poginulo oko 50 miliona ljudi. (Nuklearna bomba koja je bačena na Hirošimu, i koja je ubila oko 200.000 civila, imala je snagu od svega 20 kilotona TNT). Tom istom iznosu (3 Megatona) odgovara i svaka tačka u ostalim kvadratima. Ukupan broj tačaka predstavlja ukupnu rušilačku moć sveukupnog danas postojećeg nuklearnog naoružanja. Tim arsenalom monopolistički gospodari samo nekoliko nacija.



## Nuklearna energetika

Električna energija nuklearnog porekla danas zadovoljava oko 25% svetskih potreba. Obzirom na vrlo konačne rezerve fosilnih goriva, kad tad će neki od oblika eksploatacije nuklearne energije (fisioni, fuzion, ili njihova kombinacija) postati neizbežan. Za tu situaciju treba biti spreman, te one nacije koje su savladale tehnologiju sada za izvesno vreme dok su konvencionalni izvori još uvek dovoljno obilni i jeftini (i čiju nisku cenu veštački održavaju svim mogućim sredstvima), sebi mogu da dozvole luksuz da ne insistiraju na daljem uvođenju ovih tehnologija, iako se intenzivno pripremaju za trenutak kada to budu bile prinuđene da urade. Te države ne trpe realnu štetu borbom javnog mnjenja protiv nuklearne energetike, dok države koje tu tehnologiju ne poseduju tom borbom bivaju katastrofalno unazađene. Sa 160 000 MW SAD imaju daleko najveću apsolutnu instalisanu električnu snagu nuklearnog porekla, dok Francuska, koja sa 60 000 MW odatle podmiruje oko 75% svojih potreba, ima najveći udeo tog izvora u opštoj potrošnji (poređenja radi, Krško ima 600 MW). Problem visokoradioaktivnog nuklearnog otpada i mogućnost neprijatnih akcidenata u kojima radioaktivnost može da dospe u okolinu za sada se uspešno rešava, i ne treba sumnjati da će u budućnosti biti još bolje rešen. Gotovo je izvesno da je, već i sa današnjim stepenom sigurnosti koji je postignut u ovom domenu, nuklearna energetika nanela relativno manje štete od konvencionalne energetike. Pored toga, ne treba zaboraviti da je nuklearni pogon svih vrsta velikih plovila izrazito racionalniji od ostalih.



**Uran** (ili **uranijum**) je najteži element koji postoji na Zemlji. On ima samo radioaktivne izotope, čiji raspad doprinosi radijacionom fonu u našoj okolini. Dva glavna izotopa urana poznata su kao Uran-238 i Uran-235. Oba su vrlo dugoživeća, što znači da im je aktivnost po jedinici mase mala. U *prirodnom uranu* na jedan atom Urana-235 dolazi 140 atoma Urana-238, i taj izotopski odnos je njegova glavna karakteristika. Uran je u velikoj meri dispergovan element (ima ga svuda, ali u neupotrebljivo malim koncentracijama) a grupisane mineralizacije (koje zovemo rudnicima) su mu relativno retke. Od davnina se koristio kao mineralni pigment a od kraja XIX veka, kada je pojava prirodne radioaktivnosti zahvaljujući njemu i otkrivena, pa do 40-tih godina XX veka, prvenstveno kao izvor ostalih prirodno radioaktivnih elemenata, naročito radijuma. Jedan od takvih elemenata, koji se dobija njegovim raspadom, je i radon - radioaktivni gas čija je koncentracija u rudnicima urana velika te predstavlja ozbiljnu opasnost za rudare.

Kada je 1939. godine otkrivena *fisija urana* (epizoda u kojoj je radeći u Francuskoj ovom sudbonosnom otkriću bio veoma blizu i naš Pavle Savić) značaj urana kao strateške sirovine, i svega što je u vezi sa njim, dostigao je neslućene razmere. Fisija je proces cepanja jezgra atoma teškog elementa na dva jezgra atoma lakših elemenata, pri čemu se tako formirana jezgra kreću ogromnim brzinama, što predstavlja veliku energiju koja se dalje može koristiti. Samo po sebi to bi bilo interesantno, i ne mnogo više od toga. Značaj proističe iz mogućnosti ostvarenja lančane reakcije, procesa potpuno ekvivalentnog običnoj vatri, u kome se negde u masi urana ("nuklearnog goriva") započeta fisija širi na celu masu, dok ova cela ne "izgori". Razlika od običnog hemijskog sagorevanja, koje se odvija na atomsko-molekularnom a ne na nuklearnom nivou kao ovde, je prvenstveno u oko milion puta većoj energiji koja se pritom oslobađa a zatim i u fantastičnoj brzini kojom se to sagorevanje događa; kilogramske količine mogu da sagore za milioniti deo sekunde. To sagorevanje može da bude eksplozivno burno, ili kako se to kaže "nekontrolisano", kao u "atomskoj" bombi, ili sporo tinjavo - "kontrolisano", kao u nuklearnom reaktoru, koji je srce nuklearnog energetskog postrojenja. No, dva pomenuta izotopa urana nisu goriva iste vrste; lakše se koristi izotop Uran-235 i tehnologija njegove upotrebe u reaktorima, koja je znatno jednostavnija i bolje razvijena, preferira veći broj atoma Urana-235 po jednom atomu Urana-238 no što je to slučaj u prirodnom uranu, dok korišćenje kao nuklearnog eksploziva zahteva maltene čisti Uran-235 (iako je danas poznat veći broj nuklearnih goriva i ako je broj načina njihovog korišćenja u obe svrhe veliki i raznovrstan, značaj urana je još uvek neprevaziđen). U svakom slučaju, da bi se koristio kao gorivo, uran se, kako se to kaže, mora *obogaćivati*, tj. mora mu se povećavati broj atoma U-235 u odnosu na Uran-238 u prirodnom uranu. Postupak obogaćivanja u krupnoj skali prvi je u nizu tajnih nuklearnih veština i predstavlja ekstremno skupu tehnologiju na kojoj se dobrim delom zasniva monopol onoga ko je već poseduje. Prvi stepen obogaćenja je onaj na kome u uranu ima 3% Urana-235, umesto 0,7% u prirodnom uranu, što onda predstavlja nuklearno gorivo sa kojim radi najveći broj postojećih nuklearnih energetskih postrojenja. Ono što se ne isplati dalje obogaćivati zove se *osiromašeni uran* i više se praktično ne može koristiti kao nuklearni polufabrikat. To je sada metalni uran u kome umesto jednog atoma Urana-235 na 140 atoma Urana-238 ima jedan takav "koristan" atom na 500 "nekorisnih". Kao radioaktivni kontaminant i

ozračivač osiromašeni uran je, međutim, relativno nebitno različit od prirodnog. Data koncentracija takvog urana ima na živi svet vrlo sličan efekat kao ista takva koncentracija prirodnog urana, recimo na mestima njegovih mineralizacija. U tom smislu se njegovo korišćenje uslovno može smatrati ekvivalentnim prostoj preraspodeli koncentracija prirodnih materijala. Priroda i intenzitet tog uticaja su, međutim, još uvek predmet značajnih kontroverzi, koje uostalom prate sve situacije vezane za uticaj takozvanih *malih doza*. Ostaje činjenica da je takav uran, kao i svaki drugi, prvorazredan hemijski otrov, kao i da se, u normalnim uslovima, ogromna većina populacije nikad ne sreće sa sličnim dejstvima.

Mnogo ozbiljniji problem nastaje daljim nuklearnim procesiranjem "obogaćenog" urana, koji inače sam po sebi kao kontaminant i ozračivač nije bitno različit ni od prirodnog, ni od osiromašenog urana. Posle fisije, obavivši bilo konstruktivnu ulogu generatora energije bilo destruktivnu ulogu eksploziva, od jednog atoma Urana-235 nastaju dva lakša atoma, po pravilu oba radioaktivna. Njihova vremena poluraspada su bitno kraća od uranovog pa im je i aktivnost stoga drastično veća. To i sačinjava opasni visoko-aktivni *radioaktivni otpad*; glavnu nesreću svih manipulacija atomskim jezgrima. Srednje vreme poluraspada ovog otpada je reda hiljadu godina te predstavlja trajno zaveštanje generacijama koje dolaze. Do direktnog rasturanja tog materijala u okolinu dolazi u nuklearnim eksplozijama ali i u akcidentima na nuklearnim energetske postrojenjima (tipa Černobilja).

Daleko od toga, međutim, da je i Uran-238 koji je preostao posle obogaćenja nuklearno nekoristan, te da predstavlja samo nisko-aktivni radioaktivni otpad (koji se onda kao takav koristi, između ostalog, i za izradu "municije od osiromašenog urana"); kao takav otpad se pojavljuje samo ona količina koju je nemoguće postići procesirati na određen način u nuklearnim reaktorima i od njega proizvesti famozni *plutonijum*. Plutonijum je veštački radioaktivni element, čiji inače nijedan jedini atom ne postoji na Zemlji, a koji je gotovo idealan nuklearni eksploziv, od koga je i načinjen daleko najveći broj nuklearnih bojevih glava ogromnog nuklearnog arsenala. Prisustvo plutonijuma otud nedvosmisleno govori da se radi o materijalu koji je prošao kroz nuklearno procesiranje, a diseminacija takvog materijala, koji predstavlja autentični nuklearni otpad, u okolinu je najstrože zabranjena. Municija kojom smo mi zasipani je, po priznanju samih agresora, načinjena upravo od takvog materijala, a ne od osiromašenog urana.

## **Ozračivanje, kontaminacija, aktivacija**

Biti *ozračen* znači primiti izvesnu dozu zračenja emitovanog ili od nekog radioaktivnog ili neradioaktivnog (recimo rentgenskog aparata ili akceleratora) izvora. Efekat ozračivanja zavisi od primljene doze, vremena ekspozicije i rasporeda u vremenu, od dela tela koji je izložen zračenju, itd. Po prestanku ozračivanja ozračena sredina sama ne ostaje i ne postaje radioaktivna.

Biti *kontaminiran* (zagađen) znači doći i ostati u kontaktu sa radioaktivnom supstancom. Kontaminirani objekt će biti ozračivan sve dok je supstanca u kontaktu sa njim (do dekontaminacije), dok se prirodno ne raspadne svojim sopstvenim tempom raspadanja, ili dok ne bude nekim metaboličkim procesom izbačena iz organizma. Svi ovi mehanizmi uzeti zajedno definišu *biološko vreme poluraspada* koje može biti vrlo različito od vremena poluraspada kontaminirajućeg izotopa.

Biti *aktiviran* znači postati delimično radioaktivan zahvaljujući tome što će gradbeni atomi postati radioaktivni kao rezultat ozračivanja određenim zračenjima. Zračenja radioaktivnih izotopa, kao ni rentgensko zračenje, ne mogu da aktiviraju sredine kroz koje prolaze, dok akceleratora zračenja visokih energija to mogu. Neutroni, zračenje koje se oslobađa u svim procesima fisije, kontrolisanim i nekontrolisanim, najjači su aktivirajući agens.

## Utjecaji zračenja na čoveka

Učinak svakog agensa, fizičkog ili hemijskog, koji deluje na živi organizam zavisi od čitavog niza faktora, i u tom smislu zračenje nije nikakav izuzetak. Na prvom mestu tu je količina tog agensa; prekoračenje doze većine lekova, naprimer, počinje da izaziva eksplicitno štetne efekte, a konačno i smrt. Tu je zatim dinamika doziranja; potrebno je izvesno vreme da se organizam izbori sa primljenom dozom, i pripremi za sledeću. Zatim je tu i činjenica da relativno male doze po pravilu imaju vrlo individualizirane efekte, što se manifestuje u njihovom verovatnostnom karakteru; postoji samo određena verovatnoća da će efekat biti takav i takav, i nemoguće je jednoznačno ga predvideti na individualnom nivou, već samo u srednjem, na dovoljno velikom broju jedinki. Konačno, svaka aplikacija datog agensa uvek ima i pozitivne i negativne efekte i u svakoj konkretnoj situaciji samo od procenjene vrednosti odnosa korist/šteta zavisi hoćemo li se odlučiti za njegovu aplikaciju ili ne. Kada je u pitanju zračenje, i efekti koje ono izaziva, situacija je, u najkraćem, sledeća.

Većina zdravstvenih efekata koje zračenje izaziva može se smatrati negativnim, dok se samo u malom broju specifičnih situacija ti efekti mogu smatrati pozitivnim, sve to u smislu odnosa korist/šteta. Efekti zračenja dele se na *somatske*, one vidljive na samoj ozračenju jedinki, i *genetske*, vidljive na njenom potomstvu. Intenzitet tog uticaja zavisi od veličine primljene doze, od njenog rasporeda u vremenu, od ozračenog dela tela. Efekti malih doza izrazito su statistički i da bi se dovoljno signifikantno utvrdili potrebno je posmatrati usrednjeni efekat na dobro kontrolisanoj velikoj populaciji. Efekti većih doza su znatno bolje definisani, a doze veće od letalne jednoznačno ubijaju. Kontroverze oko efekata jako malih, nekontrolisano primljenih doza, blizu onim od prirodnog fona, ni dan danas nisu razrešene. Dva su ekstremna gledišta po tom pitanju: jedno govori da nema bezopasno malih doza i da je svaka doza preko prirodne štetna, dok drugo smatra da doza čak i deset puta veća od prirodne izaziva efekte sa kojim ljudski organizam bez problema izlazi na kraj, kao što izlazi na kraj i sa tolikim drugim potencijalno štetnim agensima. Radijacione povrede ćelije mogu da budu kritične, iako sistemi regeneracije mogu dosta uspešno da se bore sa značajnim povredama ćelije, naročito ako se između ozračivanja prave odgovarajuće pauze. Na ovome je zasnovano i kancerogeno i antikancerogeno dejstvo zračenja. Ako se zrači zdravo tkivo efekti povređivanja hromozoma mogu da pređu prag regenerativnosti i da dovedu do pojave kancerogenog oboljenja (što, jasno, radi i čitav niz hemijskih agenasa, recimo sastojci i produkti sagorevanja duvana!). Ako se zrači već kancerozno tkivo, dozama koje ne dozvoljavaju regeneraciju, ono će nekrozirati, Radijaciona terapija kancerogenih oboljenja, koja teži da kancerogeno tkivo radijaciono uništi pre zdravog, zasnovana je na finom balansu ovih efekata.

Diskutabilno, dakle, ostaje pitanje uticaja *nekontrolisano* primijenih *malih doza*, bliskih fonskim. Dok se to pitanje ne razreši na jedan ili drugi način jedino razumno rešenje je držati se doktrine da je svako povećanje doze preko fonske potencijalno štetno, te da se svako takvo povećanje smatra ugrožavajućim po zdravlje stanovništva.