



UNIVERZITET U NOVOM SADU
PRIRODNO-MATEMATIČKI
FAKULTET
DEPARTMAN ZA FIZIKU



УНИВЕРЗИТЕТ У НОВОМ САДУ
ПРИРОДНО-МАТЕМАТИЧКИ ФАКУЛТЕТ

ПРИМЉЕНО:	7 СЕП 2007
ОРГАНИЗ.ЈЕД.	БРОЈ
0603	9 / 840

Naziv rada

ДЕЈСТВО ЈОНИЗУЈУЋЕГ ЗРАЧЕЊА НА ŽIVУ МАТЕРИЈУ
-УТИЦАЈ НА ЗДРАВЉЕ ЛЈУДИ-

Mentor:

Dr. Nataša Todorović

Kandidat:

Slobodanka Nikolić Maksimović

Novi Sad, 2007

SADRŽAJ

1. Jonizujuće zračenje.....	3
1.1. Otkriće jonizujućeg zračenja.....	3
1.2. Izvori jonizujućeg zračenja.....	7
2. Dejstvo jonizujućeg zračenja na živu materiju.....	13
2.1. Uvod.....	13
2.2. Doze zračenja.....	13
2.3. Radiacionohemijski procesi u tkivu.....	19
2.3.1. Direktna interakcija.....	19
2.3.2. Indirektna intrakcija.....	25
2.4. Posledice zračenja na nivou ćelije.....	27
2.4.1. Smrt ćelije.....	27
2.4.2. Privremeno zaustavljanje mitotske aktivnosti.....	27
2.4.3. Džinovske ćelije.....	29
3. Uticaj jonizujućeg zračenja na zdravlje čoveka.....	30
3.1. Uvod.....	30
3.2. Somatska oštećenja.....	31
3.2.1. Efekti izazvani zračenjem iz spoljašnjeg izvora.....	32
3.2.2. Unutrašnja kontaminacija radioaktivnim izotopima.....	39
3.3. Genetska oštećenja.....	41
3.3.1. Mutacija gena.....	41
3.3.2. Mutacija hromozoma.....	42
4. Adaptivni odgovor.....	43
5. Zaštita od zračenja.....	43
5.1. Metode zaštite od zračenja.....	45
5.2. Merenje i kontrola zračenja.....	46
5.3. Uklanjanje radioaktivnih otpadaka.....	47
6. Zaključak.....	48
7. Literatura.....	50
8. Ključna dokumentacijska informacija.....	51
9. Biografija kandidata.....	55



DEJSTVO JONIZUJUĆEG ZRAČENJA NA ŽIVU MATERIJU - UTICAJ NA ZDRAVLJE ČOVEKA-

1. JONIZUJUĆE ZRAČENJE

1.1. OTKRIĆE JONIZUJUĆEG ZRAČENJA

Radioaktivnost je proces u kome dolazi do spontane transformacije jezgra pri čemu ono menja svoj sastav ili energetsko stanje. Radioaktivnost je bila prisutna u kosmosu pre nego što je nastala sama Zemlja, a radioaktivni materjali postali su sastavni deo Zemlje prilikom njenog formiranja. Čovečanstvo je otkrilo ovu pojavu pre nešto više od jednog veka.

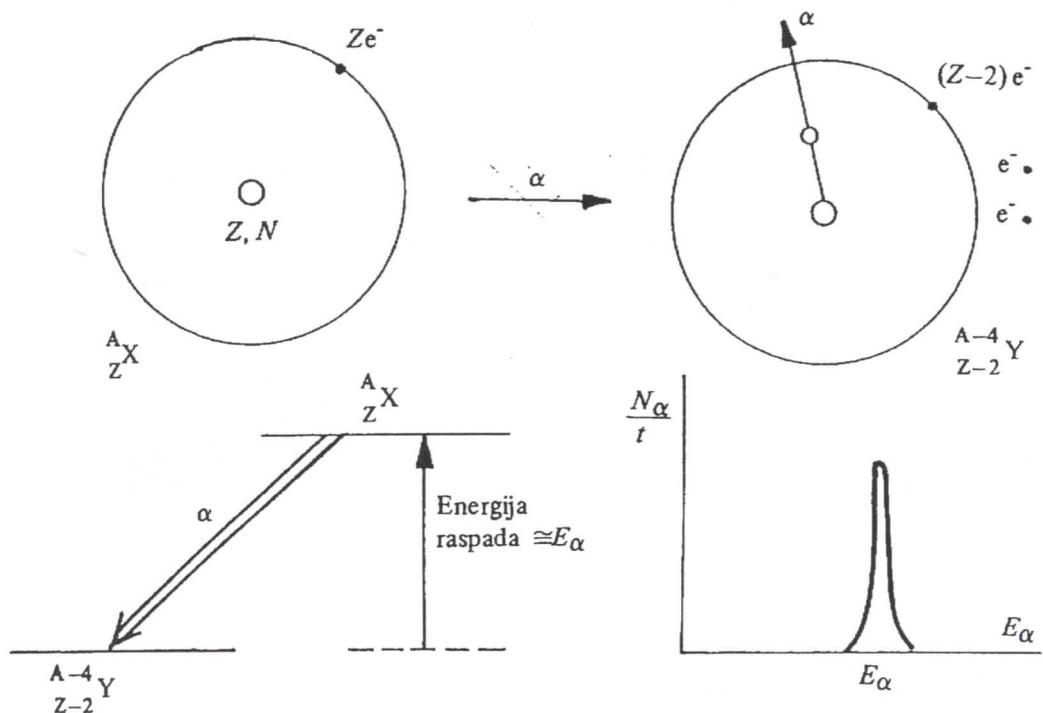
Francuski naučnik Anri Bekerel otkrio je radioaktivnost 1896. godine i doveo ga u vezu sa uranijumom. Marija i Pjer Kiri su otkrili da se uranijum zračeći pretvara u druge elemente. Ovu pojavu su nazvali radioaktivnost. Zakon radioaktivnog raspada objasnili su Kruks, Bekerel, Raderford i Sodi. Osnovni tipovi radioaktivnog raspada su:

- alfa raspad
- beta raspad
- spontana fisija

Pri svakom od njih dolazi do transformacije nestabilnog jezgra u jezgro potomak, uz istovremeno emitovanje zračenja određenih vrsta i energija. Zračenje koje prati transformaciju potiče od teških ili lakih nanelektrisanih čestica, koje sa velikom energijom izleću iz jezgra (α, β -zračenje) ili je elektromagnetne prirode (γ -zračenje). Svi tipovi zračenja koji potiču iz radioaktivnih raspada, u materiji kroz koju prolaze izazivaju stvaranje jona pa otuda i naziv *jonizujuća zračenja*. To su zračenja energije veće od 12,4 eV, odnosno talasne dužine manje od 100 nm; obuhvata i x-zračenje. Višegodišnja istraživanja su pokazala da su alfa zraci jezgra atoma helijuma, beta zraci su elektroni, a gama zraci su elektromagnetni zraci veoma male talasne dužine.

Alfa zraci su korpuskularne prirode i predstavljaju jezgro atoma helijuma, sastavljena od dva protona i dva neutrona u čvrsto vezani sistem sa ukupnom energijom veze od oko 28 MeV. Alfa čestice su pozitivno nanelektrisane pa skreću u električnom i magnetnom polju. Mnoga, naročito teška jezgra sa rednim brojem

$Z \geq 84$ emisijom alfa čestice prelaze u stanje niže energije. Maseni broj jezgra se tada smanjuje za 4, a redni za 2 i element se pomera za dva mesta ulevo u periodnom sistemu. Energija alfa zračenja je u opsegu od 4 do 10 MeV. Na slici 1. je prikazan šematski proces alfa raspada, principijelna šema raspada i rezultujući spektar alfa zračenja.



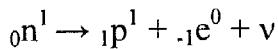
Slika 1. Šematski proces alfa raspada, principijelna šema raspada i rezultujući spektar alfa zračenja.

Ako se posmatra jedna vrsta jezgra koja emituje alfa čestice, onda sve emitovane čestice imaju istu energiju, ili su njihove energije podeljene u nekoliko grupa. Znači da energije alfa čestice emitovane sa nekog radioaktivnog tela imaju diskretnu strukturu i može se govoriti o energetskim spektrima alfa čestice.

Prilikom radioaktivne transformacije jezgra alfa čestice izleću velikom brzinom, reda veličine 10^7 m/s (oko šestine brzine svetlosti).

Beta zraci se sastoje od negativno nanelektrisanih elektrona. Skretanje beta zraka u električnom i magnetnom polju, snimci putanje u maglenoj komori i drugi eksperimenti su potvrdili da jedna beta čestica predstavlja jedan elektron.

Ustanovljeno je da beta zraci potiču iz jezgra atoma, da nastaju konverzijom neutrona u proton i elektron:



Emisiju beta čestice prati zračenje energije, pa novonastalo jezgro ostaje sa manjom energijom, a to vodi ka manjoj masi (po Ajnštajnovoj relaciji za energiju i masu). Eksperimenti pokazuju da na ovaj način nastali elektron ostaje u jezgru veoma kratko, on vrlo brzo, gotovo odmah, bude izbačen kao beta čestica. Beta čestice imaju velike brzine koje se približavaju brzini svetlosti.

Eksperimentalna ispitivanja energija beta čestica sa jednog radioaktivnog tela pokazala su da u beta zračenju postoje dve komponente. Jedna komponenta pokazuje diskretnu strukturu (ima linijski spektar), a druga ne (ima kontinualan spektar). Ustanovljeno je da linijski spektar beta zraka potiče od sekundarne emisije elektrona. Naime, jezgra prilikom radioaktivne transformacije emituju i gama zrake. Gama zraci prolazeći kroz elektronski omotač mogu da stupe u interakciju sa elektronima i da ih izbace iz svojih putanja. Pošto gama zraci pri radioaktivnim transformacijama imaju veliku energiju, onda i ovakvi sekundarni elektroni po svojim energijama odgovaraju beta česticama koje potiču iz jezgra. Mehanizam opisane emisije sekundarnih elektrona daje prednost nekim energijama, pa se zato javlja diskretna struktura raspodele energija beta čestica nastalih na ovaj način. Beta čestice koje potiču iz jezgra imaju kontinualanu raspodelu energija. Spektar beta zraka se sastoji od kontinualnog spektra preko koga se superponira linijski spektar.

Teški radioaktivni elementi emituju uglavnom negativne beta čestice. Međutim, veštački radioaktivni izotopi, koji se po svom rednom boju nalaze bliže sredini periodnog sistema, pretežno emituju pozitivne beta čestice (pozitrone).

Gama zraci imaju prirodu elektromagnetskih talasa i ne skreću pod dejstvom električnog i magnetnog polja. Kvanti gama zraka imaju obično velike energije (odnosno velike frekvencije), pa spadaju u zrake veoma malih talasnih dužina. Gama zraci spadaju u veoma prodorno zračenje koje prolazi i kroz nekoliko desetina centimetara teških metala.

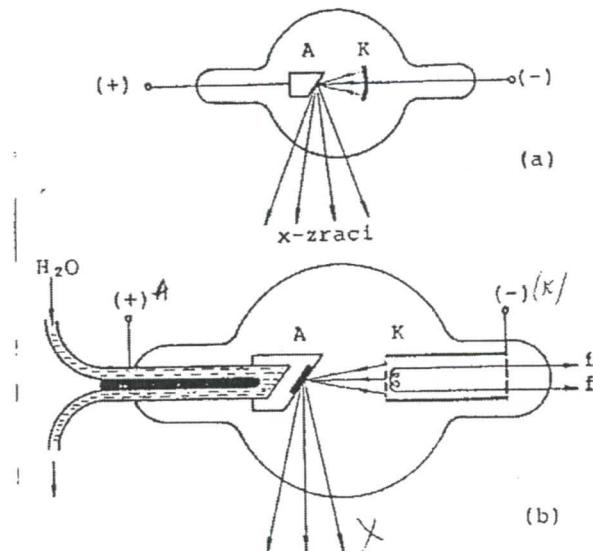
Emisija gama zraka obično ide paralelno sa emisijom alfa i beta zraka. Usled emisije alfa ili beta čestice vrši se energetsko preuređenje jezgra, pa novonastalo jezgro može ostati u ekscitovanom stanju i prolazeći u osnovno energetsko stanje emitovati gama kvant. Ovakva emisija gama kvanta sledi dezintegraciju jezgra u veoma kratkom intervalu vremena ($10^{-13} - 10^{16}$ s). Spektri gama zraka imaju izrazitu diskretnu strukturu i sastoje se od jedne ili više linija. Energija gama kvanta sa prirodnih radioaktivnih tela kreće se do 2,62 MeV.

Pri svakoj emisiji gama kvanta obavezno važi zakon o održanju ukupne energije. Energija emitovanog gama kvanta je uvek jednaka razlici ukupnih energija jezgra pre i posle emisije.

X-zraci

Radovima Bekerela i Kirijevih znatno je doprinelo otkriće x-zraka koje je 1895 otkrio nemački fizičar Vilhelm Rentgen. Rentgen je pokazao da x-zraci ne skreću u električnom i magnetnom polju, što potvrđuje da nisu nanelektrisane čestice. Laue je dokazao talasnu prirodu x-zraka. Barkla je 1906. godine pokazao da su x-zraci transferalno polarizovani kao i svetlost. X-zraci imaju veoma male talasne dužine 0,01nm do 10nm, a stvaraju se kada brzi elektroni padnu na supstancu.

X-zraci se proizvode u gasnim (sl. 2a) ili termoelektronskim cevima (sl. 2b).



Slika 2. Nastanak X-zračenja

Kod gasnih cevi unutrašnji pritisak gasa iznosi oko 0,001mbar, a razlika potencijala između katode K i antikatode A je obično reda 30000-50000 volti, Slika 2a. Elektroni izbijeni iz katode, udarima pozitivnih jona, zaustavljaju se na antikatodi, koja tada postaje izvor x-zraka. Katoda je obično takvog oblika da se katodni zraci (elektroni) fokusiraju na antikatodu. X-zraci se od antikatode prostiru na sve strane. Antikatoda se obično mora hladiti, jer se zagreva od udara elektrona, pošto se samo oko 1% energije snopa elektrona pretvara u energiju x-zračenja, a ostalo u toplotu.

Kod termoelektronske ili Kulidžove rentgenske cevi, Slika 2b, koristi se usijana katoda, koja emituje elektrone (termoelektronska emisija). Elektroni se zatim ubrzavaju između katode i antikatode, naponom koji je između njih priključen. Cilindrični deo katode je tako postavljen prema grejnom vlaknu, da bi se elektroni

što bolje fokusirali na antikatodi. Cev mora biti visoko evakuisana, tako da u njoj nema električnog pražnjenja kroz gas, i da bi slobodna putanja elektrona bila znatno veća od rastojanja A-K. Kod ovih cevi se može kontrolisati struja, snaga i temperatura grejnog vlakna. Kad cev radi dugo sa velikom snagom, mora se hladiti. Najčešće se materjal mete montira na šuplju anodu od bakra, kroz koju cirkuliše hladna voda. Mete u cevima su obično od volframa ili molibdena jer ovi metali imaju visoku tačku topljenja.

Novi tip cevi je betatron. U njemu se elektroni ubrzavaju indukovanim električnim poljem koje se stvara od vremenski promenljivog magnetnog polja. Mnogi betatroni rade sa krajnjim energijama elektrona od oko 100MeV , tako da se dobijaju x-zraci veoma prodorni i male talasne dužine. Ovi zraci se koriste za nuklearne eksperimente. [3]

Broj radioaktivnih jezgara koja se dezintegrišu u jednoj sekundi predstavlja aktivnost datog materijala. Jedna dezintegracija u jednoj sekundi predstavlja jedinicu aktivnosti Bekerel (Bq). Stara jedinica je Kiri (Ci), $1\text{Ci} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Bq}$.

Ionizujuće zračenje je zračenje koje ima sposobnost da izazove ionizaciju molekula u materijalu. Obuhvata X (rendgensko) i gama zračenje, te različite vrste snopova atomskih i subatomskih čestica velike brzine. Zajedničko svojstvo svih vrsta ionizujućeg zračenja je njihovo atomsko i subatomsko poreklo, kao i relativno velika energija koja im omogućava da vrše ionizaciju. Ali način na koji do te ionizacije dolazi zavisi od vrste zračenja. X i gama zračenja su oblici elektromagnetskih talasa. Njihova interakcija sa materijom ogleda se u tome da elektronima u materiji predaju svu ili deo svoje energije. Tako dobijeni energetski elektroni vrše dalju ionizaciju sredine.

Atomi istog elementa uvek imaju u svojim jezgrima isti broj protona, ali mogu da imaju različite brojeve neutrona. Oni koji imaju različite brojeve neutrona, ali isti broj protona, pripadaju različitim oblicima istog elementa i nazivaju se njegovim izotopima. Njih obeležavamo sabiranjem ukupnog broja čestica u njihovim jezgrima. Tako, ^{238}U ima 92 protona 146 neutrona; ^{235}U ima takođe 92 protona ali i 143 neutrona. Tako označeni atomi nazivaju se nuklidima. Većina nuklida je nestabilna, oni se transformišu uz oslobođanje energije, to su radionuklidi.[2]

1.2.IZVORI JONIZUJUĆEG ZRAČENJA

Prirodni zemaljski radionuklidi su najčešći i najznačajniji izvori ionizujućeg zračenja. Veoma veliki broj radionuklida formiran je u procesu nukleosinteze pre

nekoliko milijardi godina. Neki nestabilni, tada formirani izotopi više ne postoje na Zemlji. Danas postoje samo jezgra čiji je period poluraspada veći od $5 \cdot 10^8$ godina, dovoljno dug u odnosu na starost Zemlje: ^{238}U ($T_{1/2} = 4,47 \cdot 10^9$ god), ^{235}U ($T_{1/2} = 7,04 \cdot 10^8$ god), ^{232}Th ($T_{1/2} = 1,4 \cdot 10^{10}$ god) koji su začetnici tri prirodna radioaktivna niza i ^{40}K ($T_{1/2} = 1,28 \cdot 10^9$ god), najvažniji prirodni radionuklid van serija. Ovi radionuklidi se međusobno razlikuju kako po fizičkim, tako i po geohemijskim osobinama. Postoje razlike u vremenima poluraspada i tipovima radioaktivnog raspada, intenzitetima zračenja, apsolutnoj obilnosti u atmosferi, relativnoj izotopskoj obilnosti, načinu pojavljivanja, migraciji i geohemijskim ciklusima.

Uranijum i radijum se pojavljuju u litosferi i hidrosferi u stenama, rudama, zemljisu, kao i u podzemnim i površinskim vodama. U najvećim koncentracijama se pojavljuju u rudama, u sopstvenim rudnim ležištima ili kao primese u rudama fosfata, olova i cinka. Zbog svog geohemijskog karaktera značajno se koncentrišu u kiselim magmatskim stenama, škriljcima i glincima.

Sadržaj ovih radionuklida zemaljskog porekla na različitim geološkim strukturama terena u Srbiji razlikuje se oko deset puta. Najniže vrednosti su na terenima serpentina, a najviše na terenima granita.

Površinskim raspadanjem stena i ruda sa sadržajem radionuklida, biohemijskim procesima kao i interakcijama podzemnih voda sa stenama, odnosno rudama, radionuklidi mogu da budu prevedeni u mobilnu fazu i rasejani ili redeponovani, a mogu i da se akumuliraju na mestu odigravanja procesa. U ovim procesima dolazi i do razdvajanja radionuklida što dovodi do različitih koncentracija aktivnosti ovih radionuklida u raznim stenama.

Tabela 1. Koncentracije aktivnosti prirodnih radionuklida u nekim stenama

RADIONUKLID	Stene		
	bazalit	sieniti	granit
^{40}K [B/kg]	210	1400	1290
^{232}Th [B/kg]	6,5	69,2	87,5
^{238}U [B/kg]	5,3	102,0	59,7

- ^{40}K lako je rastvoran i migrativan, apsorbuju ga čestice minerala gline, ima ga u prirodnom kalijumu oko 0,0117%, pa svaki gram kalijum ima aktivnost od 31Bq. Kalijum je jedan od glavnih radionukleida u biosferi, neophodna komponenta dugom lancu ishrane (zemljiste-biljke-životinje-čovek). Prosečan čovek unese hranom oko 44kBq ^{40}K godišnje. Ravnotežni sadržaj u organizmu žena je oko 2,8 kBq, a muškarca 4,2 kBq.

- Torijum je u površinskim uslovima imobilan.

- Uranijum oksidiše do šestovalentnog stanja u kome obrazuje rastvorne i migrativne anjone(uranil-jon,...). Dolazi do razdvajanja torijuma i uranijuma i obrazovanja širokih oreola disperzija uranijuma u vodama, stenama, zemljištu i vegetaciji.
- Radijum, potomak uranijuma,kao rastvoren katjon veoma je migrativan i kada je uranijum imobilisan, pa se u zemljištu i u vodama nalazi razdvojen od uranijuma.
- Radon, nastaje raspadom radijumovih jezgara, najznačajniji je za "kontaminaciju" atmosfere. Radon je prirodan. inertan radioaktivni gas, bez ukusa i mirisa, rastvorljiv je u vodi ima gustinu 7,5 puta veću od gustine vazduha. Period poluraspada radona je 3,8 dana,a vreme polueliminacije iz pluća 30 minuta. Emituje alfa čestice energije 5,5 MeV. Raspadom jezgra radona ^{222}Rn nastaju kratkoživeće potomci ^{218}Po , ^{214}Pb , ^{214}Bi , koji su odgovorni za visok radijacioni zdravstveni rizik.

Istraživanja vršena poslednje decenije pokazuju da se oko 70% od ukupnog kancera pluća pripisuje udisanju radioaktivnog gasa radona. U građevinske objekte radon dospeva prvenstveno difuzijom iz zemljišta na kojima je sagrađen objekat, građevinskog materjala i vode koja se koristi u samom objektu. Zbog velikog koeficijenta difuzije i dovoljno dugog vremena poluraspada radon difunduje kroz gornje slojeve zemlje i sa dubine od nekoliko stotina metara.

Koncentracija radona u zatvorenim prostorijama je oko 10 puta veća nego na otvorenom prostoru, pa je u njima rizik mnogo veći , pogotovo ako se ima u vidu da čovek oko 2/3 ukupnog vremena provodi u zatvorenom prostoru. Direktни putevi ulaska radona iz zemljišta u zgrade su napravljene u betonskim pločama i zidovima, loše veze između zidova i ploča, podni slivnici pokriveni perforiranim poklopциma.

Kad se radon i slobodni potomci udahnu, zadržavaju se delimično u nosu, usnoj šupljini i gornjim delovima traheje, a delom u trahejobronhijalnom i pulmonalnom tkivu. Iako imaju mali domet alfa čestice radonovih potomaka deponovanih u plućima su izuzetno opasne zbog velike moći ionizacije.Kad prođu u organizam tokom desetbilionitog dela sekunde izazivaju ionizaciju atoma tkiva.

Internacionalna komisija za radiološku zaštitu (ICRP) donela je 1994.godine preporuku za zaštitu od radona u stambenim i radnim prostorijama. Prema preporukama ICRP u zatvorenim prostorijama mogu da se tolerišu nivoi radona do $200\text{Bq}/\text{m}^3$.[1]

Prirodna radioaktivnost svih voda naše planete iznosi oko $1,7 \cdot 10^{22}\text{Bq}$, litosferе oko $1,4 \cdot 10^{25}\text{ Bq}$, a atmosferе Zemlje $3 \cdot 10^{18}\text{ Bq}$.

Sem ovih prirodnih izvora radioaktivnosti deo prirodnog ionizujućeg zračenja potiče od kosmičkog zračenja (za Srbiju oko 0.30 mSv/god.). Korpuskularna zračenja relativističkih brzina koja dolaze iz kosmosa nazivaju se kosmička zračenja. Njih sačinjavaju elektroni, protoni i jezgra lakših elemenata ogromnih

energija (najčešće između 10^{11} i 10^{13} eV). Primarna kosmička zračenja nastaju pri eksplozijama supernova i ono što dospeva na našu planetu sa svih strana iz kosmosa je rezultat miliona eksplozija koje su se odigrale u toku života naše Galaksije. Primarni kosmički zraci dolaze iz međuzvezdanog prostora. Preko 90% tih zraka čine protoni, a manji deo čine alfa čestice.

Primarni Sunčevi kosmički zraci nastaju prilikom eksplozija na Suncu. Tada nastaju protoni i alfa čestice koje kreću prema Zemlji. Količina tih zraka je veća u gornjim slojevima atmosfere, a što se više približavamo Zemlji njihov intenzitet opada. Doza kosmičkog zračenja raste sa porastom nadmorske visine.

Primarni kosmički zrak na svom putu interaguje sa jezgrima atoma na koja nailazi (međuzvezdani ili međuplanetarni prostor) i kroz niz nuklearnih reakcija stvara sekundarna kosmička zračenja. Prilikom sudara najčešće se oslobađaju protoni i neutroni, ali i druge čestice (alfa i gama zračenje).

Elektromagnetna zračenja viših energija (gama i x-zraci) imaju poreklo u procesima koji se odigravaju na različitim tipovima zvezda (pulsari emituju gama zrake, crne jame su izvor x-zračenja).

Sunčev vetar su pozitivno nanelektrisane čestice (protoni) koje stalno i u svim pravcima odlaze sa Sunca. Njihove brzine su male. Sa Sunca polaze i x-zračenja koja nastaju procesima u koroni gde je temperatura oko $2 \cdot 10^6$ K.

Radionuklidi stvarani u atmosferi nastaju bombardovanjem pojedinih elemenata kosmičkim zracima. Kao posledica nastaju protoni, neutroni i druge čestice. Neutroni koji su izbijeni iz nekog jezgra nastavljaju sa kretanjem. Prilikom kretanja se sudaraju i gube energiju. Kada izgube energiju neutroni (koji su nenanelektrisani) lako prodiru u jezgra drugih elemenata, čineći ih nestabilnim. Novonastali radionuklid se raspada, pri čemu može emitovati gama zrake i (ili) drugi nuklid, odnosno atom koji će biti nestabilan i zato radioaktivran.

Najznačajniji radionuklidi koji nastaju interakcijom kosmičkog zračenja sa komponentama atmosfere su ^7Be , ^{14}C i ^3H .

Prirodni izvori mogu da budu i modifikovani ljudskom delatnošću (koncentrisani tehnološkim postupcima) i u mirnodopskim uslovima njih uglavnom čine: kosmičko zračenje na većim visinama (aerotransport); radionuklidi koji se javljaju pri sagorevanju i/ili deponovanju fosilnih goriva; radionuklidi koji se redistribuiraju građevinskim materijalom, rudarskom delatnošću i mineralnim đubrivismima. Odlaganje radioaktivnog otpada je čest problem. Potrebno je izabrati lokaciju tako da mogući uticaj bude ograničen na manje brojne i manje osetljive biljne i životinjske zajednice. Postoji više načina odlaganja radioaktivnog otpada: tunelski, površinski,... Nije zanemarljiv ni radioaktivni otpad koji nastaje u medicinskim ustanovama.[6]

Modifikovani prirodni izvori radioaktivnosti primenjuju se i u vojne svrhe, te smo, nažalost, pre kratkog vremena bili (u ratnim uslovima) izloženi mogućem riziku usled primene projektila od osiromašenog uranijuma. U kompleksnim postrojenjima, u cilju dobijanja nuklearnog goriva za reaktore, sadržaj ^{235}U povećava se na oko 3%, a kao nusprodukt ostaje prirodni uranijum, sa sadržajem $^{235}\text{U} < 0.5\%$ tzv. "osiromašeni" uranijum, niskoradioaktivni materijal. Usled velike čvrstoće i gustine, veoma je pogodan za izradu bojeve municije.

Aktivnost standardno korišćenog projekta iz letilice A – 10 "Warthog", kalibra 30mm, mase oko 300 g iznosi 3.4 MBq što grubo odgovara aktivnosti prirodnog uranijuma u 100 t zemljišta. Prilikom eksplozije ovakvog projektila na visokoj temperaturi formiraju se oksidi uranijuma, koji u formi aerosola kontaminiraju vazduh, a nakon brzog taloženja i zemljište, usled čega se na užoj lokaciji javlja radijacioni rizik pri inhalaciji i ingestiji (zemljište-hrana-čovek). Nakon Zalivskog rata u regiji je ostalo oko 300 t radioaktivnog materijala od ovakvih projektila, a korišćeni su i u Bosni, Republici Srpskoj i južnoj Srbiji.

Sem prirodnih izvora ionizujućeg zračenja od 60-tih godina ovog veka značajan problem predstavljaju proizvedeni (veštački) izvori ionizujućeg zračenja. Prema podacima UNSCEAR (United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation), usled probnih nuklearnih eksplozija u stratosferu je ispušteno $9.6 \cdot 10^{17}$ Bq, što je nakon stratosferskog taloženja izazvalo globalnu kontaminaciju biosfere radionuklidima ^{137}Cs , ^{90}Sr , koji predstavljaju dva najkritičnija proizvedena dugoživeća radionuklida. ^{137}Cs ($T_{1/2} = 30.2$ god.), kao analog kalijuma, nakon interne kontaminacije nalazi se u svim tkivnim tečnosrima, dok se ^{90}Sr ($T_{1/2} = 28.8$ god.), kao analog kalcijuma deponuje u kostima gde ostaje dugi niz godina zračeći ne samo tkivo kostiju već i matične ćelije u šupljinama kostiju od kojih nastaju hematopoezne ćelije i ćelije koštanog tkiva.

Do 80-tih godina koncentracija aktivnosti ovih radionuklida su već postale veoma niske, ali se javio novi problem – havarija nuklearnog objekta u Černorilu pri kojoj je ispušteno $3.8 \cdot 10^{16}$ Bq ^{137}Cs , od čega je 10% dospelo na teritoriju SFRJ.

Černobilska katastrofa je najveća nuklearna katastrofa u istoriji, posledice i sad trpi više od 1,5 miliona ljudi koji žive u ozračenoj oblasti. Eksplozija u černobiljskom reaktoru u noći između 25. i 26. aprila 1986. emitovala je 400 puta više radijacije nego atomska bomba bačena na Hirošimu. U incidentu je kontaminirano 150.000 kvadratnih kilometara na području Ukrajine, Belorusije i Rusije, zračenju je bilo izloženo najmanje sedam miliona ljudi, od kojih je, prema podacima britanskih naučnika, umrlo ili će umrijeti između 30.000 i 60.000. Od bolesti disajnih organa, krvotoka i nervnog sistema obolelo je oko 70.000 ljudi u kontaminiranim zonama, a broj obolelih od raka štitne žlezde porastao je 10 puta od

1986 godine. Stručnjaci smatraju da je nivo radioaktivnog zagađenja toliko visok da će u toj zoni normalan život biti moguć tek za 500 godina.[7]

Sem katastrofe u černobiljskoj nuklearnoj elektrani, u poslednjih 50 godina bilo je par stotina drugih incidenata o kojima šira javnost zna malo ili nimalo.

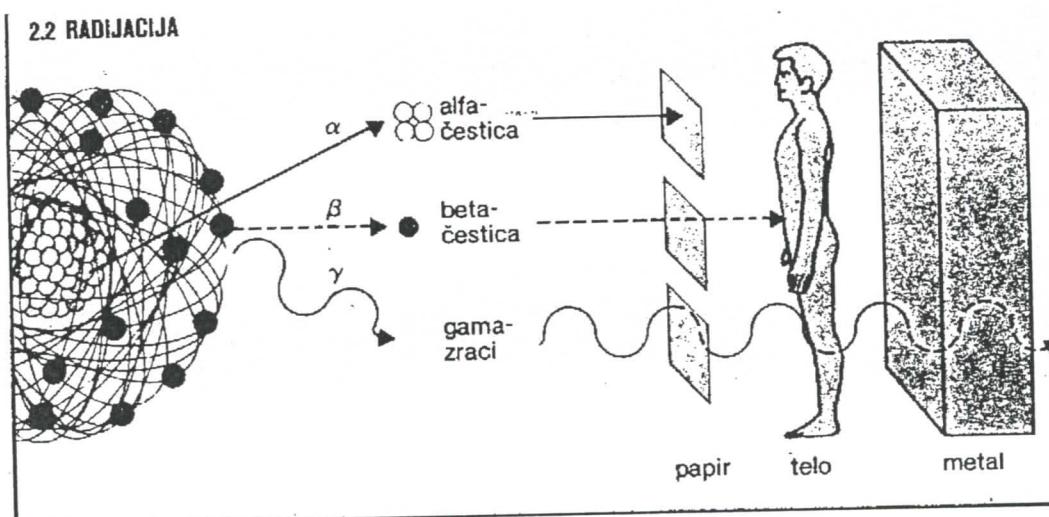
Sem navedenih izvora najveći ideo u izlaganju stanovništva ionizujućem zračenju imaju izvori ionizujućeg zračenja u medicini (dijagnostika i terapija – preko 30%). Radioskopija i radiografija su najčešći oblici izlaganja ispitanika zračenju. Poseban vid masovnog ozračenja je sistematsko fluorografsanje. X i gama zraci se koriste u terapiji nekih oboljenja uglavnom maligne prirode. Radioaktivni obeleživači se veoma često primenjuju kao obeleživači u toku dijagnostičkih postupaka. Najčešće korišćeni izotopi u dijagnostici su ^{131}I , ^{55}Fe , ^{59}Fe , ^{51}Cr , ^{57}Co , ^{58}Co , ^{60}Co . Danas je medicinska primena izvora zračenja najznačajnija komponenta u ukupnoj količini zračenja koju jedna populacija apsorbuje tokom dužeg vremenskog perioda.

Znatan broj ljudi zaposlenih u industriji, nauci i zdravstvu izložen je dejству zračenja u svom profesionalnom radu. Izvori zračenja za ove grupe ljudi su radioaktivni izotopi i veštački izvori zračenja, kao što su uredaji za radiografiju X-zracima ili neutronima i akceleratori. Sa povećanjem broja nuklearnih elektrana i sve masovnijom primenom zračenja u industriji, zdravstvu i nauci može se očekivati da će profesionalno izlaganje zračenju predstavljati sve značajniji faktor u ukupnoj kontaminaciji populacije. Manje značajni izvori su u javnoj upotrebi, gromobrani, javljači požara, koji u sebi sadrže radioaktivni izvor Americijum 241. Sve više se, u skladu s međunarodnim preporukama, uklanjuju radioaktivni gromobrani i zamenjuju klasičnim gromobranskim instalacijama.[6]

2. DEJSTVO JONIZUJUĆEG ZRAČENJA NA ŽIVU MATERIJU

2.1. UVOD

Različiti oblici radijacije razlikuju se po energiji i prodornoj moći, pa stoga imaju i različito delovanje na živa bića



Slika 3. Prodorna moć radioaktivnog zračenja

Alfa radijacija, koja se sastoji od protona i neutrona, može da bude zaustavljena listom papira, i ona jedva da prodire kroz spoljne slojeve epitela na koži. Ova radijacija stoga i nije opasna, ukoliko supstance koje je emituju ne prođu u telo kroz neku otvorenu ranu, ili ako ih ne pojedemo ili udahnemo – u tom slučaju ono nanosi velika oštećenja. Beta radijacija je prodornija. Ona prolazi kroz jedan do dva centimetra živog tkiva. Gama radijacija, koja se prostire brzinom svetlosti, krajnje je prodorna i prolazi kroz sva tela, izuzev kroz debele ploče od olova ili betona.[2]

2.2. DOZE ZRAČENJA

Energija radijacije je ta koja izaziva oštećenja, a količina energije deponovane u živom tkivu naziva se dozom. Doza može da potiče od bilo kojeg radionuklida ili više radionuklida, bez obzira da li oni ostaju izvan tela ili ga ozračuju iznutra, pošto su udahnuti sa vazduhom ili progutani sa hranom ili vodom. Doze se različito izražavaju, zavisno od toga koliko je ozračeno neko telo i koji su njegovi delovi

ozračeni, da li je jedan čovek ili su mnogi ljudi izloženi radijaciji i koliki je period izloženosti.

Količina energije zračenja koja se apsorbuje po gramu tkiva naziva se *apsorbovanom dozom* a meri se jedinicom koja se zove **grej(Gy)**, obeležava se slovom D. Iste doze različitih vrsta zračenja izazivaju različita oštećenja. Zato je potrebno da se odredi moć neke doze da izazove oštećenja. Doza uvećana odgovarajućim težinskim faktorima poznata je pod nazivom *ekvivalentna doza*, a meri se jedinicom koja se zove **sivert (Sv = J·kg⁻¹)**.

Brzina apsorbovane doze (ili jačina doze) je količina energije ionizujućeg zračenja koju akumulira jedinica materije u jedinici vremena.

$$D = dD / dt [\text{Gy/s}]$$

Veličina brzine apsorbovane doze je bitna jer od nje zavise učinci ionizujućeg zračenja na živu materiju. Ukoliko dve jedinke apsorbazu istu dozu zračenja, ali u različitom vremenu, (sa različitom brzinom apsorbovane doze), posledice će biti različite, što je prikazano u tabeli 1.

Tabela 1.Zavisnost učinka iste doze zavisno od vremena zračenja

	a	b
ukupna D	4Gy	4Gy
brzina D	1Gy/h	0.1Gy/h
dužina ozračivanja	4h	40h
rezultat	može uginuti	blaže posledice

Faktor kvaliteta Q je faktor kojim treba pomnožiti apsorbovanu dozu (D) kako bi saznali kolika je šteta nanesena ozračenim jedinkama bilo kojom vrstom ionizujućeg zračenja, što je prikazano u tabeli 2.

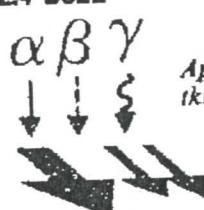
Tabela 2. Vrednosti faktora kvaliteta za različite vrste zračenja

FAKTOR KVALITETA Q

	Q	$\int \Phi dt$ koji odgovara 1 rem (10^8 n/cm 3)
Gama zračenje	1	
Elektroni	1	
Alfa čestice $E_\alpha < 10$ MeV	10	
Protoni $E_p < 10$ MeV	10	
Fisioni fragmenti (teške čestice)	20	
Neutroni:		
termički	2,3	9,5
10^{-7} do 10^{-4} MeV	2	8,5
10^{-3} do 10^{-2}	2	10
10^{-1}	7,5	1,75
5 do 10^{-1}	11	0,52
1	10,5	0,31
2	9,3	0,25
5	7,8	0,24
10	6,8	0,24

Najmanji efekat zračenja na biološka tkiva pokazuje gama zračenje i za njega je usvojena $Q=1$. Sličan efekat imaju elektroni, pa je i za njih $Q=1$. Za ostale vrste zračenja Q je veće od jedan, što se vidi u tabeli 2.

2.4 DOZE



Apsorbovana doza: energija uneta radijacijom po gramu tkiva

Ekvivalentna doza: apsorbovana doza merena po moći različitih zračenja da izazovu oštećenja



Efektivna ekvivalentna doza: ekvivalentna doza merena osjetljivošću različitih tkiva na oštećenja



Kolektivna efektivna ekvivalentna doza: efektivna ekvivalentna doza za grupu ljudi za određeni izvor zračenja



Angažovana kolektivna efektivna ekvivalentna doza: kolektivna efektivna ekvivalentna doza koju će tokom vremena primiti generacije ljudi

Slika 4. Doze zračenja



Neki delovi tela su osetljiviji od drugih; određena ekvivalentna doza će sa većom verovatnoćom izazvati smrtonosni rak u plućima nego u štitnoj žlezdi, na primer, a reproduktivni organi su naročito ugroženi zbog opasnosti od genetskog oštećenja. Različiti delovi tela su zato rangirani po osjetljivosti, prikazano u tabeli 3. Kad se uzme u obzir i ovo rangiranje, ekvivalentna doza postaje *efektivna ekvivalentna doza* koja se takođe izražava u sivertima.

Tabela 3.Faktor rizika za pojedine delove tela

**FAKTOR RIZIKA - TEŽINSKI FAKTOR
za pojedine delove tela (ICRP 1977.):**

celo telo	1 (100%)
jajnik, testis	0.25 (25%)
koštana srž	0.12 (12%)
površina kostiju	0.03 (3%)
štitnjača	0.03 (3%)
grudi	0.15 (15%)
pluća	0.12 (12%)
ostala tkiva	0.30 (30%)

Ovim nazivima označene su samo individualne doze. Saberemo li sve individualne efektivne doze koje je primila grupa ljudi, dobija se "kolektivna efektivna ekvivalentna doza" i izražava u čovek-sivertima (čovek Sv). Mnogi radionuklidi se sporo raspadaju pa će biti radioaktivni i u dalekoj budućnosti. Zato uvodimo pojam "angažovana kolektivna efektivna ekvivalentna doza". To je kolektivna efektivna ekvivalentna doza koju će tokom vremena primiti generacije ljudi.

Da nuklearno zračenje ne bi imalo nepoželjne posledice po ljude, propisuju se maksimalno dozvoljene doze za određene vremenske periode. Pri tome se razlikuju maksimalno dozvoljene doze za profesionalno osoblje i za stanovništvo oko nuklearnih elektrana i drugih nuklearnih objekata. Dozvoljene doze zračenja za profesionalno osoblje su obično veće nego za ostalo stanovništvo, jer se ima u vidu da je profesionalno osoblje stalno pod medicinskom i drugom kontrolom. Podaci su u tabeli 4.

Tabela 4.Dopuštene doze zračenja

DOPUŠTENE GODIŠNJE (KVARTALNE) DOZE ZRAČENJA

	Profesionalno osoblje	Stanovništvo*
Čitavo telo, polni organi i koštana srž	5 rem/g 8 rem/kvartal	0,5 rem/g
Šake, stopala, nokti	70 rem/g	7,5 rem/g
Kosti, štitna žlezda, koža	30 rem/g 40 rem/kvartal	3 rem/g
Drugi organi	15 rem/g 15 rem/kvartal	1,5 rem/g
Posebni uslovi rada	Izuzetno dozvoljeno premašenje kvartalne doze do dvostrukе godišnje	.
Akcidentalne situacije	Prema okolnostima	
Čitavo stanovništvo		5 rem/30 g.

* Prirodna doza iznosi oko 0,1 rem/g, ali tako varira sa lokacijom.

Stara jedinica za ekvivalentnu dozu je rem (1 Sv = 100 rem).[2]

Doza opravdanog rizika (DOR) je doza koju može primiti pojedinac koji se upućuje na kontaminirano područje sa određenim zadatkom, a da pri tome posledice tog ozračivanja ne budu štetne. U slučaju većih nezgoda doći će do kontaminacije u radijusu od najmanje 30km. Osoba koja je primila DOR ne sme se ozračivati sledeća 2 do 3 meseca. DOR za jednokratno ozračivanje je $13\text{mC}\cdot\text{kg}^{-1}$. DOR za višekratno ozračivanje je $26\text{mC}\cdot\text{kg}^{-1}$. Svaka pojedinačna dnevna doza ne sme biti veća od $2,58\text{mC}\cdot\text{kg}^{-1}$.

Radioterapija je primena radioaktivnog izvora u cilju lečenja malignih oboljenja. Posebno se koriste x-zraci dobijeni pomoću terapeutskog rendgena, gama zraci iz radijuma (Ra²²⁴) ili cezijuma (₅₅Cs¹³⁷) i beta zraci iz katodnih cevi. Terapeutska doza se kreće od oko 40 Gy za maligni limfom, a do 50-60 Gy za druge karcinome, raspoređeno kroz 20-24 dana.

U tabeli 5 su navedene neke tipične doze zračenja prilikom rendgenskih snimanja.

Tabela 5. Tipične doze zračenja prilikom rendgenskih snimanja

Neke tipične doze zračenja na koži prilikom rendgenskih pretraga. Tkiva prime 1-10% maksimalne doze na koži.

organ koji slikamo	mSv	mrem
pluća (anterior-posterior)	0.3	30
pluća (latero-lateralno)	1.0	100
jajnici (pri snimanju pluća)	0.01	1
zub (periapikalno)	3.5	350
lobanja (lateralno)	2.5	250
lobanja (anterior-posterior)	8.5	850
trbuš (anterior-posterior)	7.5	750
jajnici (pri snimanju trbuha)	1.25	125
kralježnica		
fluoroskopija trbuha	30 mSv/min = 0.5 mSv/s	
kompjuterska termografija tijela	40.00	4000

Doza EED pri različitim radioizotropnim pretragama

mozak - aplicira se tehnecijum ($^{43}\text{Tc}^{99}$)	6.5 mSv	650 mrem
štitnjača - aplicira se jod (^{131}I)	7.5 mSv	750 mrem

Od svog osnivanja, 1957. godine Međunarodna komisija za atomsku energiju-IAEA (International Atomic Energy Agency), na osnovu preporuka ICRP, podataka UNSCEAR, mišljajna WHO (World Health Organization) i Međunarodne organizacije rada ILO (International Labour Office), formira osnovne **norme-standarde sigurnosti**, koji služe svim zemljama članicama kao referenca u nacionalnom zakonodavstvu iz domena zaštite od ionizujućeg zračenja.

Najnovijim preporukama ICRP (International Commission for Radioactivity Protection) snižava se granica godišnje doze za profesionalce na 20 mSv godišnje usrednjeno na 5 godina (maksimalno godišnje 50 mSv). Kad se radi o ostatku stanovništva (a tu su deca, trudnice, starije osobe i hronični bolesnici koji su

posebno osetljivi na zračenja, dozvoljava se doza od 1 mSv godišnje, sa maksimalnim izlaganjem od 5 mSv tokom jedne godine, pod uslovom da se ne prekorači srednja godišnja vrednost od 1 mSv tokom 5 godina.

Opšte prihvaćen međunarodni koncept za određivanje prihvatljivog nivoa rizika **ALARA** (As Low As Reasonably Achievable), predstavlja zahtev da sve doze budu onoliko niske koliko je to razumno moguće postići, pri čemu se uzimaju u obzir ekonomski i društveni faktori, ali se prednost uvek daje zdravstvenim faktorima.

2.3.RADIJACIONO-HEMIJSKI PROCESI U TKIVU

Tkivo se sastoji većinom od atoma niskog atomskog broja (C, H, O...). U najgrubljim crtama ćelije možemo predstaviti kao mešavinu molekula vode i organskih molekula (nukleinske kiseline, proteini, lipidi...). [1]

Zračenje može delovati na dva načina:

1. direktnom interakcijom sa biološki važnim organskim molekulima koje rezultira oštećenjem tih molekula
2. indirektnom interakcijom koja je prouzrokovana delovanjem produkata radiolize vode na te organske molekule.

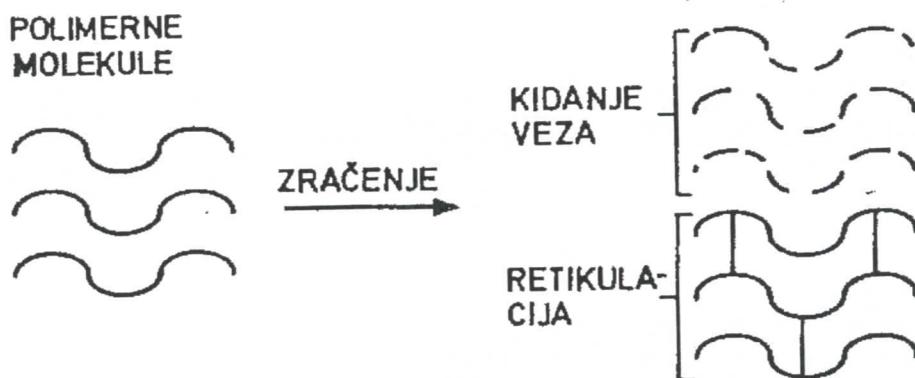
2.3.1. Direktna interakcija

Energija jonizovanog zračenja biva apsorbovana u materiji kroz koju prolazi. Kada visokoenergetsko nuklearno zračenje prolazi kroz materiju (bez obzira da li je živa ili neživa) dolazi do primarne interakcije sa elektronima date sredine. Energija upadnog zračenja biva predata elektronima, nastaju brzi elektroni, koji prolazeći dalje kroz materiju gube tu energiju različitim mehanizmima, pri čemu su najinteresantniji jonizacija i ekscitacija atoma i molekula materije mete. Jonizacioni potencijal za većinu elemenata koji ulaze u sastav organskih molekula raznih tkiva je do 20eV, te izbačeni elektroni imaju širok spektar energija i proizvode niz sekundarnih ekscitacija i ionizacija. Veliki deo energije koju ionizujuće zračenje preda atomima supstance kroz koju prolaze se pretvara u topotu.

Pobuđeni i ionizovani molekuli imaju višak energije i zato su nestabilni. Taj višak energije može biti oslobođen emisijom fotona, kidanjem jedne kovalentne veze i cepanjem molekula na dva radikala. Kovalentna veza (:) se sastoji od para elektrona koji su spareni sa antiparalelnim spinovima. Prilikom prekida te veze svaki fragment odnosi sa sobom jedan nespareni elektron (·). Molekularni fragment sa nesparenim elektronom zovemo *slobodnim radikalom* i obeležavamo ga sa \dot{R} . Nespareni

elektron u radikalu daje mu veliku hemijsku reaktivnost. Stvoreni radikali reguju između sebe ili sa drugim molekulima. Kad se rekombinacija radikala završi , svi se molekuli ponovo nalaze u stabilnom stanju , hemijski sastav im je promenjen i neki od njih su oštećeni u biološkom smislu.

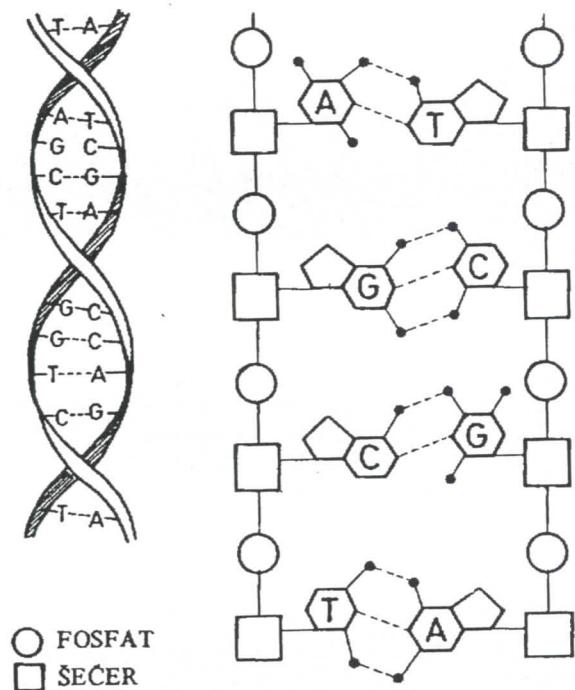
Tip oštećenja zavisi od strukture molekula. Uslučaju organskih polimera, lanci molekula mogu da dožive kidanje ili retikulaciju (premoštavanje između molekula), što je prikazano na slici 5.



Slika 5.Kidanje (retikulacija) lanaca molekula

Mehanizam interakcije ionizujućeg zračenja razjašnjen je nakon otkrića helikoidne strukture DNK. Genetske informacije o strukturi i funkciji ćelije potiču od molekula DNK koji su smešteni u jedru ćelije, gde zajedno sa proteinima i malom količinom RNK obrazuju hromozome. Molekul RNK je jednočlan. Molekul DNK se sastoji od dva lanca nukleotida koji su međusobno povezani vodoničnim vezama i uvijeni tako da čine dvostruku spiralu (slika 6.).

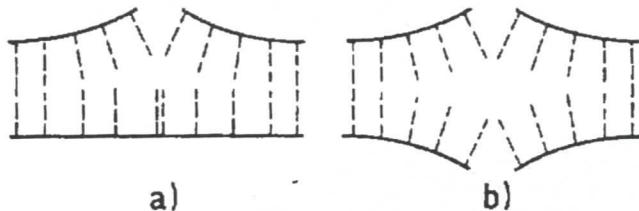
Specifično sparivanje purinskih i pirimidinskih baza između dva nukleotidna lanca (desno), koje molekulu DNK daje izgled dvostrukе spirale (levo)



Slika 6. Molekul DNK

Ovojnicu spirale diheliksa čine šećeri – pentoze, povezani preko fosforne kiseline, a središnji deo heterociklične organske baze (purinske i pirimidinske) međusobno povezane vodoničnim vezama. Vodonične veze su odgovorne kako za helikoidnu strukturu tako i za raspored baza u DNK i javljaju se između jedne purinske i jedne pirimidinske baze. Te dve baze tačno odgovaraju jedna drugoj i samo njih dve mogu da grade jedan par sa strogo definisanom dužinom vodonične veze. Tako su u DNK adenin i timin (A-T) vezani preko dve, a citozin i gvanin (C-G) preko tri vodonične veze.

Direktna interakcija ionizujućeg zračenja sa elektronima DNK molekula manifestuje se prekidom jednog ili oba heliksa, (slika 7), usled kidanja fosfodiestarskih veza, oštećenjem same baze i /ili kidanjem vodoničnih veza.

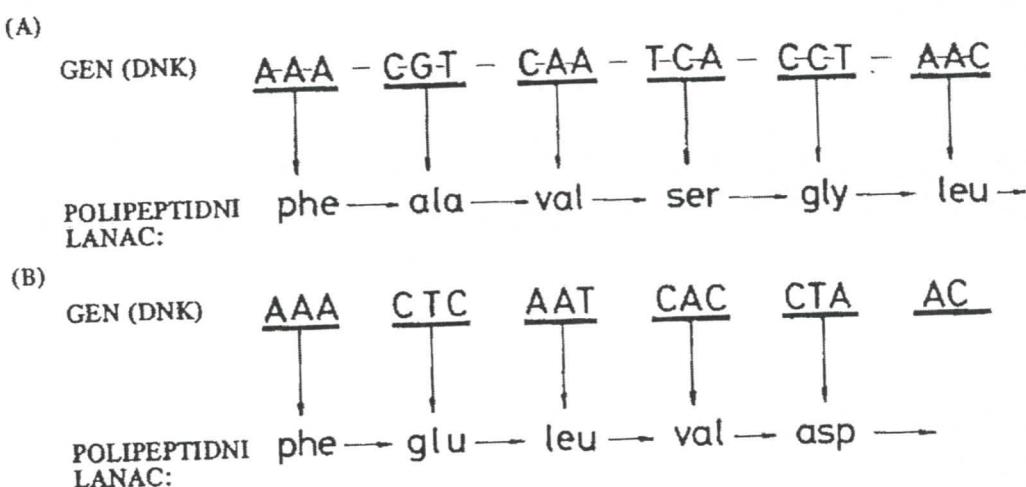


Slika 7. Direktna interakcija ionizujućeg zračenja sa elektronima DNK molekula,
a)jednostruki prekid, b) dvostruki prekid

Jednostruki prekid je kada jedan od lanaca puca (sl.7a). U procep ulaze molekuli vode i dolazi do prekida vodoničih veza između baza.

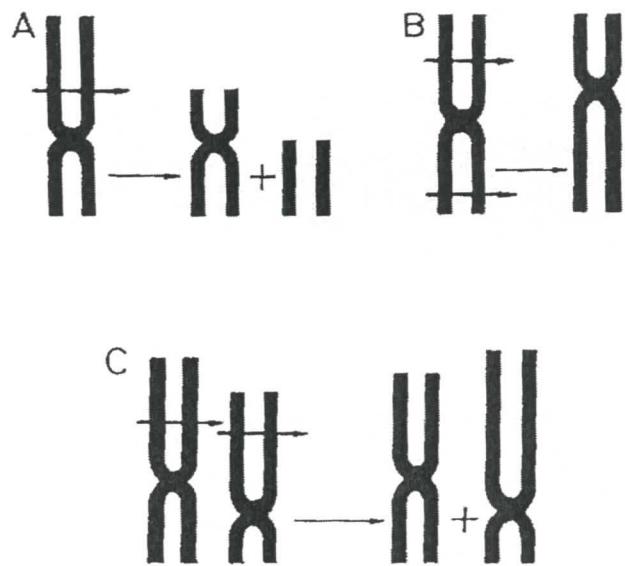
Dvostruki prekid je kad oba lanca imaju prekid (sl.7b). Udaljenost između prekida nije veća od tri nukleotida. Obično se javi jedan dvostruki prekid za vreme deset jednostrukih prekida.

Kidanje vodoničnih veza dovodi do nemogućnosti prepoznavanja parova A-T i C-G pri replikaciji DNK, odnosno do neregularnog sparivanja i mutacija. Sa apsorpcijom ionizujućeg zračenja u biološkom sistemu nastaju vrlo brze fizičke i hemijske promene. Slike 8, 9 i 10 ilustriraju neke od promena na ćelijama koje nastaju kao posledica interakcije ionizujućeg zračenja sa molekulima.



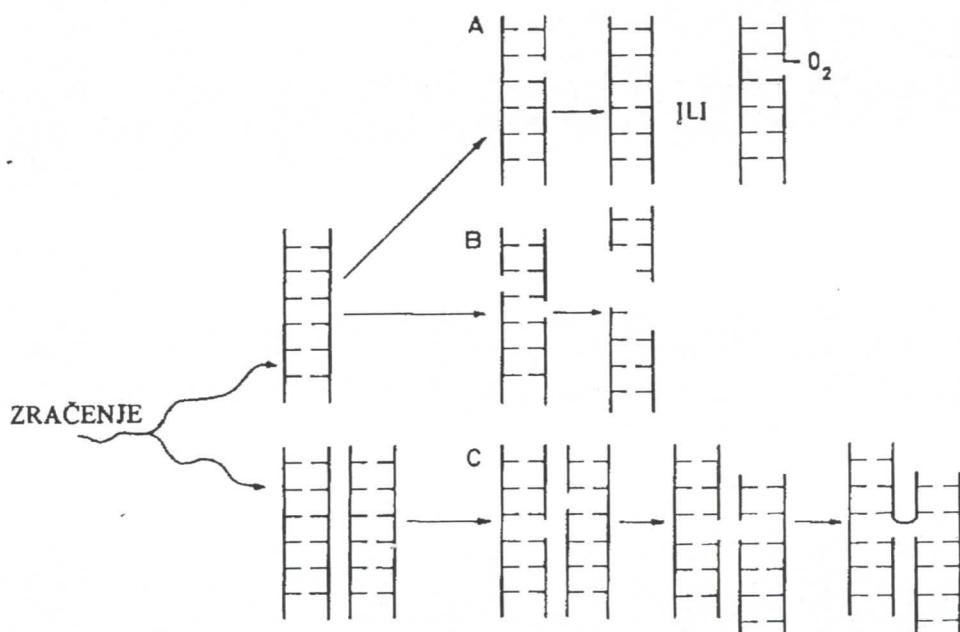
Mutacija kao posledica gubitka jedne baze u lancu DNK. Prikazan je redosled aminokiselina u segmentu polipeptidnog lanca, koji je pod kontrolom segmenta DNA u kome je prisutna (A) i odsutna (B) baza guanin (G)

Slika 8. Mutacija kao posledica gubitka jedne baze u lancu DNK



Slika 9. Nastanak i izgled nekih tipova hromozomskih aberacija: (A)-gubitak genetskog materjala (delecija); (B)- izmenjen redosled genetskog materjala (inverzija); (C)- genetski materijal razmenjen sa drugim hromozomom (translokacija).

Kako zračenje dovodi do cepanja ili kidanja hromozoma, to prouzrokuje njihovu novu organizaciju i samim tim utiče na povećanje smrtnosti kod ljudi koji su jako ozračeni. Hromozomi ostaju kao pojedinačni ili se spajaju sa drugim hromozomima. Može doći do ukrštanja gena u hromozomima, inverzije ili premeštanja na nova mesta u samom hromozomu. Dešavaju se i mutacije sa one strane na kojoj je hromozom iskidan. Promene slične mutacijama mogu biti posledica i reorganizacije u redosledu gena. Takođe je poznato da kidanje ima letalni ishod po ćeliju. Smatra se da je upravo ovo razlog umiranja ćelija koje su u aktivnim deobama.



Dejstvo zračenja na molekule DNK: (A) jednočlani prekid, koji može da zaraste ili da lezija ostane trajna; (B) prekid oba lanca sa razdvajanjem fragmenata; (C) obrazovanje unakrsnih veza između dva molekula DNK

Slika 10. dejstvo zračenja na molekule DNK

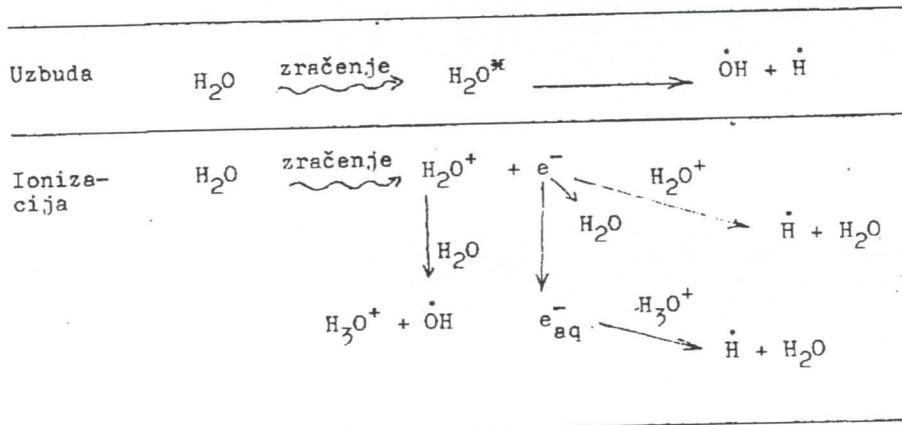
Direktna interakcija u zavisnosti od predate energije može da izazove gubitak sposobnosti deobe ćelije, prestanak specifičnih funkcija ili čak njeno trenutno uništenje. Svaki poremećaj u redosledu ili broju baza u DNK, ukoliko se u procesu replikacije molekula ne ispravi, dovodi do izmenjenog genetskog programa, genetskih mutacija.

Radioosetljivost ćelija povezana je s enzimskim sadržajem ćelija. Iako je broj prekida lanaca za istu masu DNK izazvan istom dozom gotovo isti, kvantitativni iznos oporavljanja varira od jednog tipa ćelija do drugog. Razlikuje se kod mikroorganizama i sisara. Virusi su otporniji na dejstvo jonizujućeg zračenja nego čovek.

Najčešće se dvostruki prekidi i ne mogu oporaviti.

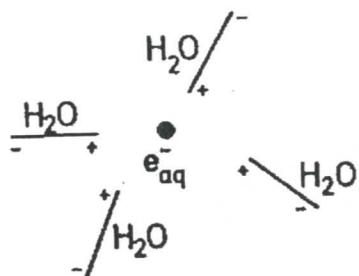
2.3.2. Indirektna interakcija

Indirektno dejstvo zračenja podrazumeva da je molekul reagovao sa molekulom ili produktom molekula koji je već pretrpeo direktno dejstvo. Indirektni efekat zračenja je izuzetno važan. Živi organizmi su satavljeni od neorganskog dela (molekuli vode i minerali) i organskih molekula. Oko 70% mase tela čoveka čini voda (kod ugojenih i starih procenat je manji, kod dece je veći, a u trčem mesecu fetalnog života iznosi čak 94%). Ćelija ljudskog organizma sadrži oko 10^{13} molekula vode. Pri ozračivanju ćelije dolazi do jonizacije i ekscitacije vode, Slika 11.



Slika 11. Hemiske reakcije nastale pri ozračivanju ćelije

Prilikom ionizacije stvara se jon vode H_2O^+ i oslobađa se elektron koji primljenu energiju gubi pri daljim sudarima. Kada se elektroni dovoljno uspore opkoli ih četiri jako polarizovana molekula vode i formira se takozvani "akvatizovani" elektron e_{aq} , koji živi samo $100 \mu\text{s}$, Slika 12.

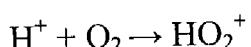


Slika 12. "akvatizovani" elektron e_{aq}

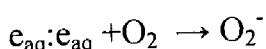
Akvatizovani elektron sa jonom vode formira dva visokoreaktivna radikala H^+ i OH^- . Ekscitovani molekul vode se takođe raspada na dva radikala H^+ i OH^- , dok se H_2O^+ jon raspada na vodonikov, odnosno hidronijum jon H_3O^+ i na OH^- radikal. Vodonikov hidroksilni radikal živi samo oko $1\mu s$. Kao rezultat radiolize vode, usled dejstva ionizujućeg zračenja u ćeliji nastaju tri visokoreaktivna radikala: akvatizovani elektron, OH^- -radikal i H^+ -radikal u približnom odnosu 45%, 45% i 10%. Ovi radikali veoma brzo reaguju sa komponentama DNK molekula. H^+ radikal izaziva najčešće prekid jednog ili, ređe, oba lanca u DNK. Za većinu indirektnih oštećenja uzrokovanih ionizujućim zračenjem se smatra da su nastala usled OH^- radikala, koji reaguje sa skoro svim tipovima molekula u živim ćelijama. U DNK izaziva oštećenja baza, pri čemu su pirimidinske osetljivije od purinskih.

OH^- i H^+ radikali i akvatizovani elektroni, koji nisu učestvovali u hemijskim promenama u ćeliji se brzo rekombinuju uz oslobođanje toplote. Pri rekombinaciji H^+ radikala i akvatizovanog elektrona nastaju molekuli vode, vodonika i OH^- ion, ali rekombinacijom dva OH^- radikala nastaje još jedan štetan molekul, jak oksidans, $H_2O_2^-$ vodonik peroksid. U svakodnevnom životu taj peroksid služi za posvetljavanje kose i dezinfekciju rana. Verovatnoća rekombinacije je mala ako su jonizacije relativno udaljene, najviša je na mestima guste jonizacije, znači duž tragova čestica sa visokim linearnim prinosom energije.

Delovanje slobodnih radikala u prisustvu kiseonika je znatno opasnije usled reakcije H^+ radikala i akvatizovanog elektrona sa kiseonikom:



HO_2^+ je jak oksidans koji rekombinacijom prelazi u H_2O_2 i kiseonik, a dva akvatizovana elektrona sa kiseonikom formiraju O_2^- , superoksid anjon:



Superoksid anjon je veoma reaktivan i dovodi do oštećenja DNK, proteina i ćelijskih membrana, te se efekat ionizujućih zračenja višestruko pojačava u prisustvu kiseonika. Kod zračenja niskog linearног prinosa energije potrebno je, bez prisustva kiseonika, udvostručiti ili utrostručiti dozu zračenja da bi se dobili isti efekti, bez obzira na sistem (hemijski ili biološki).

Osnovni efekat zračenja na masti je njihova konverzija u perokside (organski peroksići). Dejstvo na živu materiju se može porebiti sa onim što vodonik-peroksid izaziva za vreme ozračivanja vode.

U odnosu na ugljene hidrate i sve njihove moguće kombinacije (disaharidi, trisaharidi i polisaharidi), ozračivanje može da dovede do cepanja dugih lanaca.

Aminogrupe su osetljive na zračenje ali su smeštene oko karboksilnih grupa koje su radiorezistentne, pa su bočni lanci najosetljiviji deo proteina. Kao posledica zračenja mogu se javiti promene u rastvorljivosti proteina.[1]

2.4. POSLEDICE ZRAČENJA NA NIVOУ ĆELIJE

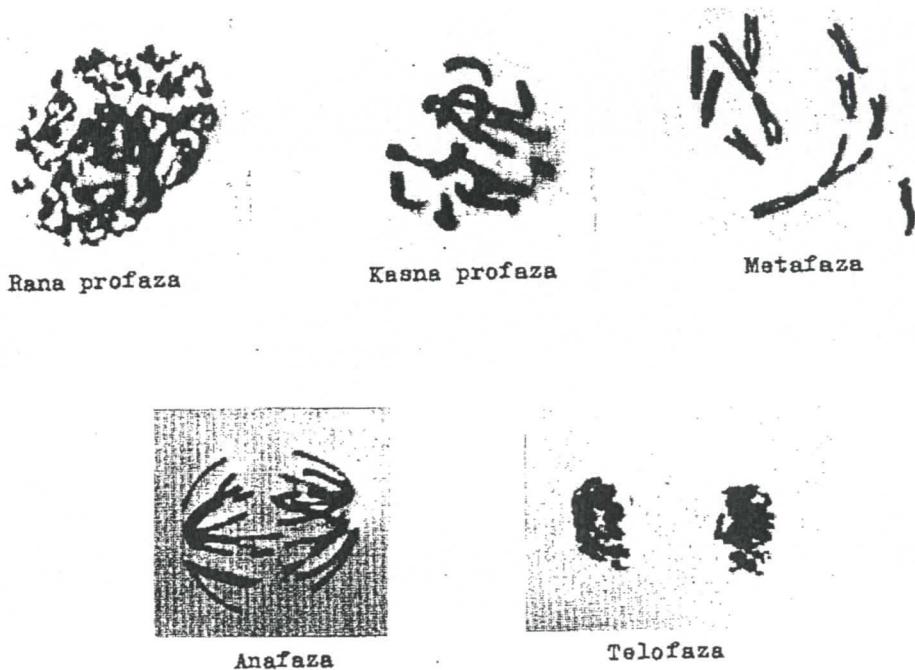
2.4.1. Smrt ćelije

Prilikom razmatranja biološkog dejstva zračenja neophodno je poznavati intezitet zračenja kojem je izložen organizam, kao i količinu energije koju je organizam apsorbovao. Iza doze od nekoliko stotina greja prestaje bilo kakva metabolička aktivnost, momentalno je ćelija uništena. Za niže doze (nekoliko greja) ćelija prestaje sa deobom posle nekoliko mitoza i potomci se više ne dele.

Jedna ćelija prisutna u tkivu može biti naizgled normalna, može još da sintetizuje DNK, ali moć deljenja je trajno nestala. Ćelije koje su u punom smislu preživele, zadržale su moć deljenja. Za ćelije koje obavljaju specijalne funkcije ali se normalno više ne dele, nervne ćelije, mišićne ćelije, smrt je definisana kao gubitak specifične funkcije. Za uništenje ćelija koje se ne dele potrebna je doza od nekoliko stotina greja. Ćelije koje se dele su mnogo osetljivije na zračenje, pa je za uništenje sposobnosti ćelijskog razmnožavanja potrebno 1-2 Gy.

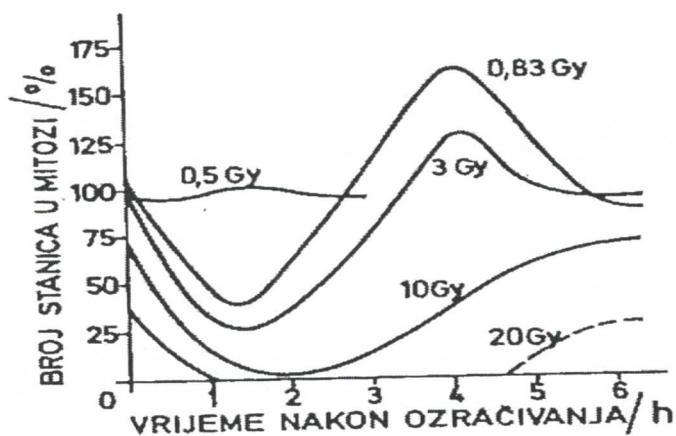
2.4.2. Privremeno zaustavljanje mitotske aktivnosti

Deoba ćelija odigrava se u tačno određenim fazama, tzv. mitotskim ciklusom. Kod deobe prvo se citoplazma razdvaja u dva posebna dela a onda nastaju dve potpune ćelije koje su identične s prvobitnom ćelijom. Na slici 13. prikazano je pet etapa u procesu mitoze ćelije u kluci pasulja. [5]



Slika 13. Proces mitoze u klici pasulja

Pojava koja se najlakše može zapaziti posle ozračivanja celija dozama nedovoljnim da ih uništi, je zaustavljanje procesa njihove deobe kroz određeni vremenski interval. Fenomen se ogleda kao zaostajanje razmnožavanja. Mitoza ne prestaje odmah posle ozračivanja već se nastavlja još nekovreme posle toga, onda nastaje period bez deobe. Osetljivost celija je različita, celije koje su počele da se dele nisu naročito osetljive, dok su najjače pogodjene one celije koje će se tek deliti. Na slici 14. prikazan je uticaj različitih doza x-zraka na celije.



Slika 14. Uticaj različitih doza x-zraka na celije

Neposredno po ozračivanju s malim dozama broj ćelija u deljenju ostaje nepromenjen, ali ubrzo počinje pad, i minimalan broj se dostiže posle 1-2 sata. Posle toga se mitotička aktivnost povećava i prelazi normalu, jer počinju da se dele one ćelije koje su bile zaustavljene i one na koje začenje nije delovalo pa se normalno dele. Veće doze prouzrokuju pad broja ćelija u deljenju, tako da je njihov broj posle 1-2 sata neznatan. Ponovo uspostavljena mitotička aktivnost nikad više ne dostiže isti iznos kao pre ozračivanja.

2.4.3. Džinovske ćelije

Jedan od efekata zračenja je i stvaranje džinovskih ćelija. Ovaj tip ćelija stvara se u toku radijacione terapije tumora. Ove ćelije nisu sposobne da se dele ali su očuvale svoje metaboličke aktivnosti; zbog toga postaju sve veće i veće i posle izvesnog vremena umiru.

Po redu opadanja radioosetljivosti ćelije se najčešće grupišu sledećim redom:

- limfociti,
- granulociti,
- epitelne ćelije,
- endotelne ćelije,
- vezivno-tkivne ćelije,
- koštane ćelije,
- mišićne ćelije i
- nervne ćelije.

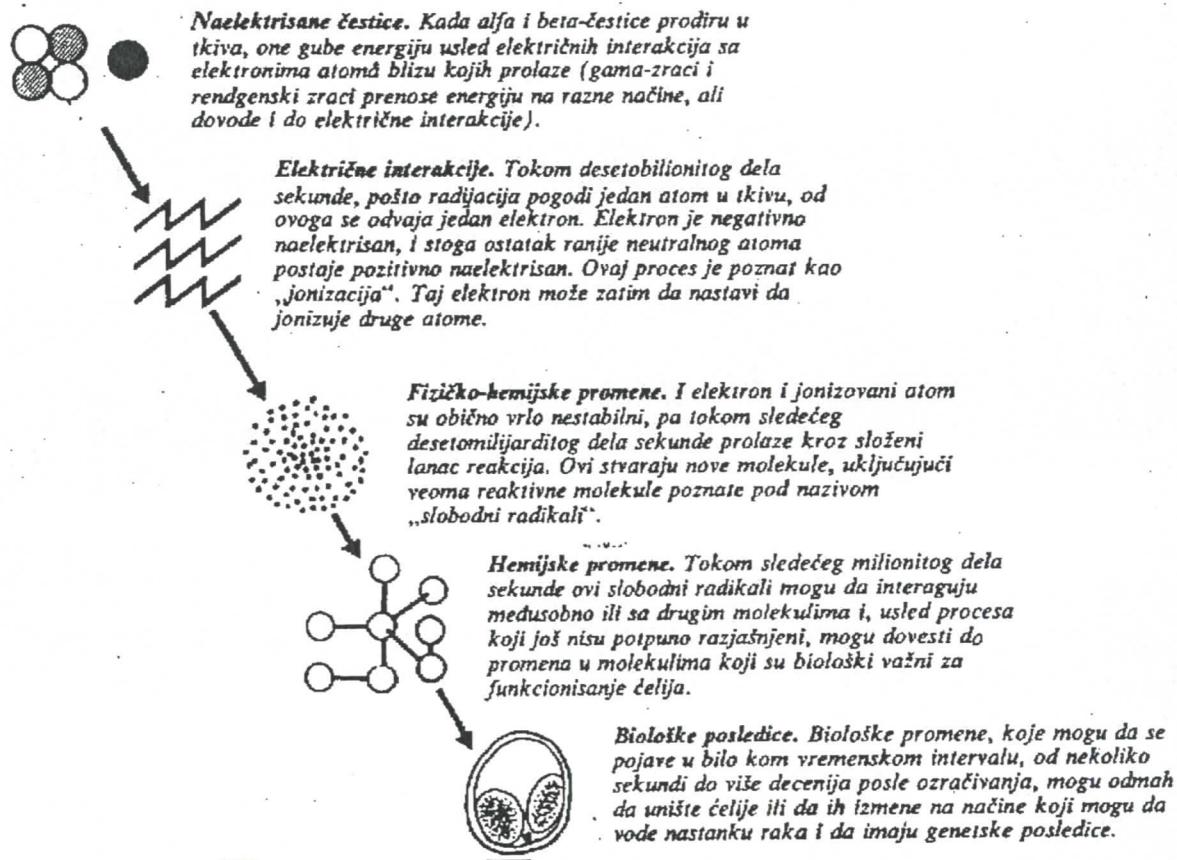
Spoljašnji uslovi takođe utiču na radioosetljivost. Radioosetljivost ćelija je direktno proporcionalna sadržaju kiseonika, temperaturi i pritisku, pa ukoliko bilo koji od ova tri faktora raste, povećava se i radioosetljivost i obrnuto.[1]

3. UTICAJ JONIZUJUĆEG ZRAČENJA NA ZDRAVLJE ČOVEKA

3.1. UVOD

Radijacija je po samoj svojoj prirodi štetna po život. Već pri niskim dozama , ona može da pokrene niz dejstava koja vode nastanku raka ili genetičkim oštećenjima (sl.15). Pri visokim dozama , radijacija može da uništi ćelije, da ošteti organe i da izazove brzu smrt.

5.1 KAKO RADIJACIJA POGABA TKIVA



Slika 15. Dejstvo radijacije na tkiva

Oštećenja koja izazivaju visoke doze postaju u normalnim slučajevima očigledna već u roku od nekoliko časova ili dana. Ali, da bi se razvio karcinom, potrebno je mnogo godina, obično čak i više decenija. Nasledne deformacije i bolesti izazvane genetičkim oštećenjima ispoljavaju se tek u narednim generacijama; žrtve su deca, unuci, pa čak i praunuci osoba koje su bile ozračene.[2]

Obično je lako identifikovati neposredne akutne efekte visokih doza radijacije, krajnje je teško raspoznati naknadne efekte niskih doza. Potrebno je da prođe mnogo vremena da bi ti efekti postali primetni, a i tada se pouzdano ne zna "krivac" jer karcinom i genetička oštećenja mogu da imaju i mnoge druge uzroke.

Potrebno je da doze radijacije dostignu određeni nivo da bi izazvale akutne povrede, ali ne i da bi uzrokovale rak i genetička oštećenja. Nema nivoa izloženosti radijaciji koji bi mogao da se označi kao bezbedan, ali ni nivo koji bi u svakom slučaju bio opasan. Čak i prilično visoke doze ne pogađaju svakoga; reparativni mehanizmi organizma obično "isceljuju" ono što je bilo oštećeno. Isto tako, ako je neko bio izložen određenoj dozi radijacije, to još ne znači da mu je time neizbežno određeno da dobije karcinom ili da pretrpi genetska oštećenja, ali je kod njega takav rizik veći nego što bi bio da nije ozračen. Isto tako, i stopa rizika je utoliko veća što je bila veća doza.

Sve promene koje nastaju kod organizma usled delovanja zračenja javljaju se u vidu somatskih ili genetskih oštećenja.[4]

3.2. SOMATSKA OŠTEĆENJA

Somatske ćelije su sve ćelije jednog organizma izuzev ćelija reproduktivnog sistema. Oštećenja somatskih ćelija podrazumevaju organska oštećenja, gubitak funkcija tkiva ili organa i može dovesti čak i do smrti ćelija. Mutacije se takođe mogu javiti u somatskim ćelijama, ali ne mogu biti prenete reprodukcijom, tako da se gube kad ćelija umre.

Čovek može biti izložen jonizujućem zračenju na dva načina:

- zračenjem iz nekog spoljašnjeg izvora koje deluje od spolja na telo,
- unošenjem radioaktivnog izotopa u telo tako da zračenje deluje kontinuirano unutar organizma.

Po vremenu pojavljivanja promena po ozračivanju razlikujemo rane i kasne somatske efekte. Rani efekti se pojavljuju odmah, za kratko vreme po ozračivanju i vezani su za visoke apsorbovane doze. Kasni efekti se mogu pojaviti i zbog visokih i nižih doza ali posle dužeg latentnog vremenskog perioda koji može biti duži i od deset godina. Akumulacija malih doza kroz dugi niz godina izaziva dugoročne posledice.

Obično je lako identifikovati neposredne akutne efekte visokih doza radijacije, krajnje je teško raspoznati naknadne efekte niskih doza. Potrebno je da prođe mnogo vremena da bi ti efekti postali primetni, a i tada se pouzdano ne zna "krivac" jer karcinom i genetička oštećenja mogu da imaju i mnoge druge uzroke.

Potrebno je da doze radijacije dostignu određeni nivo da bi izazvale akutne povrede, ali ne i da bi uzrokovale rak i genetička oštećenja. Nema nivoa izloženosti radijaciji koji bi mogao da se označi kao bezbedan, ali ni nivo koji bi u svakom slučaju bio opasan. Čak i prilično visoke doze ne pogađaju svakoga; reparativni mehanizmi organizma obično "isceljuju" ono što je bilo oštećeno. Isto tako, ako je neko bio izložen određenoj dozi radijacije, to još ne znači da mu je time neizbežno određeno da dobije karcinom ili da pretrpi genetska oštećenja, ali je kod njega takav rizik veći nego što bi bio da nije ozračen. Isto tako, i stopa rizika je utoliko veća što je bila veća doza.

Sve promene koje nastaju kod organizma usled delovanja zračenja javljaju se u vidu somatskih ili genetskih oštećenja.[4]

3.2. SOMATSKA OŠTEĆENJA

Somatske ćelije su sve ćelije jednog организма izuzev ćelija reproduktivnog sistema. Oštećenja somatskih ćelija podrazumevaju organska oštećenja, gubitak funkcija tkiva ili organa i može dovesti čak i do smrti ćelija. Mutacije se takođe mogu javiti u somatskim ćelijama, ali ne mogu biti prenete reprodukcijom, tako da se gube kad ćelija umre.

Čovek može biti izložen ionizujućem zračenju na dva načina:

- zračenjem iz nekog spoljašnjeg izvora koje deluje od spolja na telo,
- unošenjem radioaktivnog izotopa u telo tako da zračenje deluje kontinuirano unutar organizma.

Po vremenu pojavljivanja promena po ozračivanju razlikujemo rane i kasne somatske efekte. Rani efekti se pojavljuju odmah, za kratko vreme po ozračivanju i vezani su za visoke apsorbovane doze. Kasni efekti se mogu pojavit i zbog visokih i nižih doza ali posle dužeg latentnog vremenskog perioda koji može biti duži i od deset godina. Akumulacija malih doza kroz dugi niz godina izaziva dugoročne posledice.

3.2.1. Efekti izazvani zračenjem iz spoljašnjeg izvora

*Hematopoetski sistem *

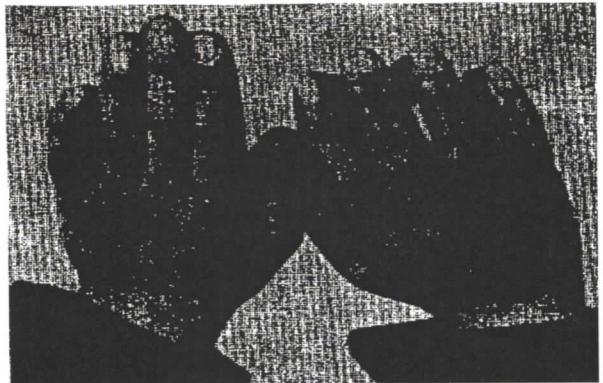
Organi u kojima se stvaraju hematopoezne ćelije – a to su koštana srž, slezina i limfni čvorovi – izrazito su radiosenzitivni isto kao i same ćelije koje se u njima stvaraju. Na njih utiču i male doze kao što su one od 0,5 do 1 Gy. Svojom velikom prodornošću X i gama zraci mogu dospeti do ovih organa i prouzrokovati smetnje u hematopoezi. Smetnje se ogledaju u smanjenju broja crvenih i belih krvnih zrnaca. Najosetljivije ćelije krvi na zračenje su leukociti i oni prvi iščezavaju iz cirkulacije. Kako leukociti imaju funkciju borbe protiv bakterijske infekcije, to znači da smanjenje njihovog broja smanjuje otpornost organizma na infekcije. Zatim se smanjuju limfociti, što je značajan indikator stepena ozračivanja. Limfociti se brzo gube jer je njihov životni vek dva dana. Broj krvnih pločica, trombocita, se smanjuje pa može da se javi unutrašnje krvarenje.

Sreća je što ova tkiva imaju i izrazitu sposobnost regeneracije, pa kad doza nije tako velika da bi eliminisala njihovu normalnu funkciju, ona mogu potpuno da se oporave. Ako je samo deo tela bio ozračen, u normalnim slučajevima će ostati neoštećeno dovoljno koštane srži da bi zamenila onu koja je oštećena.

*Koža *

Koža može takođe da bude teško pogodjena zračenjem, naročito ako se radi o x-zračenju. Po ozračenju koža postaje crvena, zatim sjajna, suva i onda se pojavljuju plihovi ili bradavice ili kancerogene rane koje teško zarastaju. Javljuju se promene na dlakama i noktima. Opadanje kose i dlaka javlja se prilikom ozračivanja malim dozama. Veće doze zračenja izazivaju depigmentaciju, gubitak otiska prstiju i dermatitis.

Na slici 16. vide se opekotine na desnoj ruci radnice koja je stavljala ruku u direktni snop x-zraka, proizvedenih naponom od 70 kilovolta. Leva ruka je ostala nepovređena.



Slika 16.Posledice izlaganju direktnom snopu x-zraka

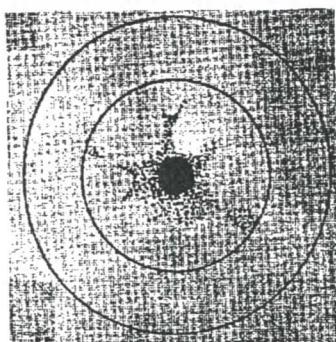


Slika 17.Posledice Černobilske katastrofe

Na slici 17. vide se oštećenja kože nastala usled ozračenja u černobilskoj katastrofi.[7]

*Oči *

Najosetljiviji deo oka na zračenje je sočivo i kako njegove ćelije izumiru one postaju mutne (slika 18).



Slika 18. Posledice izlaganja očnog sočiva zračenju

Mutni delovi se šire što dovodi do katarakte različitog stepena - od zamućenja pa sve do takvih promena koje dovode do slepila. Što je veća doza, veći je gubitak vida. Pojedine doze od 2Gy, pa i manje, mogu da stvore zamućenja, a doze od 5 Gy stvaraju ozbiljne katarakte. Pored katarakte, u blažim formama ozračavanja pojavljuju se bol, crvenilo i fotoosetljivost. Izloženost dozama od 0,5 -2 Gy tokom 10-20 godina povećava gustinu i zamućenost sočiva.

*Centralni nervni sistem *

Centralni nervni sistem je jedan od najradiorezistentnijih organa kod sisara. Promene izazvane ozračavanjem na mozgu se dešavaju davanjem direktnih terapijskih doza, a ne prilikom ozračavanja celog tela. U takvim slučajevima zračenje oštećuje krvne sudove mozga i kičmene moždine, a velike doze mogu da budu i uzrok smrti.

***Imuni sistem ***

Zračenje može da umanji prirodnu otpornost organizma oštećenjem kožnog tkiva. Kod ozračenog organizma smanjuje se proizvodnja antitela.

*** Gastrointestinalni sistem ***

Slizokoža gastrointestinalnog sistema je veoma radioosetljiva. Posle ozračivanja dolazi do pojave povraćanja, muke, dijareje i anoreksije, javlja se suvoća u ustima zbog smanjenog ličenja pljuvačke. Rano povraćanje kod ozračenih ukazuje da je primljena doza velika.

*** Reproduktivni organi***

Reproduktivni organi su izuzetno osetljivi na zračenje. Sterilitet je dobro poznata posledica zračenja i može biti trajan ili privremen. Događa se da muškarci ostanu privremenno sterilni od malih doza od oko 0,1 Gy, dok doze od preko 2Gy mogu da prouzrokuju trajnu sterilnost. Testisi predstavljaju jedinstven primer organa koji trpi veća oštećenja ako višekratno primi niz manjh doza nego čitavu dozu odjednom. Događa se da tek mnogo godina posle primljenih doza koje su ih ozbiljno oštetile, testisi ponovo počnu normalno da proizvode spermatozoide.

Jajnici su nešto manje osetljivi, bar kod odraslih žena. Kod njih pojedinačne doze od preko 3 Gy izazivaju sterilnost, mada takva posledica neće nastupiti ako je u pitanju niz manjih doza iako je njihov zbir čak i nešto veći od 3 Gy.

*** Deca ***

Deca su posebno osetljiva. Sasvim male doze, ako ih apsorbuje hrskavičavi deo skeleta, može kod njih da uspori ili zaustavi rast skeleta i da dovede do deformitet. Što je mlađe dete, to je ozbiljniji zastoj u razvoju. Ukupne doze od 10 Gy akumulirane iz dana u dan tokom nekoliko nedelja, dovoljne su da bi uzrokovale neki deformitet. Ozračivanje detetovog mozga tokom radioterapije izaziva promene u karakteru, gubitak pamćenja, i kod sasvim male dece čak i demenciju, odnosno idiotizam.

I kod nerođene dece veoma lako dolazi do oštećenja mozga, ako su njihove majke bile ozračene u periodu između osme i petnaeste nedelje trudnoće. To je period u kome se formira korteks mozga, pa zato postoji veliki rizik da radijacija iz takvih izvora kao što su rendgenski aparati izazove tešku mentalnu retardaciju. Oko

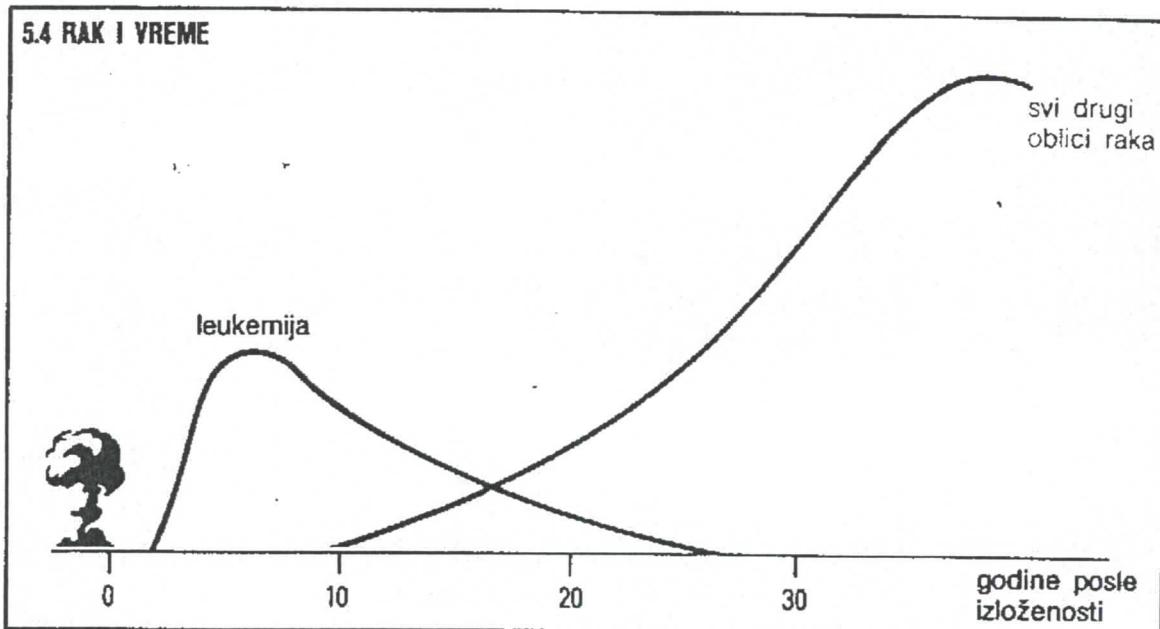
tridesesetoro dece koja su bila ozračena u majčinoj utrobi kada su bačene atomske bombe na Hirošimu i Nagasaki, pretrpelo je takva oštećenja. Postoje i mnogi drugi efekti kao što su deformiteti, zastoj u rastu, pa i umiranje.

Embrion, do 40 dana, je veoma osetljiv na zračenje jer se sastoji od ćelija sa velikom mitotskom aktivnošću. Ozračavanje u ovom periodu obavezno dovodi do prenatalne smrti.[4]

* Kancerogeni efekat jonizujućeg zračenja*

Kancerogeni efekat je uočen kod čoveka još u prvim danima radiologije a kasnije potvrđen mnogim primerima. Obimna ispitivanja na oko 100 000 ljudi koji su bili ozračeni, ali su preživeli eksploziju atomskih bombi bačenih 1945. na Hirošimu i Nagasaki, pokazala su da je rak jedini uzrok njihovog povećanog mortaliteta. Potvrda su i rezultati drugih istraživanja o stopi rasprostranjenosti raka među stanovnicima pacifičkih ostrva koji su bili kontaminirani radioaktivnim padavinama prilikom probne eksplozije atomske bombe 1954. godine kao i podaci o rasprostranjenosti raka među rudarima u rudnicima uranijuma i među osobama koje su primale radioterapiju. Na osnovu tih podataka smatra se da zračenje može da indukuje bilo koji tip kancera, ali se nezna pouzdano koji je prag doze ispod kojeg zračenje ne ispoljava kancerogeni efekat. Svaka doza, ma koliko bila mala, povećava verovatnoću da će osoba koja je primila oboleti od raka, a svaka dodatna doza čini tu verovatnoću još većom.

U ozračenoj grupi stanovnika od svih oblika raka najpre se javlja leukemija(sl.19).



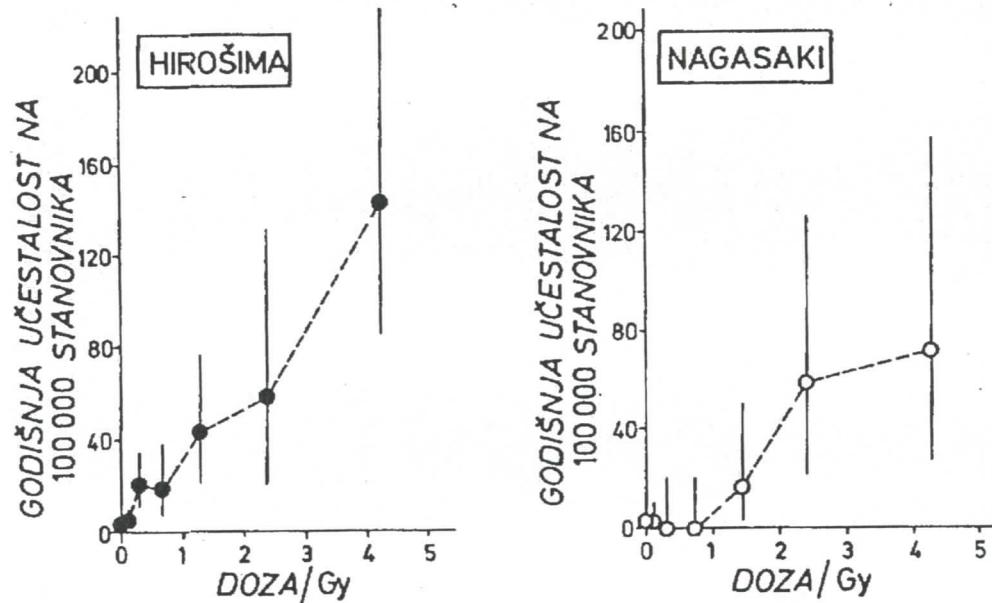
Nominalni rizik od raka koji bi se pojavio kao posledica jedne jedine doze od jednog rada (stot deo greja), kojom bi bilo ravnomerno ozračeno čitavo telo. Dijagram, koji je zasnovan na istraživanjima o stanovništvu koje je preživelo eksploziju atomske bombe, pokazuje približno vreme pojavljivanja malignih promena posle ozračivanja čitavog tela. Najpre se pojavljuje leukemia, posle latentnog perioda od dve godine;

vrhunac je posle šest do sedam godina, a sve se manje javlja dok ne isčezne posle 25 godina. Čvrsti tumor počinju da se javljaju posle 10 godina, ali istraživači još ne raspolažu sa dovoljno informacija da bi se ova kriva dopunila. Dijagram potiče iz jednog naučnog saopštenja V. K. Sinklera (W. K. Sinclair) u dokumentima sa Dvadesete godišnje konferencije Nacionalnog saveza za zaštitu od radijacije i merenja, održane 4–5. aprila 1984.

Slika 19. Vreme pojavljivanja malignih promena posle ozračivanja čitavog

Leukemija usmrćuje deset godina posle oštećenja tkiva- znatno brže nego ostali oblici raka. Broj smrtnih slučajeva od leukemije među preživelima u Hirošimi i Nagasakiju naglo je pao posle 1970. UNSCEAR (United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation), procenjuje da će kao posledica svakog primljenog greja dve od hiljadu osoba umreti od leukemije. Znači, ako nečija koštana srž apsorbuje dozu od jednog greja, postoji verovatnoća 1: 500 da će ta osoba umreti od leukemije.

Atomske bombe bačene na Hirošimu i Nagasaki su se razlikovale. Bomba bačena na Hirošimu davala je više neutronskog zračenja nego ona u Nagasakiju. Na slici 20. dati su grafici broja obolelih u ovim mestima u zavisnosti od doze (podaci su objavljeni u izveštaju UNSCEAR 1972.), vidi se da je frekvencija leukemije veća u Hirošimi.

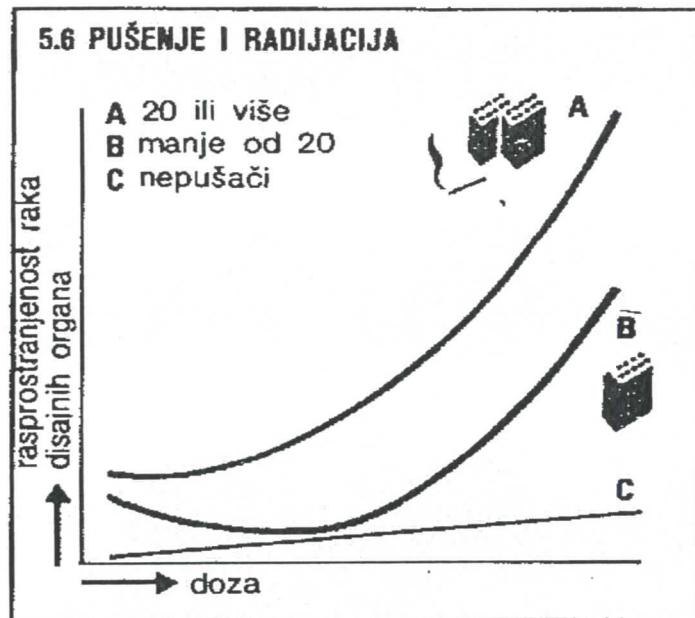


Slika 20 . Zavisnost broja obolelih osoba u Hirošimi i Nagasakiju od primljene doze zračenja

Studije u Japanu pokazale su i različit stepen rizika po starosnim grupama. Najveći broj obolelih od leukemije je u grupi starosti do 14 godina.

Karcinom dojke i štitne žlezde su najčešći tumori izazvani radijacijom. UNSCEAR procenjuje da će oko deset osoba oboleti od raka štitne žlezde, a deset žena na svakih hiljadu od raka dojke, kao posledica svakog primljenog greja. Obe ove vrste raka mogu da se leče, posebno je mala stopa smrtnosti kod raka štitne žlezde izazvanog radijacijom, pa je pretpostavka da će pet od hiljadu osoba verovatno umreti od raka dojke, a jedna od hiljadu osoba od raka štitne žlezde.

Čest oblik karcinoma koji pogađa ozračene osobe je rak pluća. Ispitivanja pokazuju da od svakog primljenog greja pet osoba od hiljadu, starijih od 35 godina, prilikom ozračivanja može da umre od raka pluća. Kako radijacija može da stupi uinterakciju sa drugim hemijskim i biološkim agensima, broj obolelih se povećava ako su ozračene osobe pušači , slika 21.



Stopa smrtnosti od raka disajnih organa povezanog sa izloženošću radionuklidima radona kod rudara u rudnicima uranijuma, kod onih koji puše više od 20 cigareta dnevno, koji puše manje od 20 cigareta dnevno i kod nepušača.

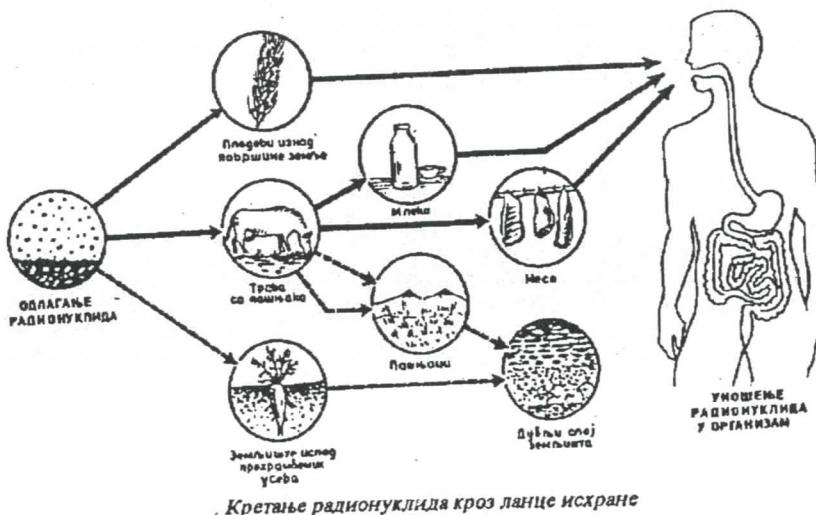
Slika 21. Stopa smrtnosti od karcinoma pluća

Radijacija redje izaziva druge oblike raka. Pretpostavka je da će od svakog greja samo jedna od hiljadu osoba umreti od raka želuca, jetre ili debelog creva, a da je još niži rizik da se pojavi rak kostiju, jednjaka, tankog creva (tu je verovatnoća 0,2 do 0,5 na hiljadu od svakog primljenog greja).

Deca su osetljivija nego odrasli, a posebno su osetljive još nerođene bebe.[2]

3.2.2. Unutrašnja kontaminacija radioaktivnim izotopima

Do unutrašnje kontaminacije dolazi udisanjem, gutanjem ili upijanjem kroz kožu radioaktivnih materija. Najčešće se radi o radioaktivnim prašinama, parama tečnostima i gasovima. Radioaktivna prašina koja padne na zemlju posle atomske eksplozije naziva se radioaktivnim padavinama. Ove materije se mešaju sa prirodnim materijama u vidu čestica i aerozagadjenjima čoveka i dospevaju direktno ili posredno preko lanca ishrane do čoveka, Slika 22..



Slika 22. Kretanje radionuklida kroz lanac ishrane

U čovekovu okolinu dospevaju radioaktivna para i voda iz nuklearnih elektrana. Dužina ozračivanja zavisi od dužine perioda poluraspada izotopa koji je unet u organizam kao i od njegovog metabolizma, Slika23. Radioaktivni elementi nisu opasni samo zbog zračenja koje emituju već i zbog svoje hemijske otrovnosti, ali je opasnost od zračenja mnogo veća. [5]

Извор зрачења	Време полураспада	Врста намирнице	Место и врста деловања
стронцијум ⁸⁹ стронцијум ⁹⁰	53 дана	млеко и млечне прерађевине, лиснато поврће	кости, узрокује сарком и леукемију
јод ¹³¹	8 дана	млеко крава које се хране испашом, лиснато поврће	штитна жлезда, замењује нормални јод и зрачи жлездано ткиво
цезијум ¹³⁷	30 година	лиснато поврће, млеко и млечне прерађевине, месо, рибе, школјке	таложи се у мишићима, приближно 50% унетих количина задржава се више од 100 дана
фосфор ³²	14 дана	рибе, школјке, лиснато поврће	кости и јетра јетра
плутонијум ²⁴² плутонијум ²⁴⁴	387000 година 14 година	дивљач северних крајева (лос), водена фауна итд.	кости и јетра, високо канцерогено деловање

Slika 23. Pregled biološki značajnih radionuklida i njihovog delovanja

Gama zraci izazivaju efekte koji su gotovo jednaki efektima spoljašnjeg ozračivanja.

Alfa čestice vrše jaku ionizaciju u unutrašnjosti organizma pa je velika verovatnoća pojave malignih tumora na tim mestima. Rak na plućima može se pojaviti kao posledica udisanja materija koje emituju alfa čestice. Radijum, plutonijum i polonijum se smatraju najopasnijim alfa odašiljačima. Radijum se taloži u kostima i njegove alfa čestice bombarduju koštanu srž, što dovodi do anemije i smanjenju otpornosti prema infekciji. Može da dođe i do oštećenja strukture kosti, što dovodi do bolesti kostiju i vrste raka u vezivnom tkivu. Slične su posledice kada se u kostima taloži beta odašiljač- stroncijum 90.

Oštećenja zavise i od hemijskih svojstava radioaktivne materije, od brzine izlučivanja iz organizma, od perioda poluraspada, od količine i ako je u pitanju prašina od veličine čestica.

3.3. GENETSKA OŠTEĆENJA

Pod genetskim oštećenjima podrazumeva se oštećenje polnih (genetskih) ćelija. Ova oštećenja se manifestuju u obliku mutacija, pri čemu mogu nastati mutacije gena i mutacije hromozoma. Bez obzira da li su nastale spontano ili su indukovane, genetske mutacije su uglavnom štetne i prenose se na potomstvo. Mutacije mogu da budu i korisne za vrstu ali su kao takve veoma retke.

3.3.1. Mutacija gena

Mutacije su fine promene koje iznenada nastaju u strukturi genetičkog materijala i koje se sastoje u specifičnim izmenama hemijske strukture određenog dela molekula DNK. Do ovih mutacija dolazi jednim jedinim događajem ionizacije koji prouzrokuje premeštanje atoma ili grupa atoma u makromolekularnom sastavu.

Kod sisara ćelije su diploidne, znači da svaki hromozom i svaki gen postoji u dva primerka. Mutacija može da pogodi samo jedan ili obe od tih gena. Ako je samo jedan gen pogoden mutacijom može se dogoditi da mutirani gen dominira nad normalnim genom pa je mutacija dominantna. U protivnom slučaju mutacija je recesivna ali ipak može da proizvede male smetnje u životu ćelije ili organizma. Recesivne mutacije se javljaju ako se zajedno nađu muškarac i žena sa istim mutiranim genom, njihovi potomci mogu da naslede taj gen koji može da ostane latentan tokom mnogih generacija a možda i zauvek.

3.3.2. Mutacija hromozoma

Hromozomi su nosioci gena, sastoje se od nukleinskih kiselina, RNK i DNK. U ljudskoj ćeliji ima 23 para hromozoma. Pojavljuju se u parovima jer postoje dva niza hromozoma jedan je očevog a drugi majčinog porekla.

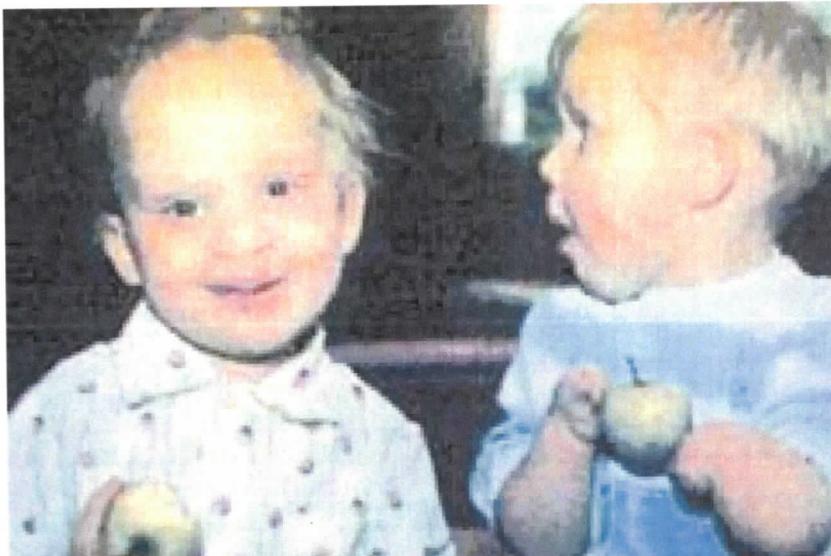
Odmah posle ozračenja jakim dozama hromozomi zadebljaju, stvaraju nepravilne pakete, postaju viskozniji i međusobno prijanjaju. Normalno deljenje nije moguće.

Drugi tip oštećenja je kidanje hromozoma. Kidanje može biti potpuno ili se odnosi na jednu od dve kromatide i može biti jednostruko ili dvostruko. Neki delovi se mogu sastaviti kao pre prekida ili ostati odvojeni. Dešava se da sastavljanje ne bude po istom redosledu ili da nesastavljeni delovi poremete mitozu.

Ukoliko se mutacija odnosi na jezgro kao celinu, onda dolazi do promene broja hromozoma.

I mutacija gena i mutacija hromozoma mogu da izazovu nasledna oboljenja tokom narednih generacija, ali se to ne mora dogoditi. Za proučavanje ovih efekata poslužile su osobe koje su bile ozračene prilikom eksplozije atomske bombe nad Hirošimom i Nagasakijem. U neposrednom potomstvu ovih ljudi uočen je poremećen odnos polova, ali je za pojavu izmenjenih osobina, naročito recessivnog karaktera, potrebno da prođe nekoliko generacija.

Na slici 24. prikazane su mutacije od radijacije u Černobiljskoj katastrofi. Najčešće mutiraju udovi.



Slika 24. Mutacije kao posledica katastrofe u Černobilu

Učestanost mutacija zavisi od velikog broja faktora, kao što su stadijum deobe ćelija u doba zračenja, tip ćelija, pol, vrsta i jačina doze. I najmanje doze mogu da izazovu mutacije.

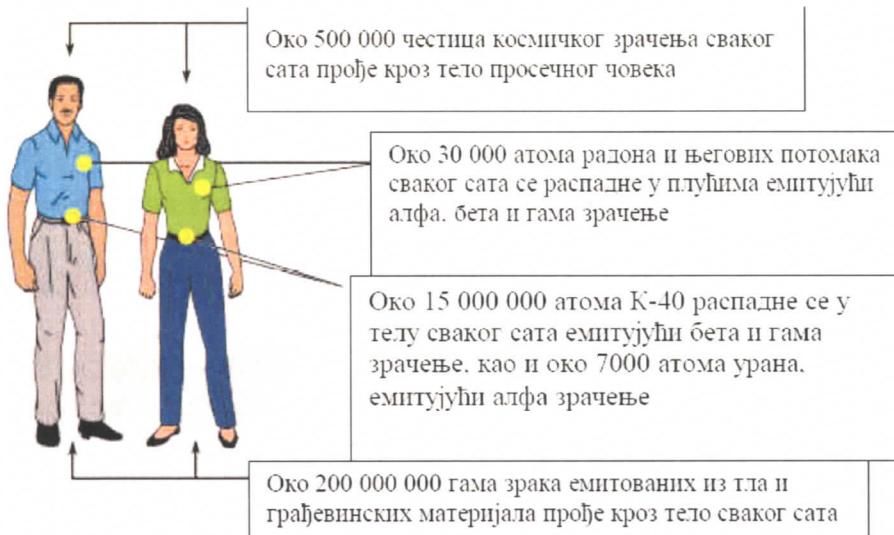
4. ADAPTIVNI ODGOVOR

U novije vreme sve više pažnje se posvećuje odgovoru organizama na niske nivoje ionizujućih zračenja. Promene na ćelijama ukazuju na znatnu sposobnost adaptacije na efekte radijacije. Čak u uslovima izloženosti blago povišenim nivoima ionizujućih zračenja selekcija radiorezistentnih jedinki može da rezultira smanjenom radioosetljivošću narednih generacija.

Poznate manifestacije adaptivnog odgovora kod sisara kao što su ubrzani rast, povišena reproduktivna sposobnost, produžen životni vek, stimulacija imunog sistema, označavaju se kao biopozitivni efekti doza ispod 0,01Gy.

5. ZAŠTITA OD ZRAČENJA

Radioaktivnost i zračenje visokih energija stalno su prisutni svuda u našoj okolini. Takozvani prirodni fon čine sa jedne strane zračenja emitovana iz prirodne radioaktivnosti, koja je u manjoj ili većoj meri svuda prisutna, a sa druge strane kosmičko zračenje. Prirodni fon zračenja je dakle neuklonjiv, predstavlja jedan od faktora koji je između ostalog svakako uticao i na evoluciju života na Zemlji. Na slici 25. prikazane su komponente prirodnog fona, onako kako uvek i svuda deluju na prosečnog čoveka. U doprinosu ukupnom ozračavanju stanovništva ovom prirodnom fonu pridružuju se u današnje vreme i zračenja iz veštačke radioaktivnosti, sa kojom se povremeno srećemo, kao i zračenja koja se koriste u raznim medicinskim primenama. Ukupan doprinos ozračavanju ovih tehnogenih komponenti varira, ali je usrednjjen tokom dužeg vremena poredljiv ili veći od doprinosa prirodnih komponenti.



Slika 25. Komponente prirodnog fona

Koncepti, filozofija i veličine za zaštitu od zračenja zasnivaju se u celom svetu na preporukama koje formira i objavljuje Međunarodna komisija za zaštitu od zračenja (ICRP), koja je osnovana 1928 godine u Štokholmu.

Zaštita od zračenja je skup mera za zaštitu pojedinca, njihovog potomstva i celog ljudskog roda, koja ipak dozvoljava potrebne aktivnosti iz kojih može da rezultuje izlaganje zračenju.

U normalnim uslovima zaštita od zračenja za obično stanovništvo, koje se profesionalno ne bavi zračenjem, sastoji se u minimiziranju tehnogenih doprinosa, koji su posledica čovekovih aktivnosti, kao i u minimiziranju izloženosti radioaktivnom gasu radonu. Radon je jedna od komponenti prirodnog fona na koju može donekle da se utiče.

Zaštita od zračenja je potrebna zbog negativnih efekata koje sva ionizujuća zračenja imaju na čoveka. Štetni efekti se mogu podeliti na stohastičke i nestohastičke. Stohastički efekti izlaganja zračenju su oni efekti čija verovatnoća nastajanja zavisi od zavisi od doze zračenja, a bez praga doze. Nestohastički efekti izlaganja zračenju su oni čija jačina zavisi od veličine doze. Kod ovih efekata postoji prag doze, veličina doze ispod koje se efekat ne pojavljuje, a iznad koje nastaje i postaje sve jači sa porastom doze.[6]

Ograničavanje pojave stohastičkih efekata može da se ostvari održavanjem svih opravdanih izlaganja zračenju na razumno niskom nivou, pri čemu moraju da se uvažavaju i socijalni i ekonomski faktori.

Sprečavanje nestohastičkih efekata može da se postigne usvajanjem dovoljno niskih granica za doze , kako se ne bi dostigao prag doze koji obuhvata izlaganje zračenju u toku celog života.

Opšte prihvaćen međunarodni koncept za određivanje prihvatljivog nivoa rizika ALARA , predstavlja zahtev da sve doze budu onoliko niske koliko je to razumno moguće postići, pri čemu se uzimaju u obzir ekonomski i društveni faktori, ali se prednost uvek daje zdravstvenim faktorima.

Postoje situacije u kojima korist i štete nisu iste za sve ljude, ili grupe ljudi, pa ICRP preporučuje određene principe za ograničavanje doza čije su osnovne karakteristike:

- može da se prihvati samo ona tehnologija čije uvođenje proizvodi čistu pozitivnu dobit;
- sve nivo izlaganja zračenju treba držati onoliko nisko koliko je razumno postići , pri čemu treba uvažavati ekonomске i socijalne faktore;
- individualne doze ne bi trebalo da pređu granice koje ICRP preporučuje za određene okolnosti.

Zaštita od zračenja se bavi u osnovi zaštitom ljudi, ali se često postavlja pitanje sudbine drugih vrsta živih bića koja su izložena zračenju kao i ljudi. Komisija smatra da, ako je čovek adekvatno zaštićen od zračenja, tada su verovatno dovoljno zaštićene i druge biološke vrste. Manje složeni živi organizmi su manje osetljivi na zračenje nego čovek.

5.1. METODE ZAŠTITE OD ZRAČENJA

Postoje tri glavne metode zaštite od zračenja:

- udaljenost
- vreme
- apsorbens

Udaljenost - Intenzitet radijacije opada sa kvadratom rastojanja od tačkastog izvora, pa se faktor udaljenosti može koristiti za smanjenje primljene doze zračenja. Primer: ukoliko hvatamo radioaktivni izvor prstima, udaljenost između izvora i prsta iznosi nekoliko milimetara, a između izvora i ruke nekoliko centimetara. Ako se upotrebni pinceta dužine oko 20cm, doza koju prime prsti će se smanjiti za faktor 1000, a doza koju primi ruka za faktor 15 do 20.

U slučaju da udaljenost ne bi bila dovoljna zaštita, ona ipak doprinosi smanjenju debljine potrebnog apsorbera, i tako smanjuje troškove.

Vreme - Ako se skrati vreme rada sa izvorom, može se primiti vrlo mala doza iako je intenzitet zračenja prevelik da bi se sa tim izvorom moglo raditi normalno radno vreme. Primer: dopustivo je raditi u prostoru gde je brzina doze 100 puta veća od maksimalno dozvoljene doze za kontinuirani rad, ukoliko se radno vreme skrati kod te brzine doze na stotи deo od 40 radnih sati, dakle na nešto manje od pola sata.

Apsorberi - Efikasan način za smanjenje intenziteta zračenja je postavljanje apsorbera zračenja, štita, između izvora i posmatranog mesta. Postoje dve vrste različitih debljina apsorbera u zavisnosti od toga da li se radi o zaštiti od nanelektrisanih čestica, gde postoji jako međudelovanje između zračenja i materije, ili o nenanelektrisanim česticama, kao što su gama zračenje i neutroni, koji mogu da prođu u materiju pre nego što sa njom interaguju.

Povećanje debljine štita i povećanje udaljenosti može da dovede do znatnog povećanja vremena rada. Da bi se povećala zaštita preporuka je da se radi sa izvorima koji nemaju veću radioaktivnost nego što je potrebno.

5.2. MERENJE I KONTROLA ZRAČENJA

Da bi se umanjile štetneposledice zračenja na ljudski organizam, moraju se vršiti merenja i kontrole zračenja. Merenjem je potrebno utvrditi kolike su brzine doze zračenja na pojedinim mestima, a takođe i da li su pojedini predmeti, delovi tela idr. kontaminirani radioaktivnim materijalom.

Dozimetrija prostorija i vazduha u njima vrši se dozimetrima –detektorima nuklearnog zračenja baždarenim u jedinicama brzine doze zračenja. Pored njih koriste se i razni prenosivi dozimetri, uključujući i lične dozimetre koje osoblje nosi na radnoj odeći.

U okviru zaštite od zračenja koriste se i sredstva za sprečavanje širenja radioaktivnog materijala. Ona uključuju mere kojima se sprečava nekontrolisano širenje radioaktivnih materijala i mere za dekontaminaciju (za uklanjanje rasutih radioaktivnih materijala). To su filtriranje vazduha (ako se radioaktivni materijal nalazi u obliku aerosola), pranje predmeta pomoću razblaženih kiselina, baza (ako se radioaktivni materijal nalazi u obliku praha ili tečnosti).

Merenja doze zračenja moraju se vršiti redovno, da bi se ustanovila efikasnost mera zaštite.

Pre nego što se izloži zračenju svaka osoba se mora sistematski pregledati. U slučajevima kad je osoba već predhodno bila profesionalno izložena zračenju, treba odrediti maksimalno akumuliranu dozu. Doze primljene zbog profesionalnog

izlaganja moraju se sistematski proveravati da se ne bi prešla gornja dozvoljena granica i da bi se znala akumulirana doza primljena u toku godine.

5.3. UKLANJANJE RADIOAKTIVNIH OTPADAKA

Kada radioaktivni materijali iz reaktora postanu na bilo koji način radioaktivni otpaci, uklanjaju se uglavnom na dva načina: razblaženjem i ispuštanjem u ambijent ili koncentracijom i uskladištenjem. Koji će se od ovih postupaka primeniti zavisi od stepena radioaktivnosti otpadaka, vrste nuklida (razni nuklidi imaju različito kretanje u biosferi), kao i od agregatnog stanja u kome se nalazi radioaktivni materijal. Najlakše i najbezbednije se mogu uklanjati radioaktivni otpaci koji se nalaze u čvrstom stanju.

Za skladištenje otpadaka u čvrstom stanju koriste se posebne građevine ili postojeće kavitacije u zemlji, naročito u naslagama soli , ili u suvim i neplodnim terenima. Suvi i neplodni tereni su pogodni zbog retke naseljenosti, a umanjena je i opasnost da vode vremenom raznesu deo materijala. Rudnici soli se za ovako uskladištenje smatraju veoma pogodni jer su naslage soli veoma postojane, u njih ne mogu prodreti podzemne vode i otporne su na temperaturu(bitno jer se u radioaktivnim materijalima generiše toplota). Uklanjanje čvrstih radioaktivnih otpadaka u duboka mora se još uvek primenjuje, ali se smatra nepodobnjim jer materijali preko vode i biosfere mogu ipak dopreti do čoveka ili uticati na samu biosferu.[6]

Radioaktivni otpaci u tečnom i gasovitom stanju se često prečišćavaju, ili zadržavaju dok im ne opadne aktivnost, a zatim se mešajući sa velikim količinama neradioaktivnog materijala ispuštaju u okolinu.

6. ZAKLJUČAK

Prirodni fenomen koji je uslovio i neprestano pratio evoluciju organske materije i živih organizama na Zemlji, a još uvek izaziva strahove i nesuglasice je jonizujuće zračenje. Kako čovek nema prirodna čula kojima bi mogao da ga registruje, jonizujuće zračenje je otkriveno tek tokom poslednjeg veka i u nauci nisu još uvek rešena mnoga pitanja za permanentan uticaj malih količina jonizujućih zračenja na živa bića. Bilo je potrebno mnogo godina intenzivnih istraživanja da se odgonetne suština procesa u kojem se neprestano emituje zračenje i da se dode do saznanja da mikrosistemi mogu veoma dugo vremena da provode u stacionarnim, a nestabilnim stanjima, te da je radioaktivni atom u suštini stabilan sve do trenutka u kojem pretrpi transformaciju. Definisan je radioaktivni raspad kao proces u kojem dolazi do spontane transformacije nestabilnog jezgra u jezgro potomak, uz istovremeno emitovanje zračenja određenih vrsta i energija. Zračenje koje prati transformaciju potiče od teških ili lakih nanelektrisanih čestica, koje sa velikom energijom izleću iz jezgra (α -, β -zračenje) ili je elektromagnetne prirode (γ -zračenje).

1895. godine fizičar Rentgen je otkrio x- zrake, pokazao je da imaju talasnu prirodu i da nisu nanelektrisane čestice.

Svi tipovi zračenja koji potiču iz radioaktivnih raspada, kao i x-zraci, u materiji kroz koju prolaze izazivaju stvaranje jona pa otuda i naziv jonizujuće zračenje. Deo energije jonizovanog zračenja biva apsorbovan u materiji kroz koju prolazi. Kako je velika osetljivost živih organizama na ovu vrstu zračenja, pojavljuju se razni štetni efekti kao posledica izlaganja jonizujućem zračenju. Promene koje nastaju kod organizma usled delovanja zračenja javljaju se u vidu genetskih oštećenja (ošrećenje polnih ćelija) i ili somatskih oštećenja (oštećenje na svim ostalim ćelijama).

Verovatnoća da pojedinac doživi određeni štetni efekat kao rezultat izlaganja jonizujućem zračenju, radijacioni rizik, određuje se preko doze, fizičke veličine koja služi kao kvantitativna mera nivoa izlaganja jonizujućem zračenju. Pri internoj kontaminaciji, bitno je efektivno vreme polueliminacije radionuklida iz organizma.

Koncepti, filozofija i veličine za zaštitu od zračenja zasnivaju se u celom svetu na preporukama koje formira i objavljuje Međunarodna komisija za zaštitu od zračenja (ICRP), koja je osnovana 1928 godine u Štokholmu.

Opšte prihvaćen međunarodni koncept za određivanje prihvatljivog nivoa rizika ALARA, predstavlja zahtev da sve doze budu onoliko niske koliko je to razumno

moguće postići, pri čemu se uzimaju u obzir ekonomski i društveni faktori, ali se prednost uvek daje zdravstvenim faktorima.

Stanovništvo je često nepoverljivo prema zračenju i oštro reaguje na uvođenje novih izvora zračenja. Kosmičko zračenje je nemoguće izbeći, takođe i zračenje radionuklida koje srećemo u prirodi. Međutim, izvori zračenja koji su nastali kao rezultat čovekovog delovanja često bude strah.

Dva izvora radioaktivnog zračenja najviše brinu javnost:

- nuklearno oružje
- nuklearne elektrane.

Veliki strah stanovništva od nuklearne energije nastao je zbog slučajeva koji su nastali usled nepoštovanja normi zaštite. Nuklearne elektrane i nuklearni otpad zahtevaju veliku odgovornost. Od svog osnivanja 1957. godine Međunarodna komisija za atomsku energiju IAEA formira osnovne norme - standarde sigurnosti, koji služe svim zemljama članicama kao referenca u nacionalnom zakonodavstvu iz domena zaštite od jonizujućeg zračenja.

LITERATURA

- [1] Osnove radijacione dozimetrije i zaštite od zračenja – Valerija Paić, Guy Paić(1983 –Zagreb)
- [2] Radijacija-doze, posledice, rizici- Ema Časar (1986- Nolit, Beograd)
- [3] Osnovi atomske fizike – Dr Ivan Janjić (1992- Novi Sad)
- [4] Opšta patološka fiziologija – Beleslin B. Bogdan, Čemerkić A. Dušan (1997- Beograd)
- [5] Biologija za 4 razred gimnazije – Dragoslav Marinković, Ivo Savić, Božidar Ćurčić, Veljko Terzija (1994-Beograd)
- [6] Internet –www.moja energija.hr.(novembar 2005)
- [7] Internet – www.milion-against-nuclear.net. (2006)

UNIVERZITET U NOVOM SADU
PRIRODNO-MATEMATIČKI FAKULTET

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

*Redni broj:***RBR***Identifikacioni broj:***IBR***Tip dokumentacije:*

Monografska dokumentacija

TD*Tip zapisa:*

Tekstualni štampani materijal

TZ*Vrsta rada:*

Diplomski rad

VR*Autor:*

Slobodanka Nikolić Maksimović

AU*Mentor:*

Dr.Nataša Todorović

MN*Naslov rada:*

Dejstvo jonizujućeg zračenja na živu materiju-uticaj na zdravlje ljudi

NR*Jezik publikacije:*

srpski (latinica)

JP*Jezik izvoda:*

srpski/engleski

JL*Zemlja publikovanja:*

Srbija i Crna Gora

ZP*Uže geografsko područje:*

Vojvodina

UGP*Godina:*

2007

GO*Izdavač:*

Autorski reprint

IZ*Mesto i adresa:*

Prirodno-matematički fakultet, Trg Dositeja Obradovića 4, Novi Sad

MA*Fizički opis rada:***FO***Naučna oblast:*

fizika

NO*Naučna disciplina:*

Zaštita životne sredine

ND*Predmetna odrednica/ ključne reči:*

Radioaktivnost, jonizujuće zračenje, doze zračenja, zaštita

PO**UDK***Čuva se:*

Biblioteka departmana za fiziku, PMF-a u Novom Sadu

ČU*Važna napomena:*

nema

VN*Izvod:*

Otkriće jonizujućeg zračenja. Izvori jonizujućeg zračenja. Dejstvo jonizujućeg zračenja na živu materiju. Doze zračenja. Radijaciono hemijski procesi u tkivu. Uticaj zračenja na zdravlje čoveka. Adaptivni odgovor. Zaštita od zračenja.

Datum prihvatanja teme od NN veća:

18. 05. 2007.

DP

Datum odbrane:

13. 9. 2007.

DO

Članovi komisije:

KO

doc.Dr Nataša Todorović, Prof. Dr Miroslav Vesović,
Prof. Dr Božidar Vujičić

Predsednik:

Prof. Dr Miroslav Vesović

član:

Prof. Dr Božidar Vujičić

član:

Doc. Dr Nataša Todorović

UNIVERSITY OF NOVI SAD
FACULTY OF SCIENCE AND MATHEMATICS

KEY WORDS DOCUMENTATION

Accession number:

ANO

Identification number:

INO

Document type:

Monograph publication

DT

Type of record:

Textual printed material

TR

Content code:

Final paper

CC

Author:

Slobodanka Nikolić Maksimović

AU

Mentor/comentor:

PhD Nataša Todorović

MN

Title:

Influence of ion radiation to active substance-influence to people's health

TI

Language of text:

Serbian (Latin)

LT

Language of abstract:

English

LA

Country of publication:

Serbia and Montenegro

CP

Locality of publication:

Vojvodina

LP

Publication year:

2007

PY

Publisher:

Author's reprint

PU

Publication place:

Faculty of Science and Mathematics, Trg Dositeja Obradovića 4, Novi Sad

PP

Physical description:

5/182/32/0/71/0/3

PD

Scientific field:

Physics

SF

Scientific discipline:

Environment protection

SD

Subject/ Key words:

Radiation, ion radiation, radiation doses, protection.

SKW

UC

Holding data:

Library of Department of Physics, Trg Dositeja Obradovića 4

HD

Note:

none

N

Abstract:

Discovery of ion radiation. Resources of ion radiation. Influence of ion radiation to active substances. Radiation doses. Radiation- chemical process in a tissue. Radiation influence to human health. Adaptable answer. Protection from radiation.

AB

Accepted by the Scientific Board:

18.05. 2007

ASB

Defended on:

13. 09. 2007

DE

Thesis defend board:

DB

President:

PhD Miroslav Vesović

Member:
Member:

PhD Božidar Vujičić
PhD Nataša Todorović



Slobodanka Nikolić Maksimović rođena 19.10.1959.god. u Kruševcu. Osnovnu školu i Gimnaziju prirodnog smera završila u Kruševcu. Višu pedagošku školu, smer fizika-hemija završila u Beogradu. Živi i radi kao nastavnik fizike u Lazarevcu.

