

Cursul 14.1 Surse de radiații nucleare

Am vazut în capitolul precedent că omul este supus radiațiilor nucleare din numeroase surse, atât naturale cât și artificiale. Această expunere are loc mai ales începând din a doua jumătate a secolului al XX-lea. Suntem înconjurați de o serie de fenomene radioactive naturale. Acestea este o consecință a emanării gazelor radioactive din rocile care conțin uraniu sau radium, precum și de radiații de origine cosmică. La fondul natural se mai adaugă și radiațiile emise de radioizotopi artificiali. Acestea au efecte pronunțate asupra multor organisme vii.

Activitățile de minerit, cele industriale, de cercetare în laborator sau investigațiile și tratamentele medicale pot expune, personalul și chiar populația, la doze mai mici sau mai mari de radiații. Pentru o corectă apreciere a expunerii fiecărui individ și a populației în general, la radiații este util să se inventarieze sursele posibile de radiații având origine nucleară.

Surse naturale de radiații nucleare

Radiații ionizante de origine nucleară există natură, iar acțiunea lor fizică și biologică nu se produce doar în zilele noastre, ci s-a manifestat chiar și în vremuri străvechi. Din faptul că viața pe pământ există și continuă, deducem că radiațiile cosmice și celelalte radiații nucleare nu au depășit o limită maximă de suportabilitate a organismelor vii. Totuși, se pare că în cazuri individuale, aceste radiații au avut efecte distrugătoare, măcar asupra unora dintre vietăți. Se presupune astfel că, radiația cosmică deosebit de intensă, rezultată în urma exploziilor unor supernove din galaxia noastră, au provocat moartea reptilelor uriașe din ere geologice ale planetei.

Tabel 1 Surse naturale de radiații nucleare.

Sursa naturală de radiație	Caracteristici
Radiația cosmică	Reprezintă circa 280 – 300 $\mu\text{Sv}/\text{an}$ (în nordul Europei și în Marea Britanie). Această formă de poluare radioactivă naturală se răspândește în tot spațiul interstelar și chiar intergalactic.
Radiațiile gama de origine telurică	A provenit în mare măsură din materialele de construcție. Majoritatea acestora fiind luată din pământ, unde a fost în contact cu minereuri radioactive. Ele determină expunerea la o doză biologică de circa 400 $\mu\text{Sv}/\text{an}$.

Prođuși gazos ai dezintegrării radioactive din familia uraniului	Radonul-222 (^{222}Rn) și radonul-220 (^{220}Rn) sunt radionuclizi cu timpul de înjumătățire scurt și activitate mare. Aceștia se atașează de particulele de praf din atmosferă, de unde, prin inhalare, ajung în organism cauzând expunerea estimată la circa 800 $\mu\text{Sv}/\text{an}$.
Din alimente.	Din această sursă se ingerează izotopi radioactivi ai unor elemente predominant stabile: Carbonul-14 (^{14}C), Kriptonul-40 (^{40}K), Plumbul-210 (^{210}Pb) sau Poloniul-216 (^{216}Po). Acest lucru determină o expunere internă de aproximativ 370 $\mu\text{Sv}/\text{an}$.
Elemente radioactive din natură	<p>În afara izotopilor radioactivi din cele trei serii radioactive mai există natură și alte elemente radioactive de mase intermediare: Rubidiu-87 (^{87}Rb), Indiu-115 (^{115}In), Lantaniu-138 (^{138}Ln), Neodim-144 (^{144}Nd), Samariu-147 (^{147}Sm), Lutețiu-176 (^{176}Lu), Reniu-187 (^{187}Re) sau Platină-190 (^{190}Pt). Uni radioizotopi naturali sunt produși și în prezent prin acțiunea radiației cosmice. Aceasta produce inițial prin reacții de spalație, neutron1 care pot interacționa cu nucleele de azot (fiind cel mai abundent element din atmosferă) după reacțiile:</p> $^{14}_7\text{N} + ^1_0\text{n} \rightarrow ^{14}_6\text{C} + ^1_1\text{p}, \quad (1)$ <p>sau</p> $^{14}_7\text{N} + ^1_0\text{n} \rightarrow ^{12}_6\text{C} + ^3_1\text{T}, \quad (2)$ <p>ambii produși de reacție, ^{14}C și ^3T sunt radioactivi. Deși se dezintegrează în timp aceștia ajung în atmosferă la o concentrație de echilibru, penru că sunt generați încontinuu. De către radiație solară. Aceste concentrații pot fi folosite la determinarea vârstei unor obiecte de interesat arheologic, după cum s-a explicat în capitolul anterior. În cazul izotopului ^{14}C. Alte elemente radioactive se consumă încontinuu prin dezintegrare, nemaifiind regenerate. Asta explică dispariția elementelor seriei neptuniu lui din mediul natural.</p>
Uraniul din minereuri	Ca materie primă pentru întreaga energie nucleară U este extras în cantități tot mai mari din sol, unde este inofensiv. Prin aducerea acestuia la suprafață, ajungând în comunități omenești devine astfel periculos prin radioactivitatea sa, dar și a descendenților din seria lui radioactivă. Mai mult de 100 de minereuri conțin uraniu în concentrație de peste 1%. El este răspândit în proporție mai mică și în rocile acidă cum este granitul, în fosfați, în carbuni, etc. În scoarța terestră, se găsesc în medie 4 g la o tonă de rocă. În apa mărilor concentrația de U este de numai 3 g la 1.000 de t de apă. În apele curgătoare, sau chiar în apa de băut, concentrația poate fi de zeci de ori mai mare. U se găsește și în cereale (10 - 100 mg/tonă. În cartofi 15 mg/tonă, mai puțin în legume și chiar în oase de animale (40 mg U/tonă de cenușă de oase).

Uraniul și radioactivitatea organismului uman

Din aceste surse (prezentate în Tabelul 1) omul introduce zilnic în organismul său peste 1 μg de uraniu, odată cu alimentele și apa ingerate. **Uraniul se acumulează în organism, mai ales în oase (0.02 mg U/kg de cenușă de oase), în plămâni și în sânge.** S-a estimat că pentru unui om de 70 de kg îi revine cam 125 μg de uraniu, provenit din aceste surse. În plus, din alimentație și din atmosferă în organism unei persoane de 70 de kg se mai află și alte substanțe radioactive ca cele prezentate în Tabelul 2. Astfel, în întreg corpul omenesc normal, se dezintegrează 22 103 nuclee în fiecare secundă. Rezulta astfel o **activitate de 0,6 μCi a organismului uman.**

Tabelul 2 Cantități de substanțe radioactive în organismul unui om de 70 kg.

Substanța radioactivă	Activitatea
$1.9 \times 10^{-8} \text{ g } ^{14}\text{C}$	$3.1 \times 10^3 \text{ dez/s}$
$8.4 \times 10^{-15} \text{ g } ^3\text{T}$	3 dez/s
$8.3 \times 10^{-2} \text{ g } ^{40}\text{K}$	$1.9 \times 10^4 \text{ dez/s}$

Problema radonului

Expunerea populației este mai ridicată acolo unde se află depozite de uraniu, pentru că pe lângă uraniu și descendenții săi solizi (cum este radiul) mai există și radonul. ^{222}Rn este un gaz radioactiv ce pătrunde în plămâni, fiind periculos în special pentru personalul de la minele de uraniu. După cum atestă studiile pe eșantioane largi de populație, incidența cancerului pulmonar la aceste persoane este destul de ridicată. Dar nu numai minerii sunt expuși la ^{222}Rn ci și locuitorii localităților din apropierea minelor de uraniu: la noi în țară, în Munții Apuseni, s-a constatat că oamenii au utilizat sterilul de mină la construirea fundațiilor de case, a gardurilor din gospodării. Aceasta a dus la concentrații mult mărită de radon în locuințele respective. Cantitățile de radon detectate fiind superioare celor care se generează în mod curent din materialele obișnuite de construcție. S-a determinat un nivel ridicat de expunere, în special ^{222}Rn , după cum o relevă studiile și măsurătorile efectuate în teren.

Problema minereurilor bogate în Uraniu

În *pechbelndă* și în *carnotit*, care sunt minereuri bogate în uraniu, există și urme de Neptuniu (Np) și Plutoniu (Pu). Acestea sunt în cantități de ordinul a 10^{-14} g/gram de minereu. Sunt formate prin captura neutronilor în uraniu. Neutroni pot proveni fie din fisiunea spontană a uraniului, fie din reacții nucleare provocate de radiația cosmică în straturile de la suprafața zăcămintelor.

Problema radiației cosmice

Este bine de menționat aici și câteva detalii suplimentare în legătură cu radiația cosmică. Originea ei este stelară sau solară. Încă nu se poate afirma cu precizie decât că are o componentă *moale*, care este de origine solară sau are legătură cu fenomenele solare. Intensitatea radiațiilor de origine cosmică detectată la sol depinde de intensitatea câmpului magnetic terestru. Acesta are rol de scut și de depozit de particule din razele cosmice. Așa cum este cazul centurilor de radiație Van Allen care înconjoară pământul ca două brâuri. După părerea multor oameni de știință, mutațiile genetice produse de radiația cosmică, sunt responsabile de apariția reptilelor gigantice cum erau cele din erele secundară și terțiară, precum și de dispariția acestora la un moment dat. Se presupune că radiațiile cosmice au avut și o influență consistentă asupra evoluției speciilor animale și vegetale până la formele de viață pe care le cunoaștem astăzi.

Un alt factor este acela că oamenii care locuiesc sau lucrează la mari înălțimi (la munte sau pe platouri înalte) sunt mai expuși la radiații cosmice decât cei care lucrează la înălțimi joase. Atmosfera și chiar scoarța terestră sunt veritabile ecrane protectoare în calea radiației cosmice.

Problema zborurilor la mare înălțime

Zborurile din stratosferă, foarte numeroase în ultimele decenii (reduse acum din cauza pandemiei de Covid-19), cauzează expunerea la un fond mult mărit de radiații ionizante de origine cosmică. Acestea se fac simțite în special, în cazul personalului care deservește aceste transporturi și care este supus unei expuneri de durată mai lungă. În timpul așa numitelor furtuni magnetice, activitatea solară este deosebit de intensă. Aceasta, poate crește atunci și cu câteva ordine de mărime. În astfel de situații, la un singur zbor, se pot încasa doze de ordinul r.e.m-ilor. Totuși dacă se ține seama de zborurile în cosmos ale astronautilor, se pare că organismul uman poate să se adapteze la condiții din cele mai severe posibil și la anumite doze de radiații cosmice.

Doze anuale de radiații

În general, doza totală încasată din fondul natural de radiații depinde de: i) organism; ii) de altitudinea la care trăiește; iii) de particularitățile solului; La aceasta se adaugă iv) doza datorită radioactivității interne organismelor, care depinde de masa viețuitoarelor. Admițând că toată substanță organică are o aceeași activitate specifică,

Tabel 3 Doze de radiații anuale după altitudine și particularitățile solului în care trăiește un individ.

Regiunea	Doza anuală (10^{-3} r.a.d/an)
3.000 de metri altitudine – radiație cosmică	100
la nivelul mării – radiație cosmică	35
roci granitice – radiație telurică	90
roci sedimentare – radiație telurică	23
iradiere externă în mediul acvatic	0.5-4
3 000 de metri altitudine pe o stâncă granitică	207
la nivelul mării pe o stâncă granitică	142
pe rocă sedimentară la nivelul mării	75
pe mare	52

valorile estimată ale dozelor încasate în diferite locuri (la nivelul mării, la altitudine, pe roci granitice sau sedimentare) sunt prezentate în tabelul de mai sus.

Surse artificiale de radiații nucleare

Odată cu dezvoltarea tehnicilor moderne nucleare și cu extinderea ariei de cercetare științifică în domeniul nuclear, oamenii ajung să fie expuși unei doze crescute de radiații nucleare, cauzată din: i) surse medicale: ii) din experiență nucleară pe teren și laborator: iii) din energie nucleară și iv) din surse militare. Sursele artificiale de radiații se pot împărți în două mari grupe: 1) **surse controlate** (ca instalații energetice, instalații experimentale în cercetare civilă și în scop militar, surse utilizate în industrie și în scopuri medicale) și **surse necontrolate** (ca deșeuri care scapă în mediu, în ape, aer sau sol precum și sursele intrate în traficul de substanțe radioactive în scopuri teroriste).

Tabel 4 Tipuri de surse după domeniile de utilizare a lor.

Tipul de sursă	Domeniul de utilizare
În scopuri medicale	Organismele sunt expuse prin investigații (barium-pasaj, iodocaptare, radiografii, etc) și prin tratamente radiologice (în special cu cobalt-60). Expunerea aceasta este mult superioară celei naturale. În cazuri individuale pot ajunge la ordinul r.e.m-ilor sau mai multe. Tabelul 5 prezintă dozele încasate de un individ din diferite surse artificiale medicale.
Contaminarea mediului din experiență cu bombe nucleare	Determină mărirea fondului terestru de radiații. În emisfera nordică, unde se află zonele cu densitatea cea mai mare de populație, și unde s-au efectuat mai multe experiențe de acest tip, s-au determinat activități de 90 mCi (^{137}Cs) și respectiv 40 mCi (^{90}Sr)

	per km ² . Acești izotopi ajung cu timpul în lanțul trofic și în cele din urmă în organismul omului. S-a constatat că această contaminare depinde și de dieta locală. Astfel dacă este bogată în produse lactate se încasează o doză de 10 – 30 de mili r.e.m., sau constă din orez și atunci încasează o doză de 60 până la 240 mili r.e.m.
Zborurile la altitudine	Determină mărirea artificială a expunerii la sursă naturală de radiații, în speță la radiația cosmică.
Ceasurile cu cadrane luminoase și diverse obiecte rozare, iconițe și jucării fosforescente	Conțin substanțe radioactive care contribuie în măsură considerabilă la iradierea în masă a populației.
Televizoarele, monitoarele calculatoarelor	Expun utilizatorii la doze de iradiere mai mare. Motiv pentru care se impun măsuri de ecranare a monitoarelor. Este vorba despre monitoarele cu tub catodic. Actualmente acesta au fost înlocuite cu monitoare de tip LED, iar această problemă a fost în mare măsură eliminată.
Operațiile numeroase și complexe de extragere prelucrare și utilizare a materialelor radioactive. pentru energetică	Un pericol foarte mare de contaminare a mediului cu substanțe radioactive îl prezintă deșeurile care rezultă în fiecare din etapele de producție a energiei din surse nucleare.

Tabel 5 Doze datorată iradierii din surse artificiale medicale.

Tipul de examinare medicală	Doza gonade –bărbat (mili r.a.d.)	Doza gonade –femeie (mili r.a.d.)
radiografie pulmonară simplă	0.5	0.5
radiografie coloană lombară două fișe	200	750
tranzit baritat 4 clișee	100	200
urografie 6 clișee	400	4500
scintigrafie hepatică	22	50

Problema Plutoniului

Plutoniul este și el un contaminant radioactiv deosebit de periculos. Fiind foarte radio toxic este extrem de dăunător organismelor chiar la activități și de ordinul câtorva μCi (doză corporală). Cantitățile din acest izotopi deja produse în întreaga lume ar fi suficiente să nimicească întreaga omenire, ridicându-se, acum 10 ani, la 100 de tone răspândite pe tot globul. Acest plutoniu provine în special din exploziile nucleare din atmosferă în urma experimentelor nucleare. O serie de studii efectuate după deceniul 6-7 al secolului al XX-lea, au relevat faptul că, între latitudinile nordice de 40° până la 50° de grade, unde densitatea de populației este ridicată, contaminarea solului era de 1.5 – 2 mCi/km², iar a aerului în aceeași zonă era de 0.1 pCi/1000 m³.

Bibliografie

1. Simona Cornelia Nicoara, Fizica Mediului si Habitatului, Ed. Risoprint 2002.
2. Valdimir Znamirovski, Note de curs, 1995
3. Prof. Dr. Grigore Damin, UBB, Note de curs Online, (Curs de Fizica Nucleara)
<http://www.phys.ubbcluj.ro/~grigore.damian/lectures.html>.
4. Onuc Cozar, Note de curs, 1996.