Izvori zračenja

Neionizirajuća zračenja

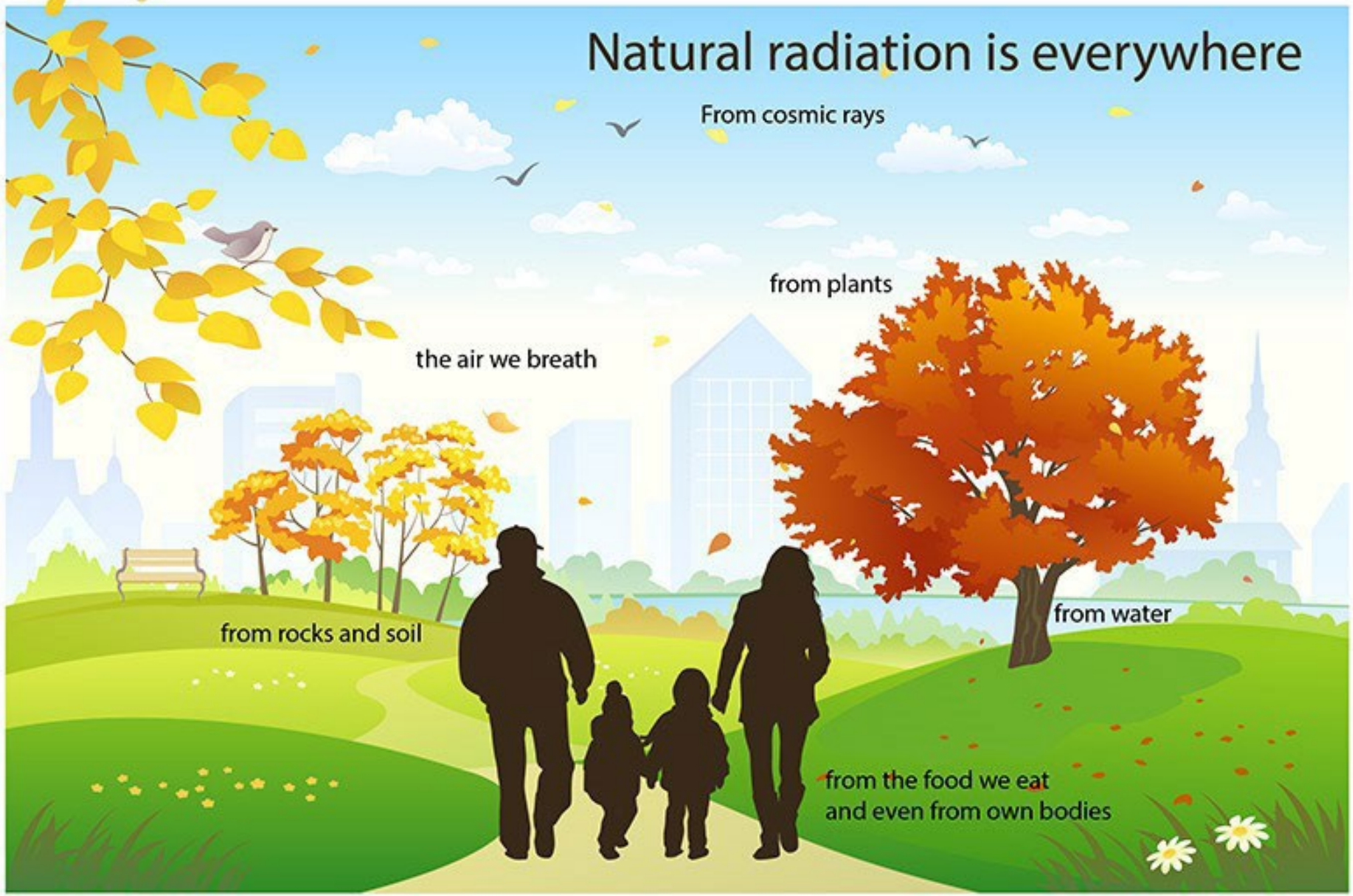
- prirodni izvori
- umjetni izvori

Ionizirajuća zračenja

- prirodni izvori
- umjetni izvori



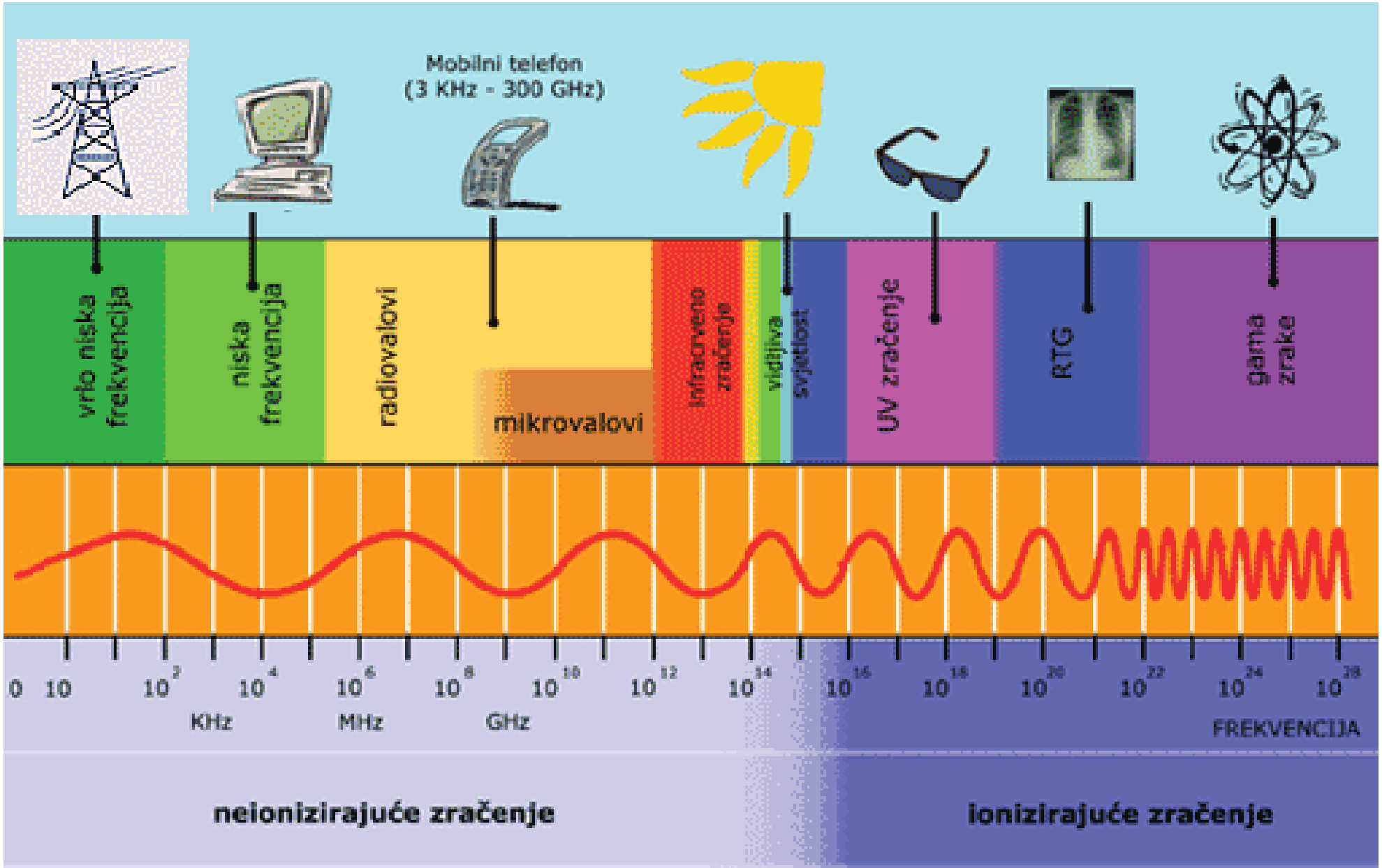
prof. dr. sc. Vesna Benković
Zavod za animalnu fiziologiju
Biološki odsjek
Prirodoslovno-matematički fakultet


Natural radiation is everywhere
From cosmic rays
from plants
the air we breath
from rocks and soil
from water
from the food we eat
and even from own bodies

Frekvencije pojedinih tipova zračenja

Radiovalovi - 10 kHz - 300 GHz =10^4–3x10^{11}Hz; toplina (infracrveno svjetlo): 10^{11}- 3x10^{14}Hz; vidljiva svjetlost - 3-7 x 10^{14}Hz;

Ultraljubičasto - 7x10^{14}- 10^{17}Hz; rendgenske zrake ili x zrake - 10^{17}do 10^{20}Hz; gama zrake - 10^{19} do 10^{21}Hz



Neionizirajuća zračenja

- elektromagnetska polja i elektromagnetski valovi frekvencije niže od 3.000.000 GHz ili ultrazvuk frekvencije niže od 500 MHz ,
- u međudjelovanju s tvarima ne stvaraju ione (tj. nemaju dovoljnu energiju da potpuno izbace elektrone iz njihove orbite i tako uvjetuju nastanak iona)
- Biološki učinak – izravno povezan s gustoćom inducirane struje ili deponiranom elektromagnetskom energijom u tkivu

U područje neionizirajućeg zračenja spadaju:

1. Zračenje ekstremno niskih frekvencija
2. Radiovalno i mikrovalno zračenje
3. Optičko zračenje (infracrveno, vidljivi spektar, ultraljubičasto)

https://www.zakon.hr/z/347/Zakon-o-za%C5%A1titi-od-neioniziraju%C4%87eg-zra%C4%8Denja

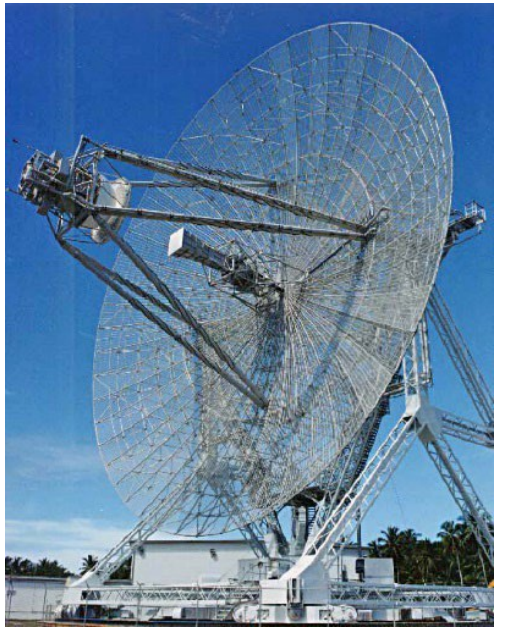
RADARI

- razne svrhe: prognoza vremena, vojni radari, radari za nadzor i kontrolu zračnog prometa itd.
- količina zračenja radara ovisi o frekvenciji emitiranog zračenja (veće za vrijeme emitiranja signala).



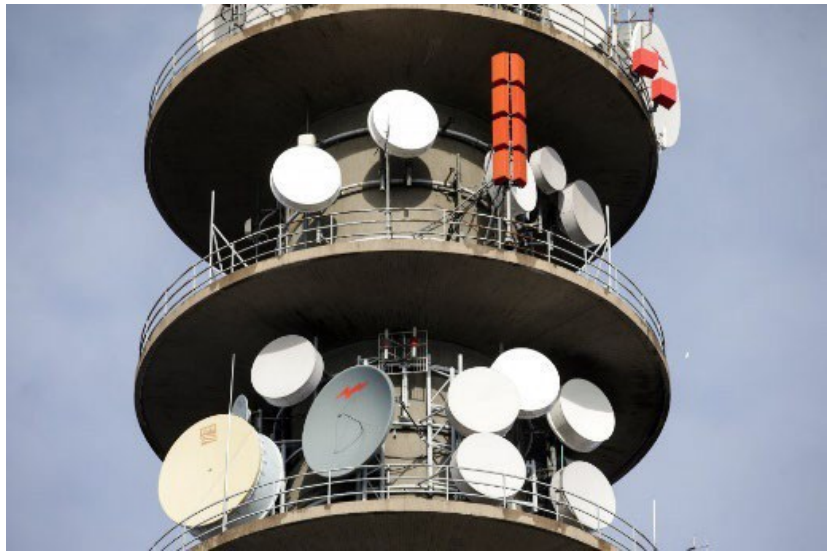
SATELITSKE ANTENE

- odašiljači na velike udaljenosti (do satelita)
- koriste relativno veliku energiju za razliku od mikrovalnih point-to-point antena.
- Zrake koje se koriste za odašiljanje signala su relativno uske i visoko usmjerene - vjerojatnost većeg izlaganja tom zračenju je značajno smanjena. Pri direktnom izlaganju zračenju, nivo zračenja sto puta manji od dozvoljene.
- Pristup tim antenama je također zabranjen.



Radiovalovi

- frekvencija 330MHz (valna duljina oko 1m).
- mogu se proizvesti protjecanjem izmjenične električne struje u anteni
- Signali radio i tv antena je bitan izvor zračenja u okolišu
- Antene odašilju na različitim frekvencijama, u ovisnosti o kanalu, od 550 kHz za AM radijske do 800 MHz za UHF televizijske stanice.
- nivo zračenja je dosta ispod onoga koji se smatra opasnim.





Mobilni uređaji

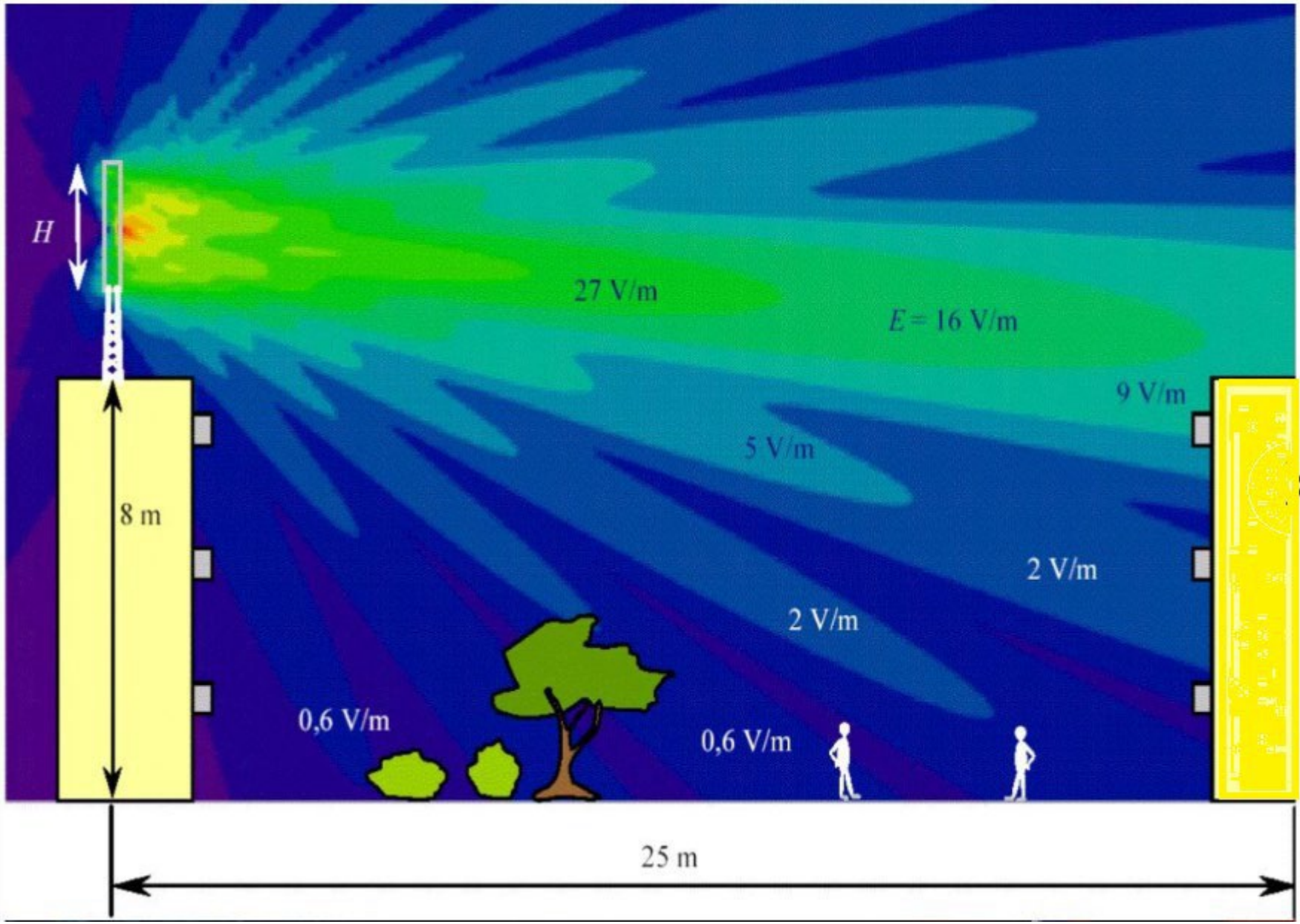
- frekvencije blizu 900 MHz i 1800 MHz.
- Međunarodna agencija za istraživanje raka (IARC) svrstala je radiofrekvencijsko zračenje u skupinu 2B ("mogući kancerogen"), no većina velikih zdravstvenih organizacija navodi da nema čvrstih i dosljednih dokaza da mobiteli uzrokuju rak mozga.
- najopsežnije istraživanje Svjetske zdravstvene organizacije uključila je studije do kraja 2022., (nisu uključena istraživanja o novoj 5G tehnologiji) - analizirano 5000 studija na temu povezanosti mobitela i raka iz cijelog svijeta (uključene sve vrste raka, ali su se posebno usredotočili na one koji pogađaju središnji živčani sustav, uključujući tumore mozga).
- Otkrili su da korištenje mobilnog telefona ne dovodi do povećanog rizika od raka, uključujući tumore mozga, tumore hipofize, tumore žlijezda slinovnica ili leukemiju.

- Izloženost radiofrekventnom zračenju baznih stanica ili antena za emitiranje također nije povećalo rizik od razvoja raka

- nedostatak podataka o upotrebi mobilnih telefona u vremenskim razdobljima duljim od 15-20 godina opravdavaju daljnja istraživanja korištenja mobilnih telefona među mlađim ljudima i potencijalno duljim životnim vijekom izloženosti

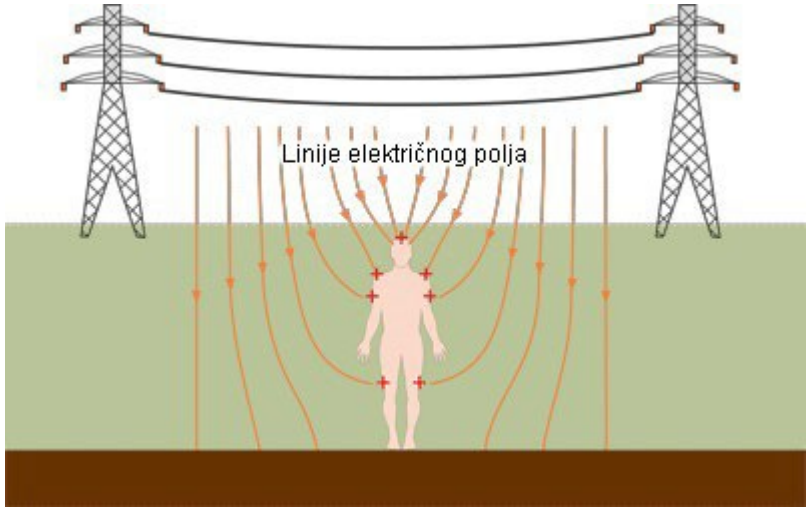


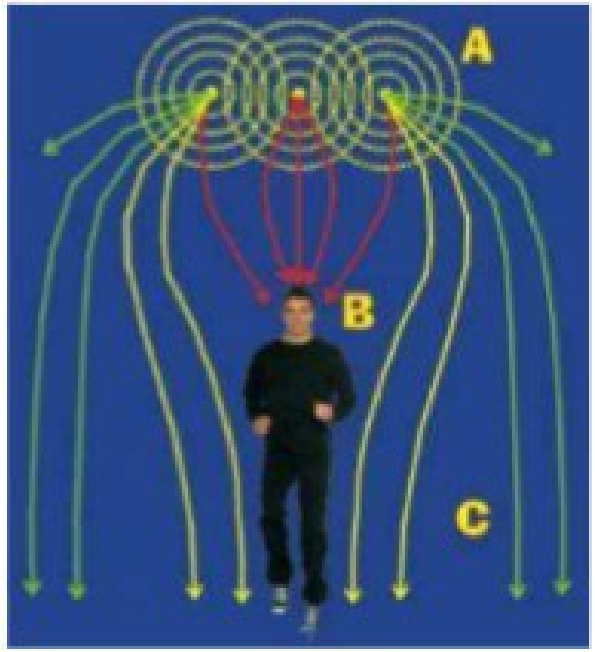



H
27 V/m
E = 16 V/m
9 V/m
5 V/m
8 m
2 V/m
2 V/m
0,6 V/m
0,6 V/m
25 m

DALEKOVODI

- prenose struju preko velikih udaljenosti i obično rade na 100 kW i više. Jačina električnog polja dalekovoda je određena iznosom struje koja teče, uređenosti i blizinom dalekovoda, visinom iznad zemlje i udaljenosti od drugih dalekovoda.





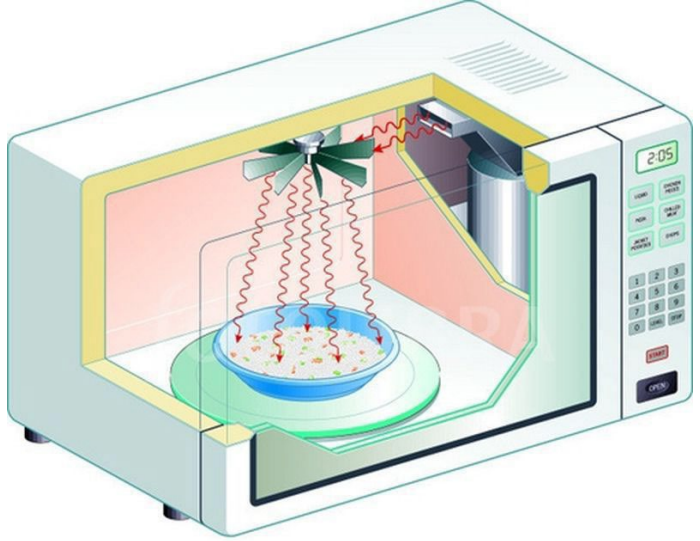
A - magnetsko polje - naše tijelo nije magnetično – nema utjecaja na elektrokemijske reakcije

B i C – linije električnog polja

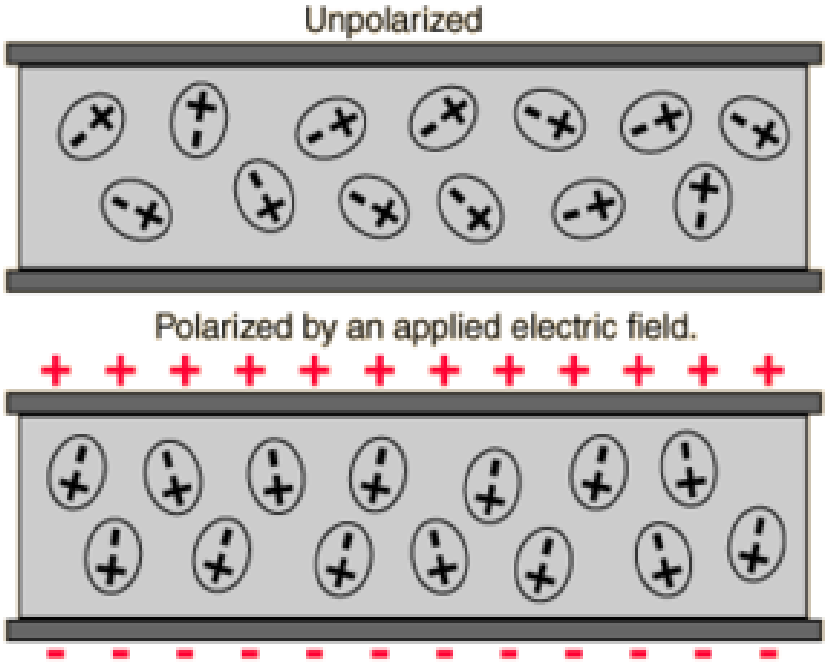
jako dugo i intenzivno izlaganje zbog velikih jakosti polja - štetni utjecaji

MIKROVALNA PEĆNICA

- frekvenciju oko 2,45 GHz što je valna duljina od 12,24 cm.
- dielektrično zagrijavanje (proces u kojem elektromagnetsko zračenje zagrijava dielektričnu tvar, a prouzročeno je rotacijom dipola).
- Rotacija u pokušaju poravnavanja sa izmjenjujućim električnim poljem mikrovalova.
- toplina koja se stvara dok se dipoli sudaraju sa drugim molekulama.
- Efikasnost zagrijavanja ovisi o dipolnom momentu – voda se zagrijava brže od masti ili šećera, jer ima veći dipolni moment.



Standard dopušta „curenje“ zračenja oko 1 mW/cm^2, na udaljenosti 5 cm od pećnice, pri proizvodnji i maksimalni nivo od 5 mW/cm^2. Mjerenja i analize rezultata dobivene mjerenjima su potvrdila da su pećnice sigurne za kućnu i industrijsku upotrebu.



SUNCE

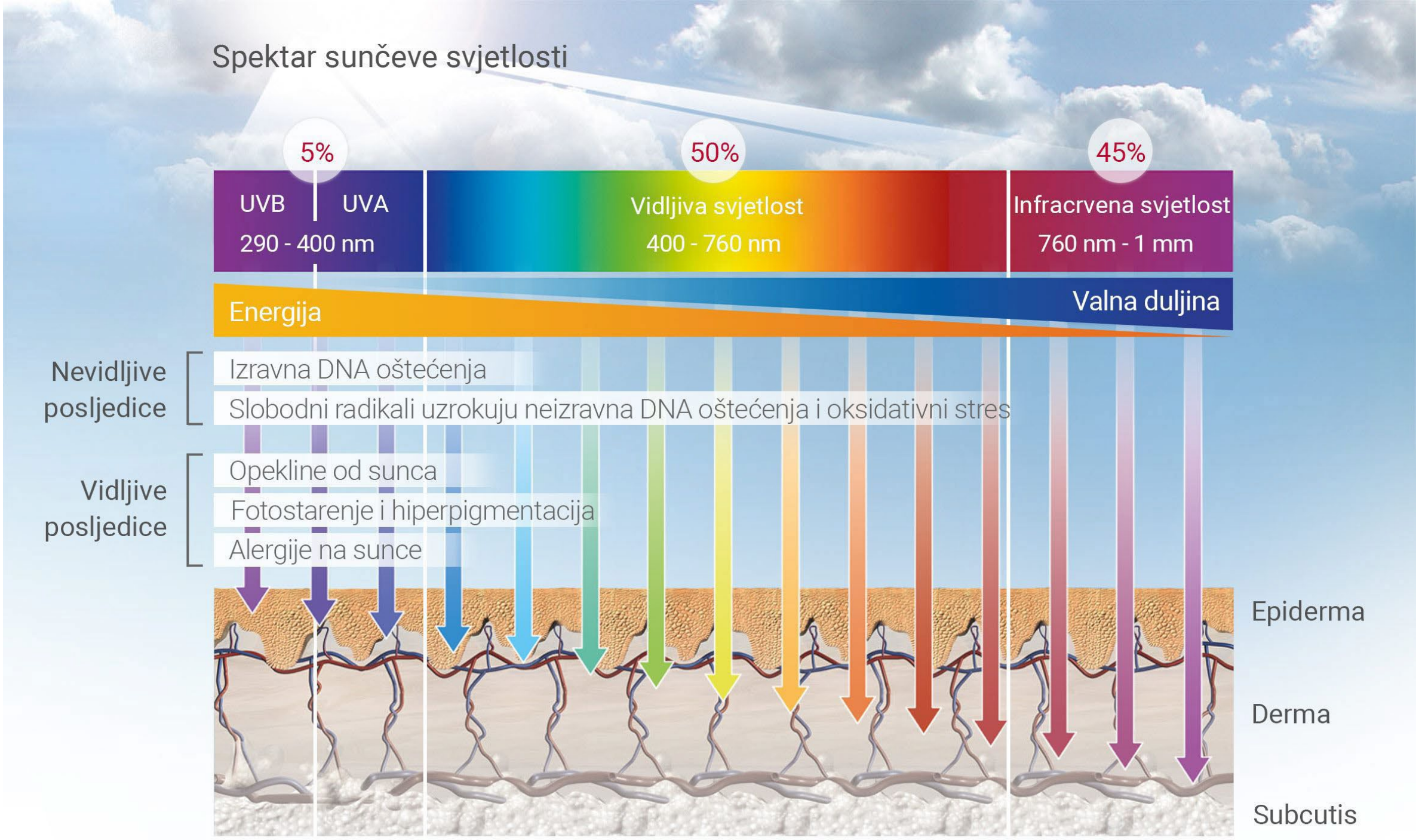
- Fuzija (H u He, He u C)
- emitira elektromagnetsko zračenje u širokom spektru valnih duljina.
- Zemljina atmosfera blokira velik dio Sunčevog zračenja, i to kraće valne duljine više od duljih.

Sunčevo zračenje - ogromna energija koja se većinom pretvara u toplinu (temperatura površine Sunca iznosi oko 5 778 K (5505 °C)).

Ozračenje ili iradijancija Zemlje Sunčevim zračenjem na vrhu Zemljine atmosfere naziva se **Sunčevom ili solarnom konstantom**

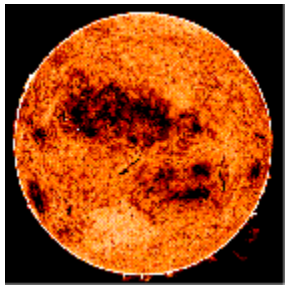
Sunce putem Sunčevog vjetra gubi masu (protone, elektrone)
Sunčev vjetar u prolasku kraj Zemlje djelomično biva „zarobljen" Zemljinim magnetskim poljem – pojava **polarne svjetlosti**




Spektar sunčeve svjetlosti
5%
50%
45%
UVB
UVA
290 - 400 nm
Vidljiva svjetlost
400 - 760 nm
Infracrvena svjetlost
760 nm - 1 mm
Energija
Valna duljina
Nevidljive posljedice
Izravna DNA oštećenja
Slobodni radikali uzrokuju neizravna DNA oštećenja i oksidativni stres
Vidljive posljedice
Opekline od sunca
Fotostarenje i hiperpigmentacija
Alergije na sunce
Epiderma
Derma
Subcutis

Infracrveno (IR) zračenje – termičko (toplinsko) zračenje

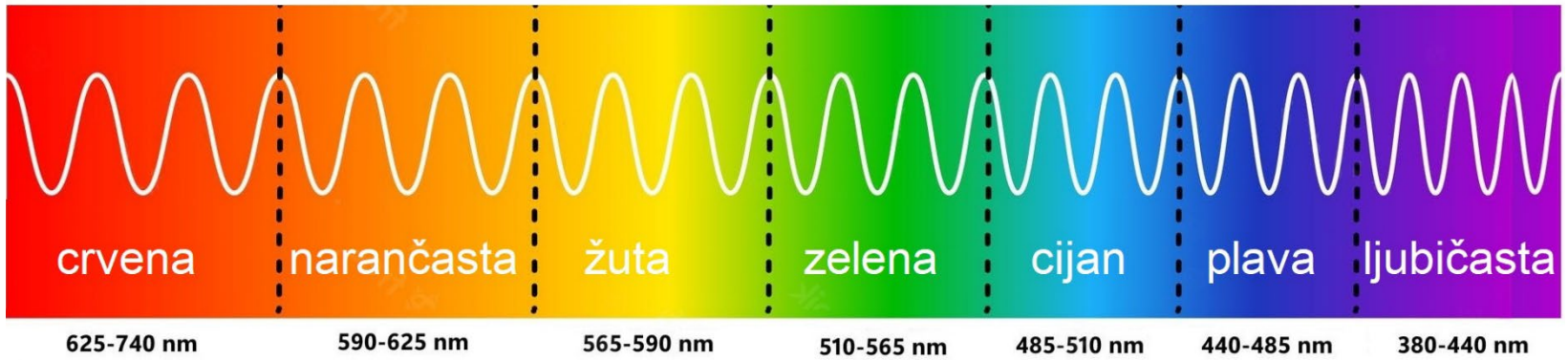
- nevidljivo je golom oku - elektromagnetski valovi veće valne duljine nego vidljiva svjetlost.
- Najveći dio IR zračenja pristiglog do Zemlje uspješno zaustavlja vodena para u atmosferi.
- Neki od umjetnih izvora infracrvenog zračenja su infracrvene lampe i grijači, velike peći svih vrsta (talionice, centralnog grijanja), zavarivanje, proizvodnja stakla i čelika.
- Primjenjuje se u mnoge svrhe npr. u fizikalnoj terapiji u medicini, za infracrvene fotografije, pri identifikaciji pojedinih vrsta molekula itd.







Vidljivi spektar



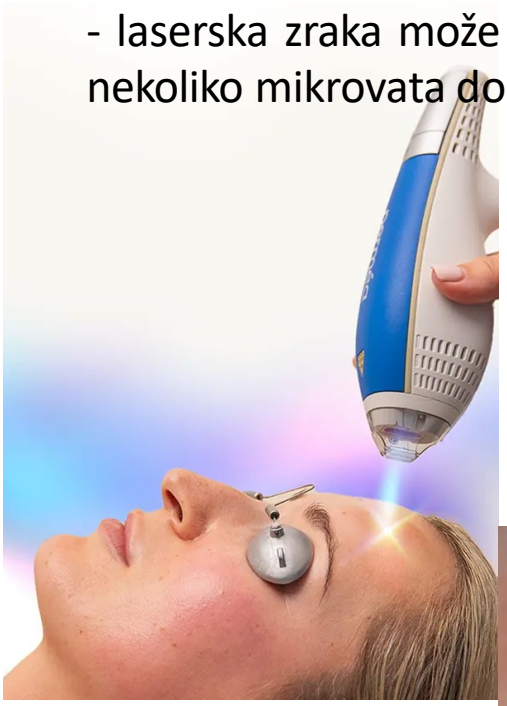


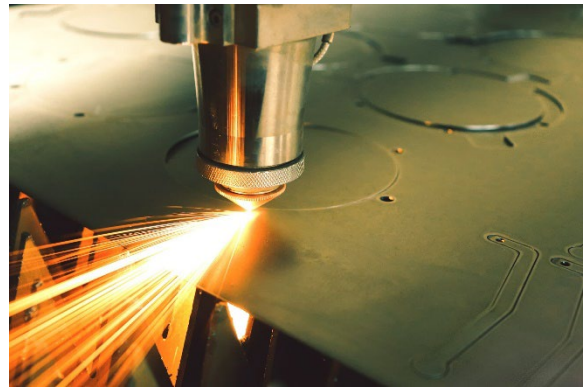
LASER (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation)

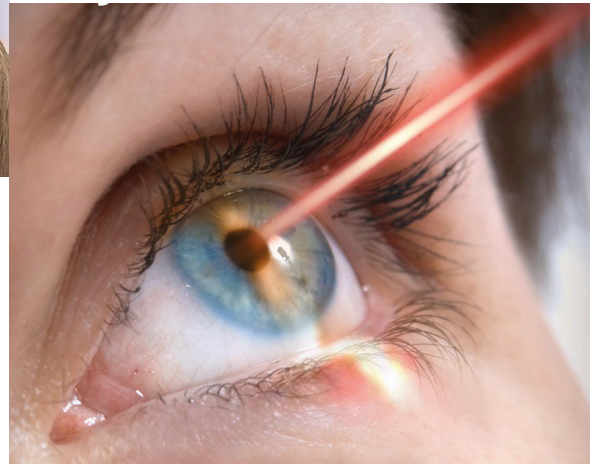
- izvor neionizirajućeg zračenja koji odašilje usmjereno koherentno elektromagnetsko zračenje u idealnim uvjetima na jednoj frekvenciji, a stvarno u uskom pojasu frekvencija u optičkom području. (*koherencija* - svojstvo elektromagnetskog vala da između dviju točaka u prostoru i vremenu postoji odnos konstantne faze titranja)

- Razlikuju se po različitim aktivnim laserskim medijima u kojima se stvara lasersko zračenje, što određuje osnovna svojstva emitiranog zračenja (frekvenciju, spektralnu poluširinu, snagu).

- laserska zraka može se usko fokusirati, lasersko svjetlo može biti mnogo intenzivnije od obične svjetlosti - jačina od nekoliko mikrovata do nekoliko biliona vata u kratkim praskovima.











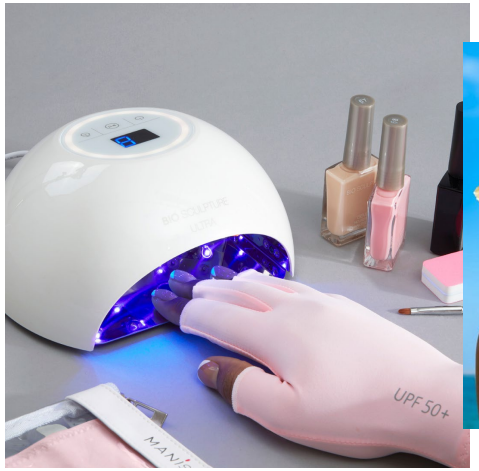
ULTRALJUBIČASTO SVJETLO - visokoenergentska komponenta Sunčevog zračenja

- zračenja kraćih valnih (ne možemo ga vidjeti)
- dijeli se na tri podtipa zračenja
    - A (UVA) sa valnim duljinama od 320 nm do 400 nm,
    - B (UVB) sa valnim duljinama od 290 nm do 320 nm
    - C (UVC) sa valnim duljinama od 10 nm do 290 nm.

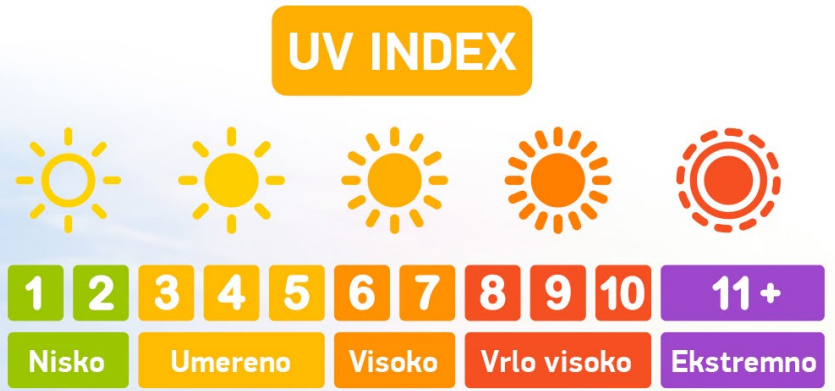
Do nas dolaze samo UVA i UVB zrake oslabljene ozonskim slojem (koji bolje zaustavlja UV zračenja kraćih valnih duljina). UVZ zračenje se emitira kada pobuđeni atomi prelaze iz višeg energetskog stanja u niže, otpuštajući pri tom fotone energija u području UVZ-a.

Izvori ultraljubičastog zračenja kao što su UVZ laseri, sunce i kvarcne lampe imaju vrlo štetan učinak na kožu, potkožno tkivo i općenito na cijeli organizam ovisno o valnoj duljini i količini izloženosti (oštećenje vida, crvenilo, starenje i boranje kože, rak kože).

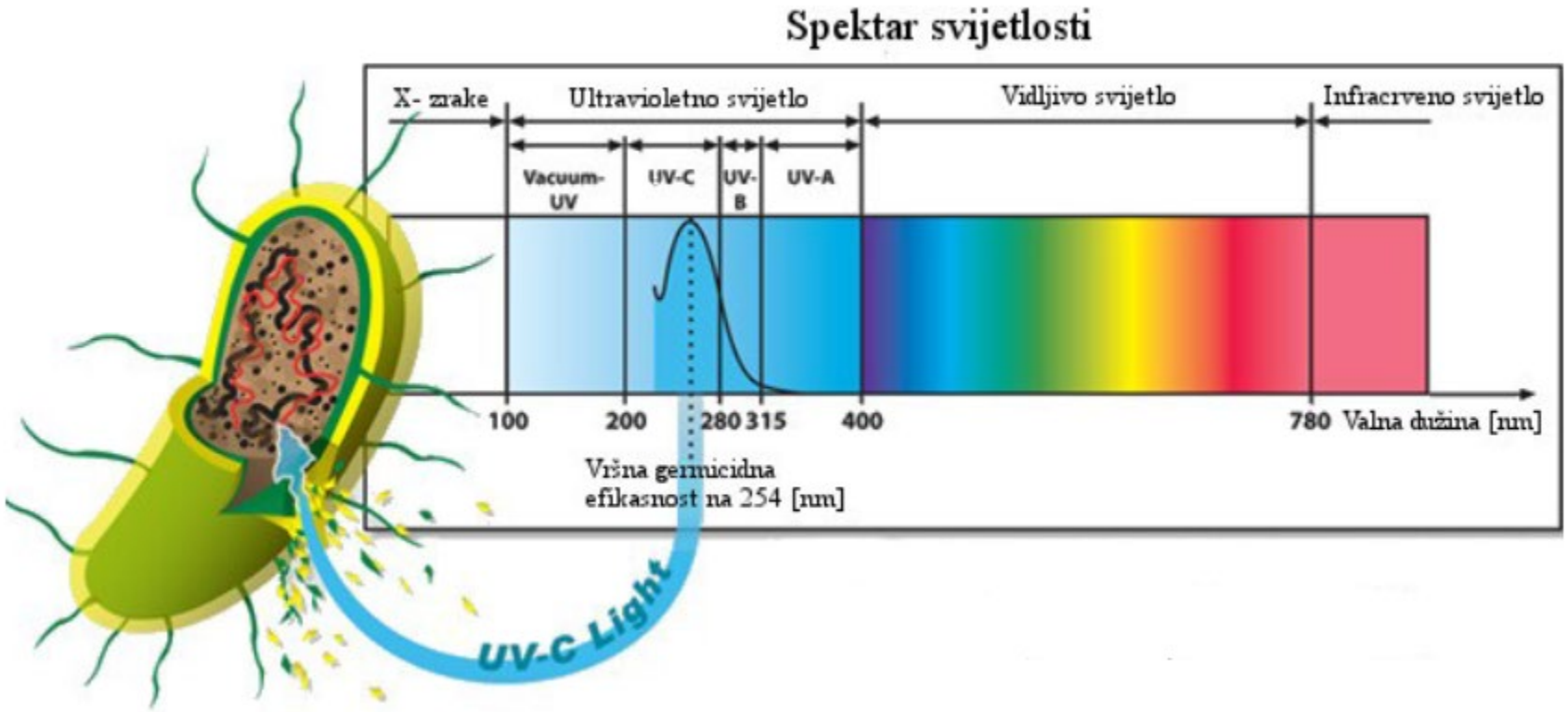




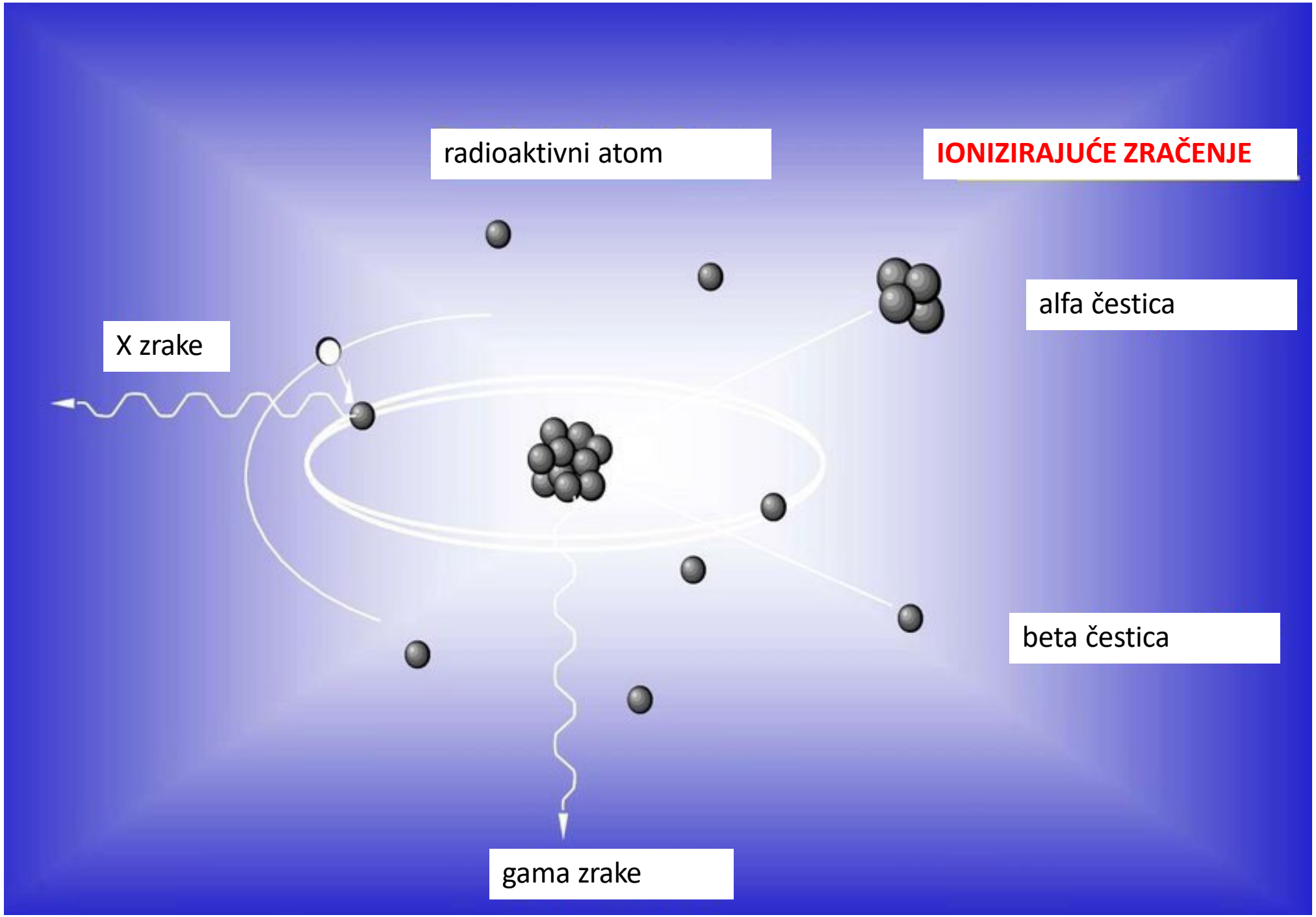




UV sterilizacija

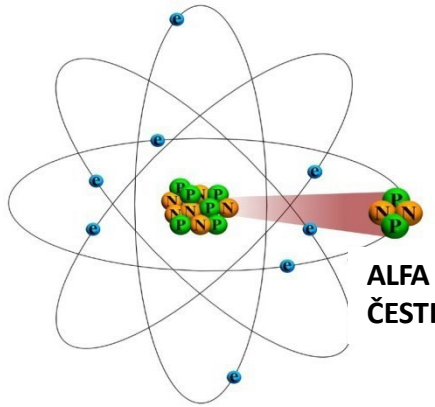


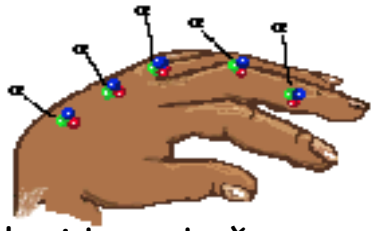
pročišćavanje procesne i tehnološke vode
pročišćavanje vode za piće (npr. vodocrpilišta)
desalinacija
obrada bunarskih voda
zdravstveni sektor (bolnice, laboratoriji…)


radioaktivni atom
IONIZIRAJUĆE ZRAČENJE
alfa čestica
X zrake
beta čestica
gama zrake

Alfa čestice (jezgre helija)

- Nastaju raspadom jezgre teških atoma.
- imaju 2 protona i 2 neutrona, masa im je 4, a naboj im je +2.
- Domet u zraku im je 2-8 cm, a u tkivu ovisno o energiji ionizacijskog zračenja, do nekoliko mikrometara.
- Prodornost alfa zraka je vrlo mala.
- Ionizacijska gustoća alfa zraka je 10^5 iona/cm.

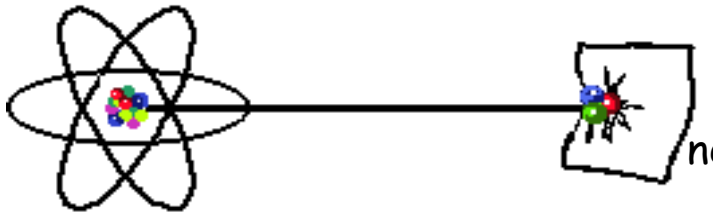




Ne prolazi kroz kožu



unutrašnji rizik



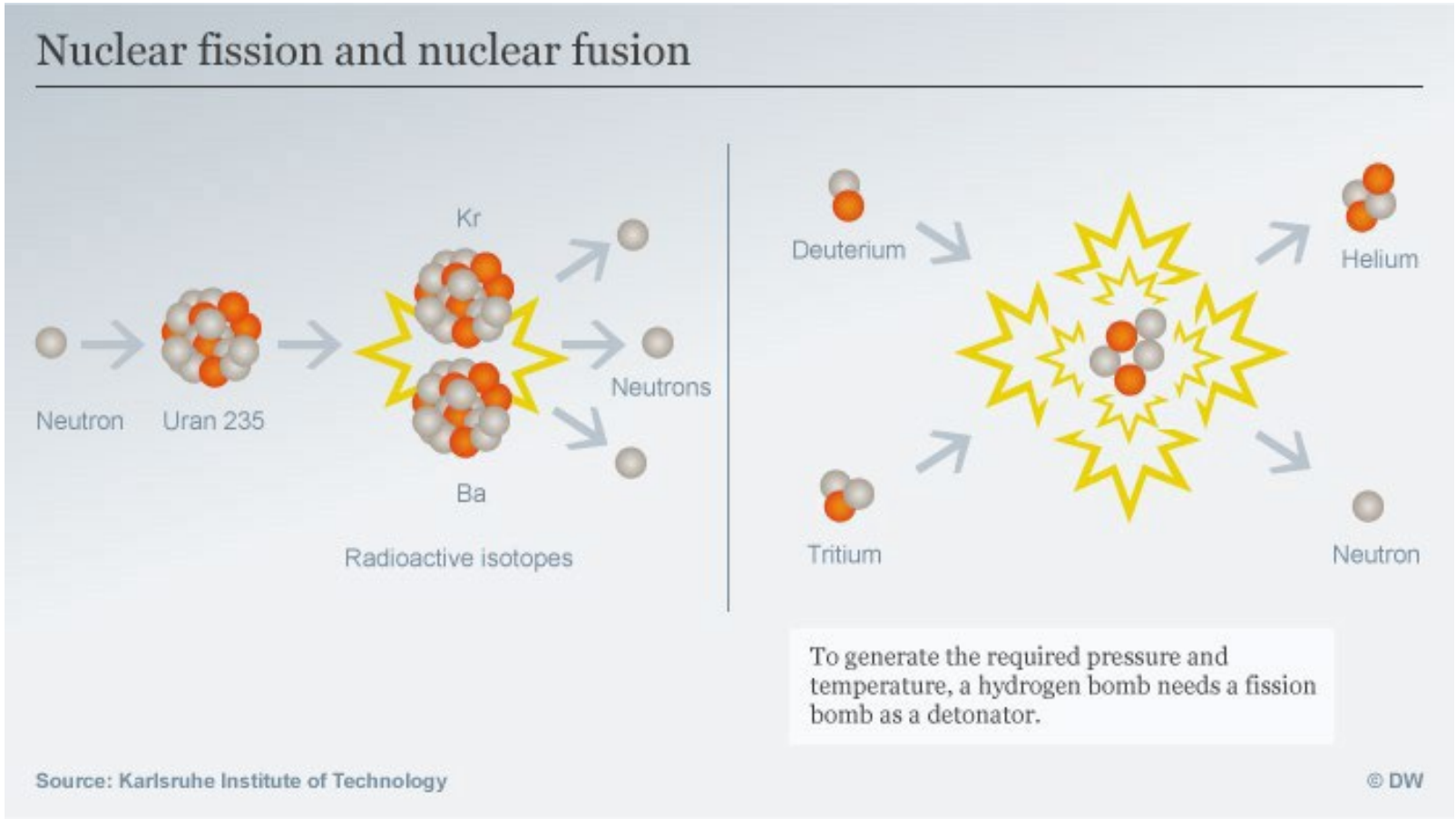
ne prolazi kroz papir

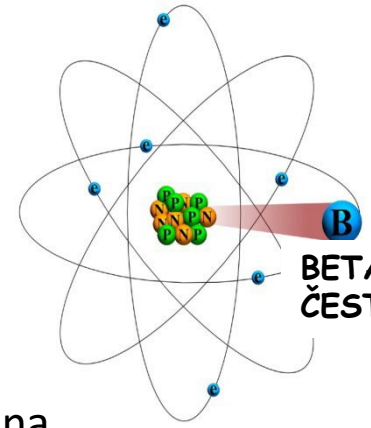


Nalazi se u zemlji,
radon i ostali
radioaktivni materijal

NEUTRONI

- Neutroni čestice su sastavni i gradivni elementi jezgre atoma.
- Masa im je 1, a nemaju naboja.
- oslobađaju se tijekom fisije kada se jezgre teškog metala raspada na 2 čestice, uz oslobađanje energije ili fuzije dva atoma.
- Prodornost neutrona je velika jer nema odbijanja (nemaju naboja), pa lako prodiru (domet im je 2-3 km).



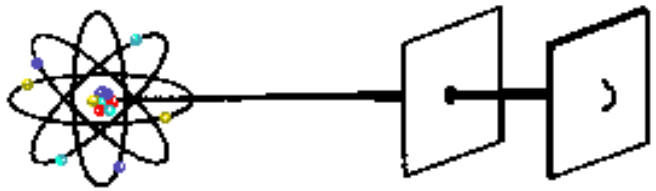


Beta čestice - potječu iz jezgre

- Masa - 1836 puta manja od mase protona.
- Domet ovisi o energiji u zraku, maksimalno je 10 m, u tkivu 0,3-0,7 cm, maksimalno 1 cm.
- Prodornost im je znatno veća od alfa zraka.
- Ionizacijska gustoća (IG) čestica je 100 iona/cm.



koža oči unutarnji rizik



zaustavlja ga plastika

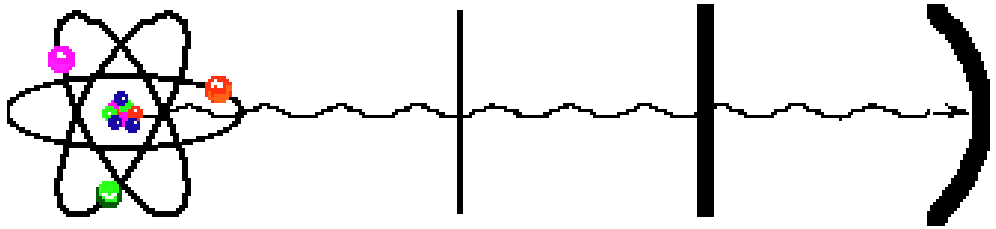




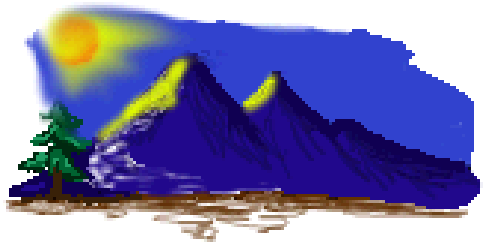
U hrani, vodi i zraku

Gama zrake su elektromagnetski valovi kratke valne duljine, odnosno fotoni.

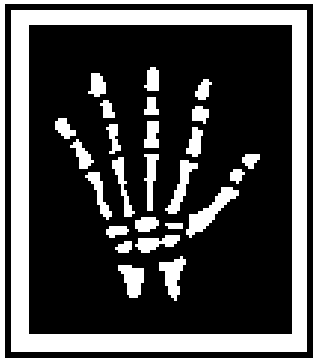
- nemaju masu, a podrijetlom su iz uzbuđene jezgre.
- nemaju naboj.
- domet im je oko 100 m, ali pojedine zrake, koje nastaju kao posljedica fisije koja se zbiva pri eksploziji atomske bombe, mogu imati domet 2-3 km.
- Ionizacijska gustoća (IG) gama zraka je 1 ion/cm (mala), a prodornost je velika.



γ ZRAKE Zaustavljaju se u olovu



prisutno u tlu i kozmičkom zračenju



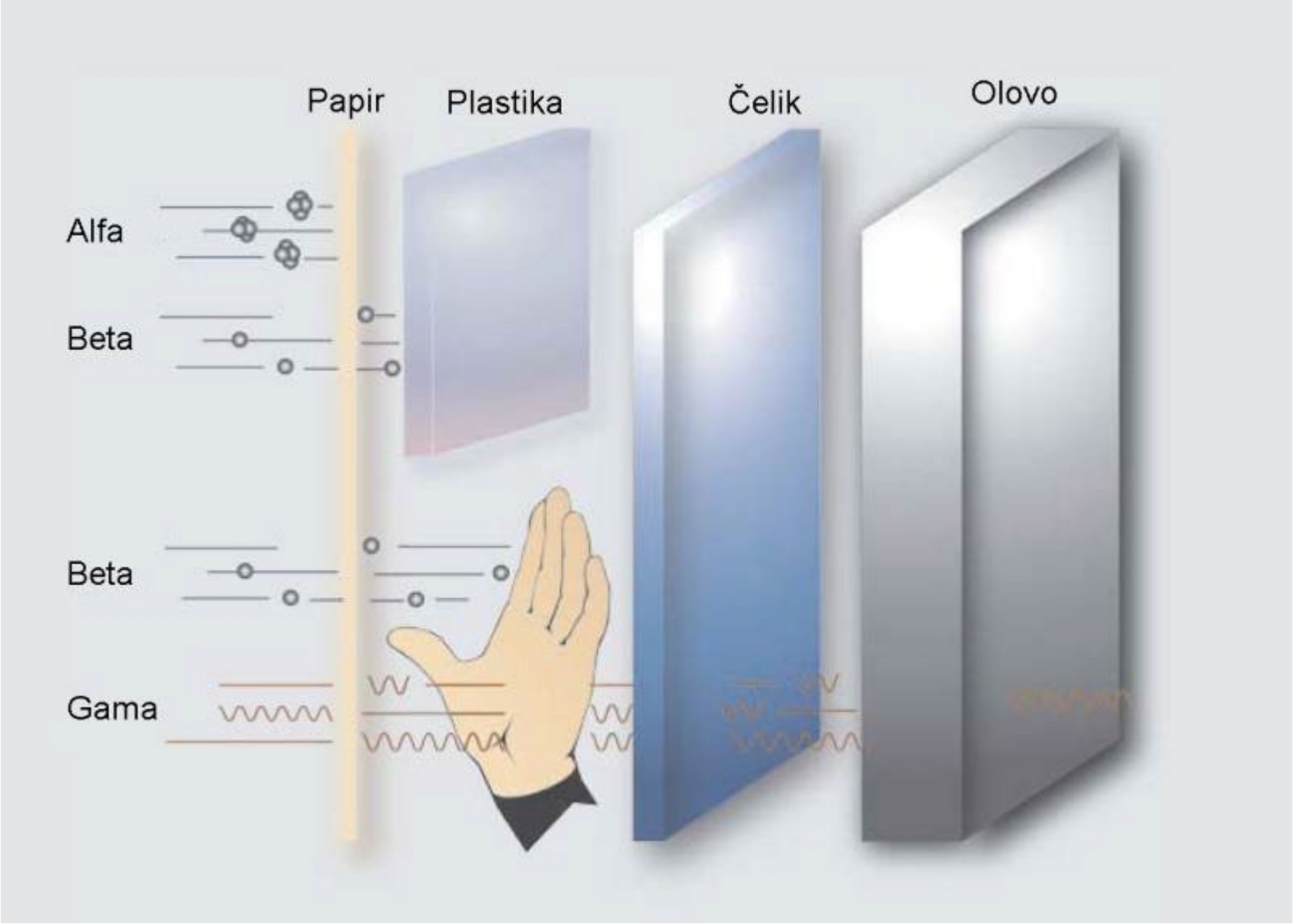
koriste se u medicini

X ZRAKE – rendgenske zrake

- potječu iz orbitala atoma
- Emitira ih elektron kada iz ljuske većeg potencijala prelazi u nižu ljusku manjeg potencijala.
- Domet im ovisi o energiji koju posjeduju. U načelu može biti do 100 m.

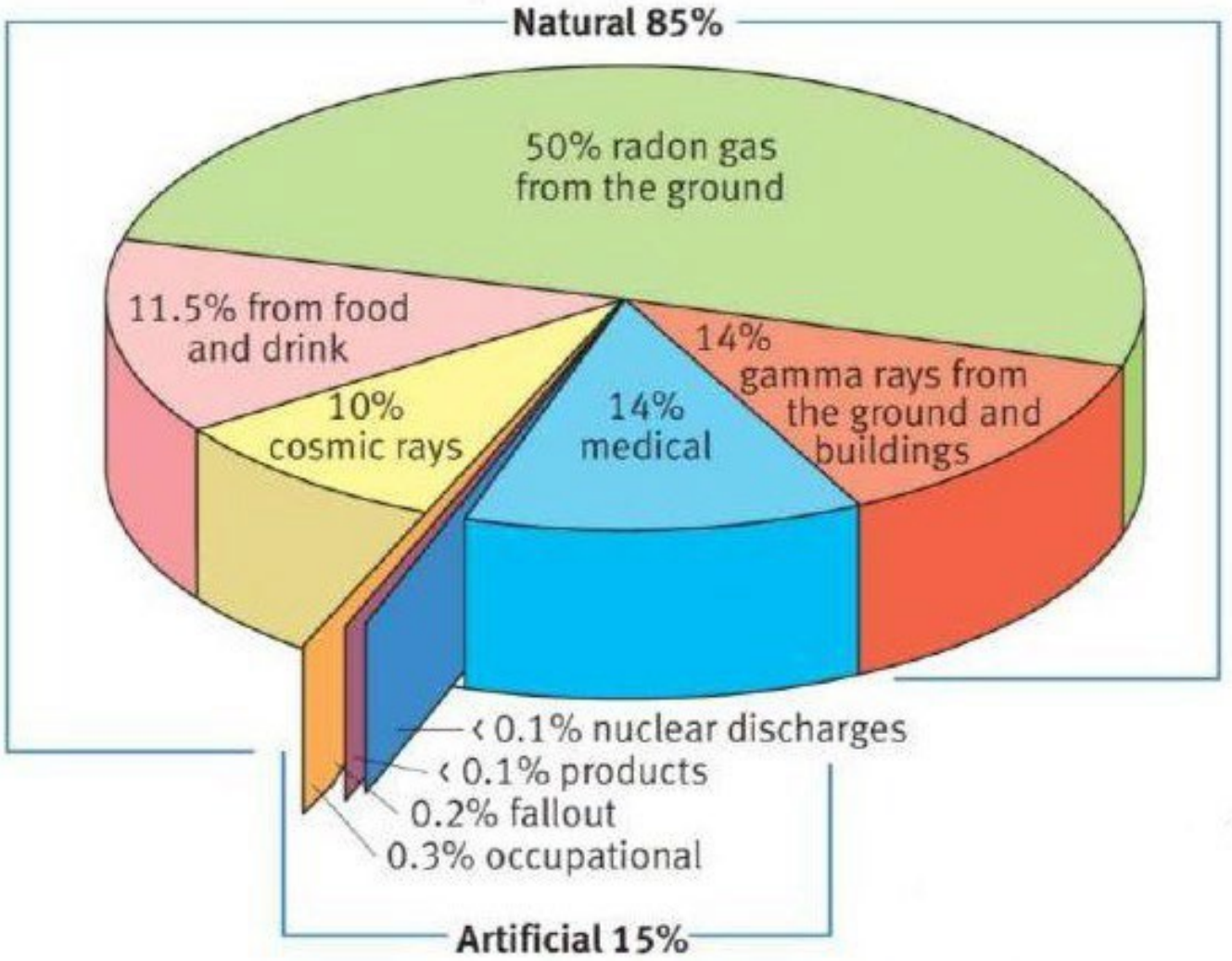
prodornost ionizirajućeg zračenja

Zbog razlike u ionizacijskoj gustoći (IG) ista količina zračenja alfa zraka izazvat će 20 puta teže posljedice od iste količine gama zraka tj. po cm prijeđenog puta stvorit će 10^5 puta više iona, ali i potrošiti 10^5 puta više energije.

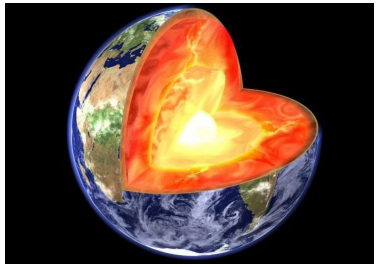


- Prirodni izvori
  - Kozmički
  - Zemaljski
  - Radioaktivni elementi u našem organizmu

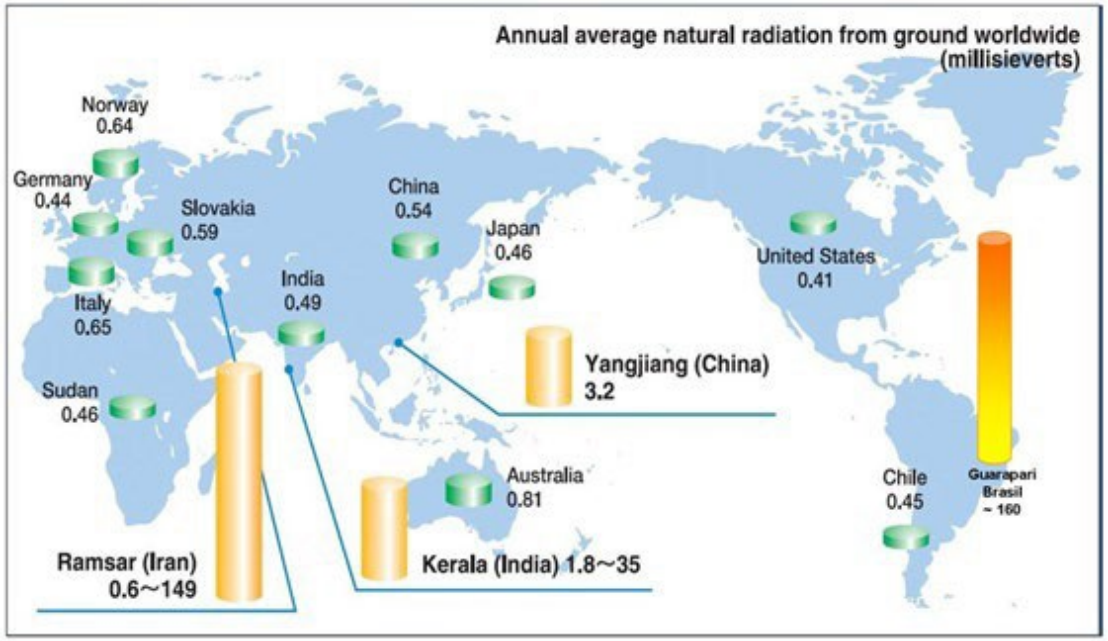
- Umjetni izvori
  - Medicinski
  - Nuklearne probe
  - Nuklearne elektrane
  - Nuklearne katastrofe



Radioaktivni elementi



- Zemljina kora i oceani sadrže radioaktivne elemente.
- Većinom je riječ o kaliju-40, rubidiju-87 te porodicama elemenata koje nastaju raspadom urana-238 i torija-232, dva dugovječna radioaktivna elementa koji su se zadržali na Zemlji od njenog nastanka.
- Razina ovog tipa zračenja nije svugdje jednaka, no u 95% naseljenih područja iznosi između 0,3 mSv do 0,6 mSv na godinu.
- Ostala područja imaju po nekoliko puta veći iznos radijacije, a postoje i rijetki ekstremi gdje je iznos 200 do 800 puta veći od prosjeka. Takva područja su vruće točke pozadinske radijacije. Na nekim mjestima biljke apsorbiraju toliku količinu zračenja da su u stanju same zacrniti fotografsku ploču. Najviše ih ima u Brazilu, Indiji i Iranu.



Toksičnost radioaktivnih nuklida (radioizotopa, radionuklida)

ovisi o:

- vrsti zračenja i njihovoj energiji - što je energija veća linearni prijenos je veći.
- resorpciji ili apsorpciji;

  - iz probavnog sustava, dišnog sustava ili kroz kožu

- raspodjeli u organizmu;

  - nije isto ako se neka količina radionuklida ugradi u neku žlijezdu (npr. štitnjaču) ili se ta količina rasporedi po čitavom organizmu.

- vremenu poluraspada;

  - vrijeme poluraspada joda (I^{131}) - 8 dana (za 8 dana raspasti će se pola jezgara joda, pri svakom raspadu će se emitirati ionizirajuće zračenje). Izotop joda, I^{129} poluraspad 1,72 milijardi godina

- vremenu polueliminacije (poluizlučivanje);

  Neki elementi se vrlo brzo eliminiraju iz organizma, drugi se ugrade kao npr Sr^{90} u kosti i tu ostaju aktivni dugo godina.

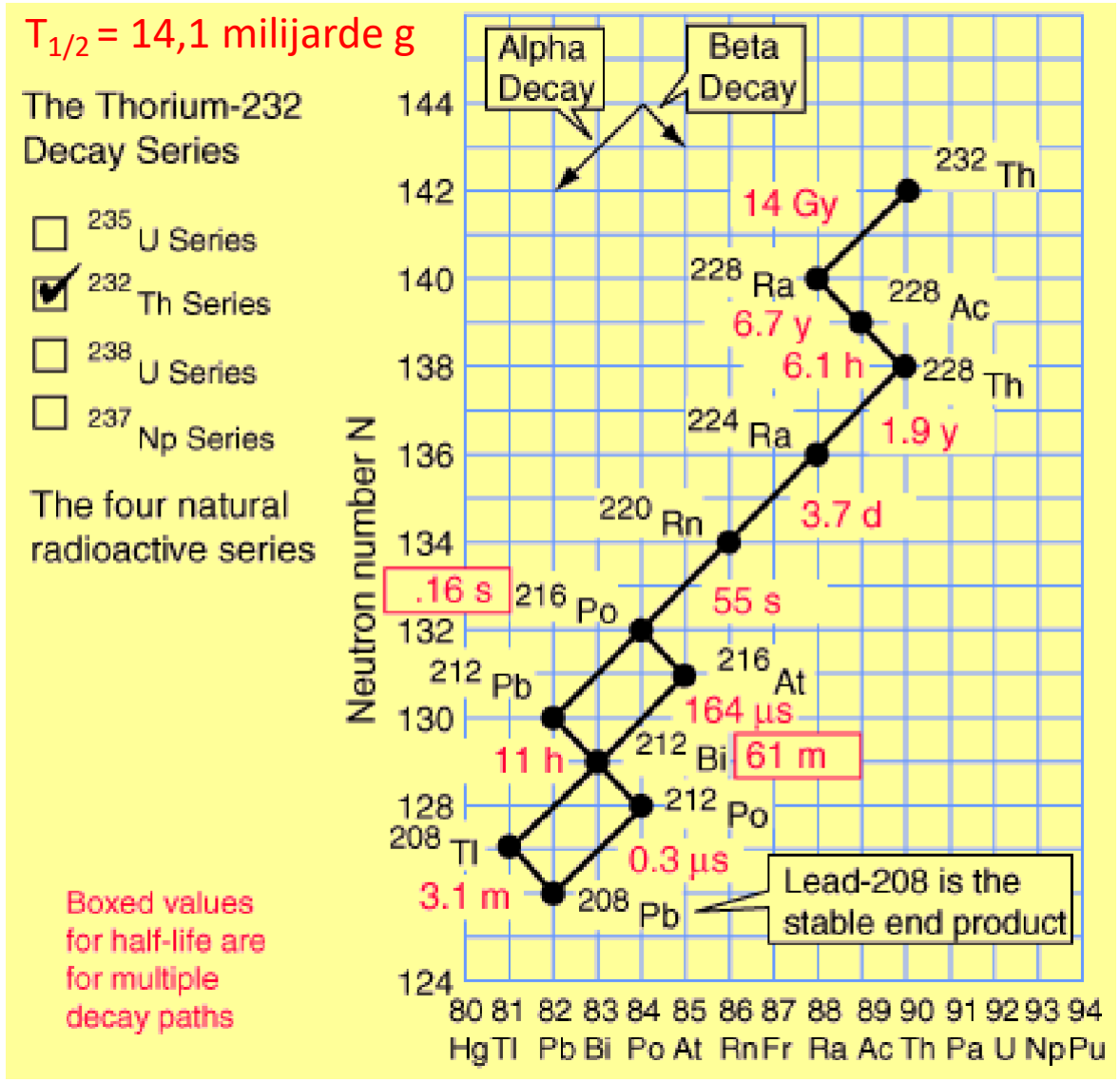
  EFEKTIVNO POLUISČEZAVANJE – je vrijeme potrebno da se polovica radionuklida izgubi iz organizma zbog fizičkog poluraspada i zbog biološkog poluisčezavanja (poluizlučivanja, polueliminacije).

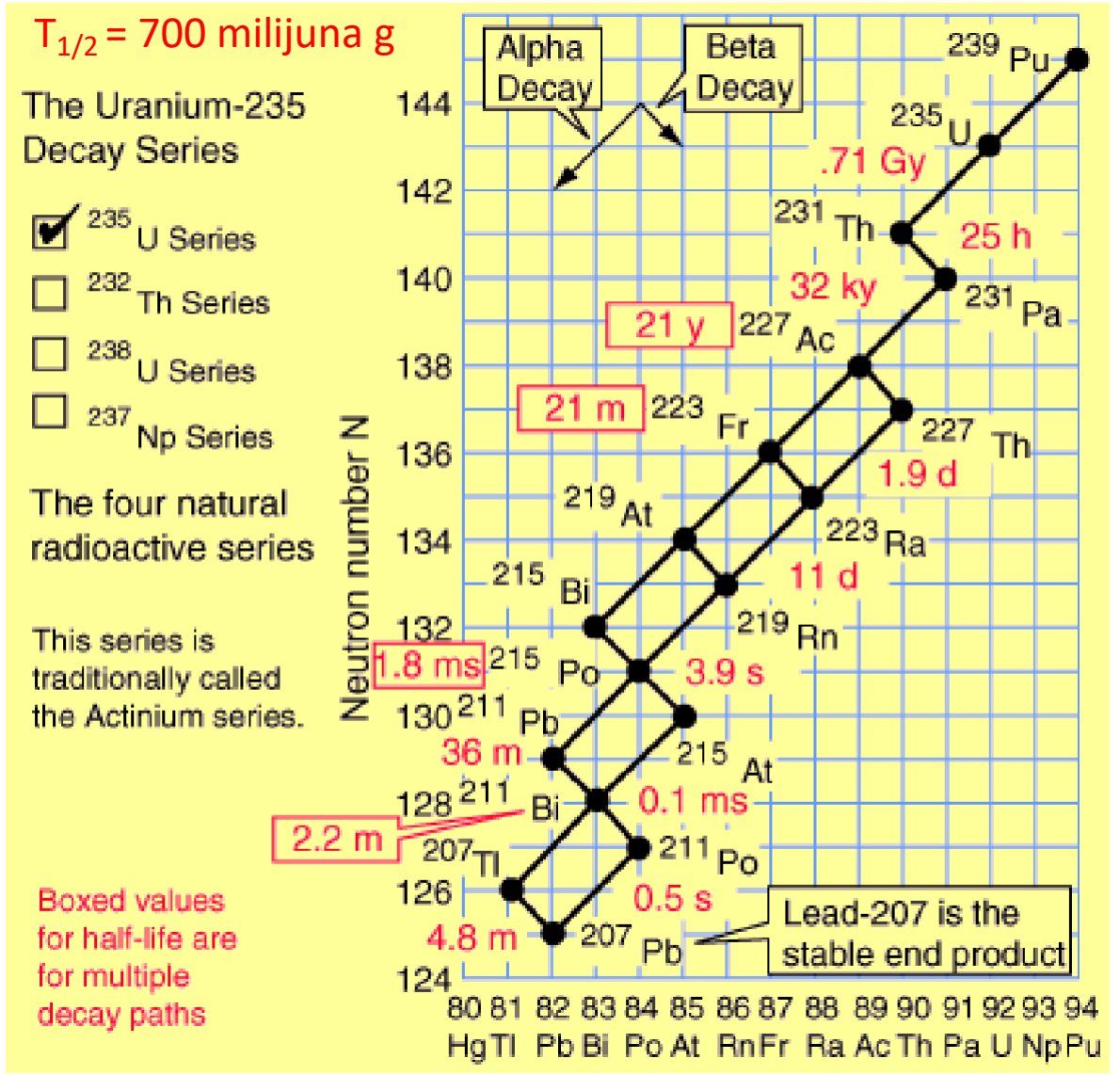
Neki radioaktivni elementi koje nalazimo u prirodi

RADIOAKTIVNI IZOTOPI	TRAJANJE POLURASPADA (u godinama)	VREMENSKA LJESTVICA DATIRANJA (u godinama)	PRIMJERI MINERALA I MATERIJALA KOJIMA SE DATIRA
Rubidij – 87	49 mlrd.	10 mil. – 4,6 mlrd.	muskovit, biotit
Uranij – 238	4,5 mlrd.	10 mil. – 4,6 mlrd.	cirkon, apatit
Kalij – 40	1,3 mlrd.	50 000 – 4,6 mlrd.	muskovit
Uranij – 235	0,7 mlrd.	10 mil. – 4,6 mlrd.	cirkon, apatit
Ugljik – 14	5730	100 – 70 tis.	drvo, kosti, drveni ugljen

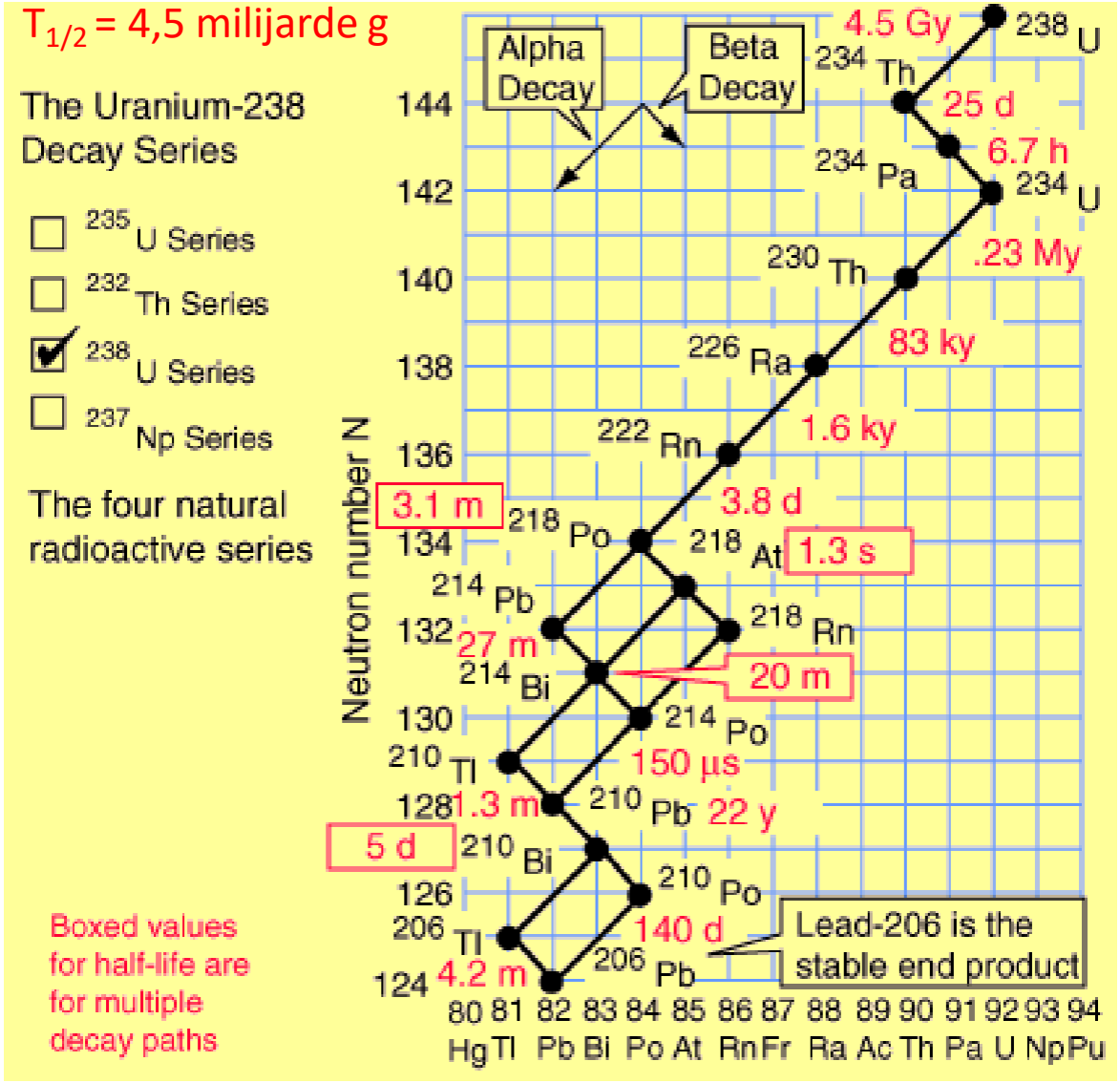
Radioaktivni nizovi

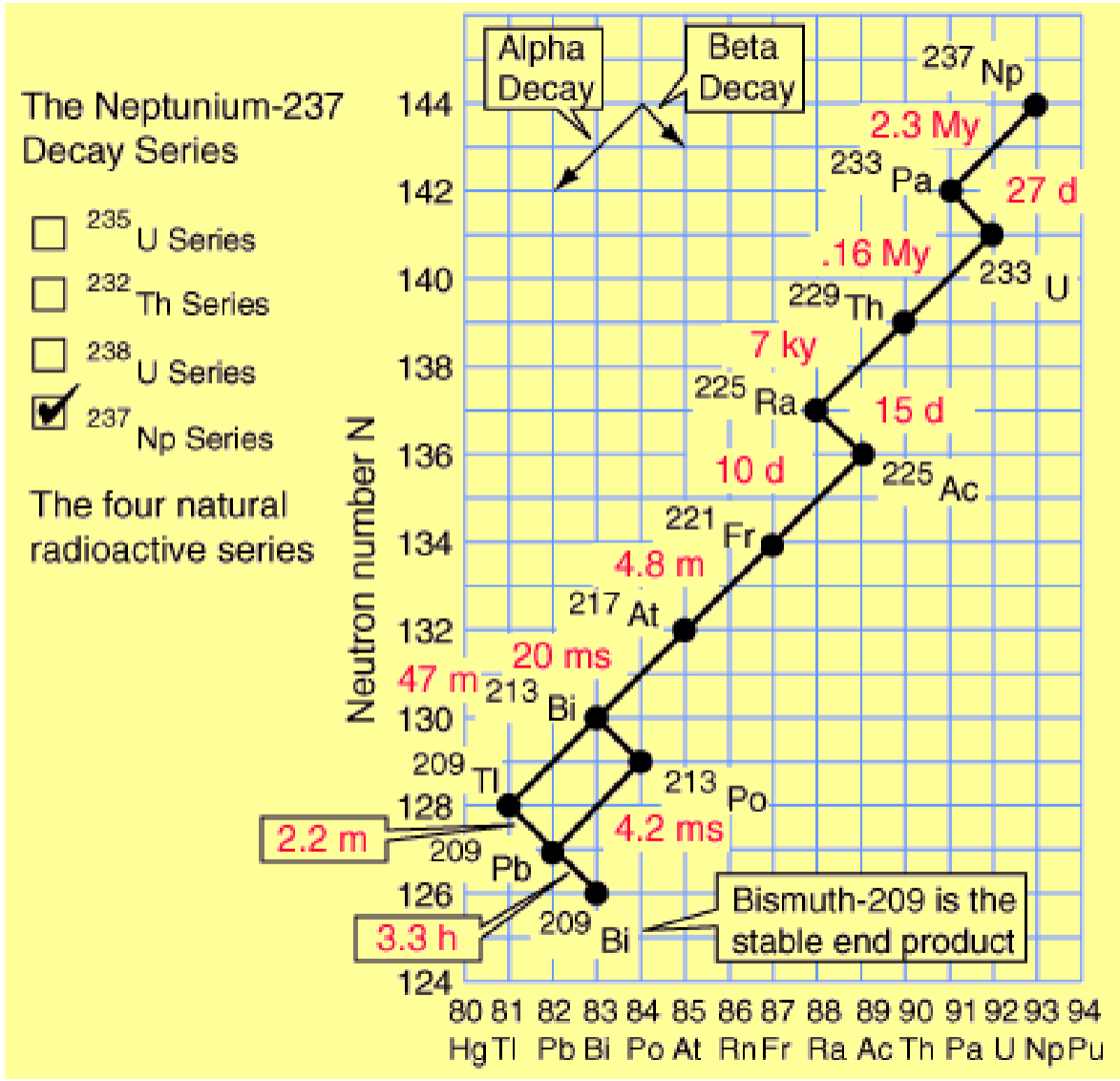
- Većina radionuklida koju nalazimo u prirodi su članovi jednog od 4 radioaktivna niza.





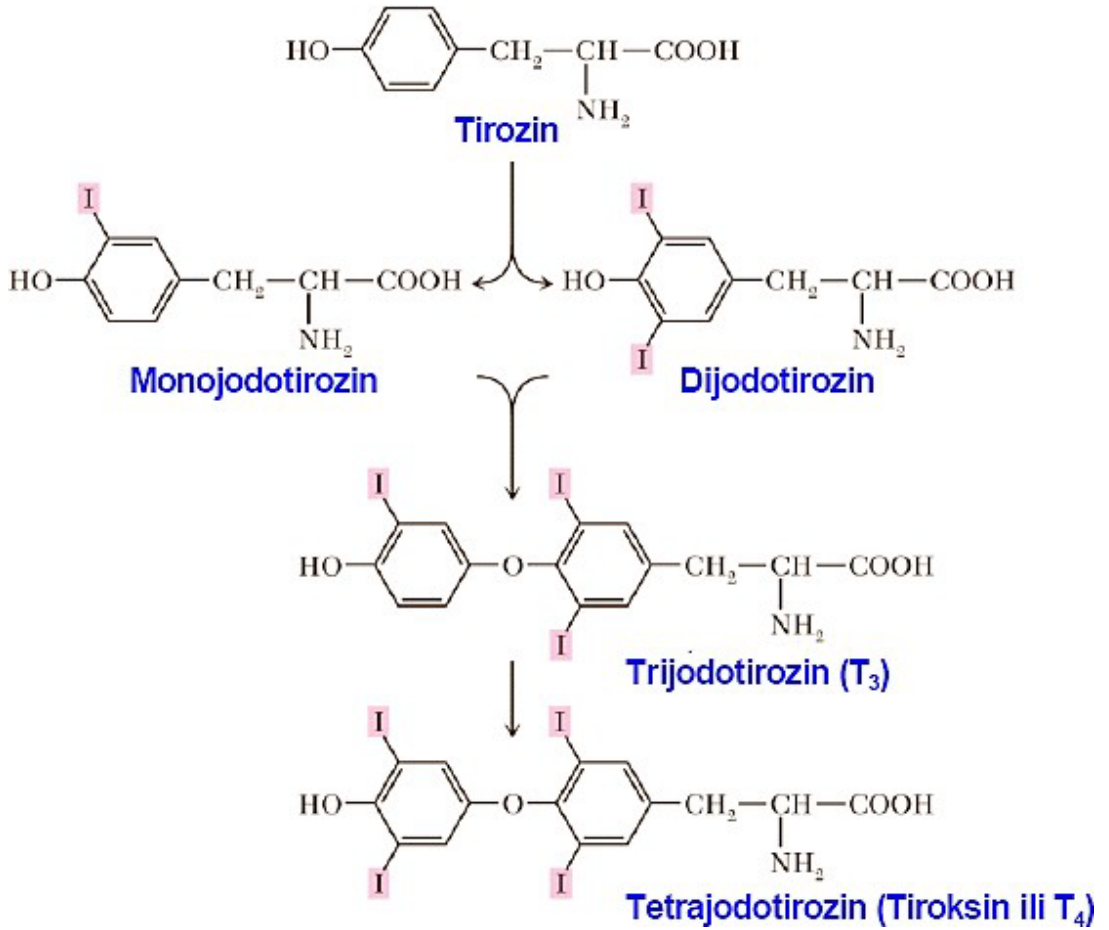
$T_{1/2}$ = 4,5 milijarde g





JOD - najteži kemijski element koji se pojavljuje u biološkim organizmima

- rijedak u Sunčevom sustavu i u Zemljinoj kori, ali su jodne soli često vrlo topive u vodi (u nešto većoj koncentraciji u morskoj vodi, nego u stijenama).



- ciljni organ u tijelu - štitnjača
- u nju se ugrađuje 20-40% unesenog joda

37 izotopa joda, samo **jod-127** je stabilan

jod-129 - najdugotrajniji izotop (vrijeme poluraspada 15,7 milijuna godina), nastaje pod utjecajem kozmičkih zraka i kao ostatak nakon nuklearnih pokusa

jod-125 - dugotrajan izotop (vrijeme poluraspada 59 dana). Koristi se kao uobičajeni stvaralac gama zračenja za biološka ispitivanja bjelančevina i za medicinske svrhe (**brahiterapija -** postavljanje radioaktivnih izvora unutar tijela)

jod-123 (vrijeme poluraspada 13 sati) koristi se u medicinskoj radiologiji (snimanje žlijezde štitnjače)

jod-131 ima vrijeme poluraspada 8 dana i stvara beta-čestice i gama zrake. Nastaje uglavnom kod nuklearne fisije (atomska bomba, nuklearni reaktori).

- koristi se u radioterapiji za liječenje Gravesove (Basedowljeve) bolesti (već 60 godina).

Kalijev jodid (tablete) - smanjenje rizika od raka štitnjače kod izloženosti radioaktivnom jodu-131.

- radioaktivne padaline - kontaminacija voća i povrća,
- životinja i ljudi (perkutano ili inhalacijom)
- najveća mogućnost kontaminacije mlijekom

CEZIJ

- beta i gama emiter
- metabolički se ponaša kao kalij
- u biljke ulazi prvenstveno putem lista
- ribe jako dobro koncentriraju **Cs^{137}** iz vode (konzumacija riba??)
- kontaminacija izravno konzumiranjem voća i povrća, ili mesa životinja koje su jele kontaminiranu hranu.
    - lz organizma se izlučuje fecesom i urinom
    - biološka polueliminacija - 70 dana

obrnuto proporcionalna težini organizma - što je organizam teži, to je promet tvari i energije (intenzitet metabolizma) po jedinici mase organizma manji to je izlučivanje tvari iz organizma sporije

(bazalni metabotizam po jedinici mase brži kod žena nego kod muškaraca, brži kod djece nego kod odraslih)

Ublažavanje štetnih učinaka radioaktivnog cezija: ispiranje želuca sondom pomoću fiziološke otopine i vode, primjena emetika, aplikacija laksativa i purgativa, uzimanje kalij-feri-fero-cijanida (berlinskog modrila).

39 izotopa (atomska masa se od 112 do 151)

jedini stabilan izotop je **cezij-133**, koji ima 78 neutrona i 55 protona.

vrijeme poluraspada: **cezij-135** - 2,3 milijuna godina

cezij-137 - 30 godina

Cezij-134 - dvije godine.

Gotovo sav cezij dobiven iz nuklearne fisije, koji stvara i beta-čestice, nastaje od prethodnika bogatih neutronima, posebno joda i ksenona (hlapljivi i mogu izaći iz nuklearnog goriva, pa se radioaktivni cezij može naći i dosta daleko od nuklearnog reaktora).

cezij-137 raspada se u barij-137 i oslobađa beta-čestice, on isto snažno emitira gama-čestice. Zajedno sa stroncijem-90, čini osnovni izvor dugotrajnog radioaktivnog zračenja u potrošenom nuklearnom gorivu, koji nakon nekoliko godina hlađenja emitira još nekoliko stotina godina (radioaktivnost nakon Černobilske nesreće).

Koristio se u liječenju raka i u sterilizaciji hrane, medicinske opreme i kanalizacije.

- Koristi se za razne mjerne uređaje u industriji, kao za mjerenje vlage, gustoće ili debljine nekog materijala.

- Nuklearni pokusi od 1945. do 1980. su oslobodili cezij-137 u atmosferu, koji je na kraju završio u prašini i sedimentima.

-Cezij-137 se ne nakuplja u tijelu tako jako kao radioaktivni jod ili stroncij. Obično se cezij-137 ispire s kože vrlo brzo, ili oslobađa iz tijela kroz znoj i urin. Ali zato se znatno nakuplja u tkivima biljaka, naročito u voću i povrću. Zabilježeno je da su gljive nakupile znatnu količinu cezija-137 u blizini Černobila.

STRONCIJ

- atomski broj 38, a atomska masa 87,62
- naziv prema selu Strontian u Škotskoj, gdje je njegov mineral otkriven.

Stroncij ima četiri stabilna izotopa koja se prirodno pojavljuju: stroncij-84 (0,56%), stroncij-86 (9,86%), stroncij-87 (7,0%) i stroncij-88 (82,58%).
Jedino se stroncij-87 dobiva radioaktivnim raspadom i to iz rubidija-87, koji ima vrijeme poluraspada $4{,}88 \times 10^{10}$ godina. Ostali stabilni izotopi nastaju u jezgrama zvijezda.

Poznato je 16 nestabilnih izotopa

stroncij-89 je umjetni radioaktivni izotop s vremenom poluraspada 50,5 dana. Koristi se u liječenju raka kostiju (u obliku kloridne soli, kroz vene). Urin bolesnika postaje radioaktivan. Beta-čestice putuju oko 3,5 mm u kost (energija 0,583 MeV) ili 6,5 mm u tkivo.

stroncij-90, vrijeme poluraspada 28,78 godina
- nastaje u nuklearnoj fisiji, može se naći u radioaktivnom oblaku nakon nuklearnih testiranja ili nesreća u nuklearnim elektranama. (Černobilska nesreća ogromno područje je bilo zagađeno)
- ostaje u tijelu i nemoguće ga je ukloniti jer zamjenjuje kalcij u kostima.
- Osim toga, jedan je od najznačajnijih elemenata koji emitiraju beta-čestice.
- Najopasniji sastojak radioaktivnih oborina - preko mlijeka i mliječnih proizvoda dospijeva u organizam čovjeka - zbog sličnosti s kalcijem ugrađuje se u kosti - izaziva rak kostiju i leukemiju.

- fizički, kemijski i metabolički ponaša se kao i kalcij.
- u organizmu se jako dugo zadržava (vrijeme biološke polueliminacije 50 godina)

- 25% od stroncija smještenog u zemlji dospije u travu koju životinje pasu.

Stroncij ulazi u biljku većinom kroz korijen. Za razliku od cezija koji se temeljito raspodjeti po biljci, stroncij ostaje u biljci na mjestu na kojem je resorbiran.

Stabilni stroncij ne štetiti zdravlju.

Stroncijev ranelat se koristi za liječenje osteoporoze (za prevenciju prijeloma). Povećava mineralnu gustoću kosti i smanjuje rizik za prijelome kralješnice za 41%, a smanjuje rizik nevertebralnih prijeloma za 19% tijekom 3 godine liječenja.

Nedostatak je što stvara nus pojave (mučnina, dijareja)

Ugljik-14 je radioaktivni izotop ugljika, s jezgrom koja sadrži 6 protona i 8 neutrona.

Prisutan je u organskim materijalima - osnova je za metodu određivanja starosti ugljikom-14 u arheologiji i geologiji, u organskim uzorcima.

Ugljik-14 je otkrili 1940. godine Martin Kamen i Sam Ruben u Barkeleyu, Kalifornija.

3 prirodna izotopa na Zemlji:

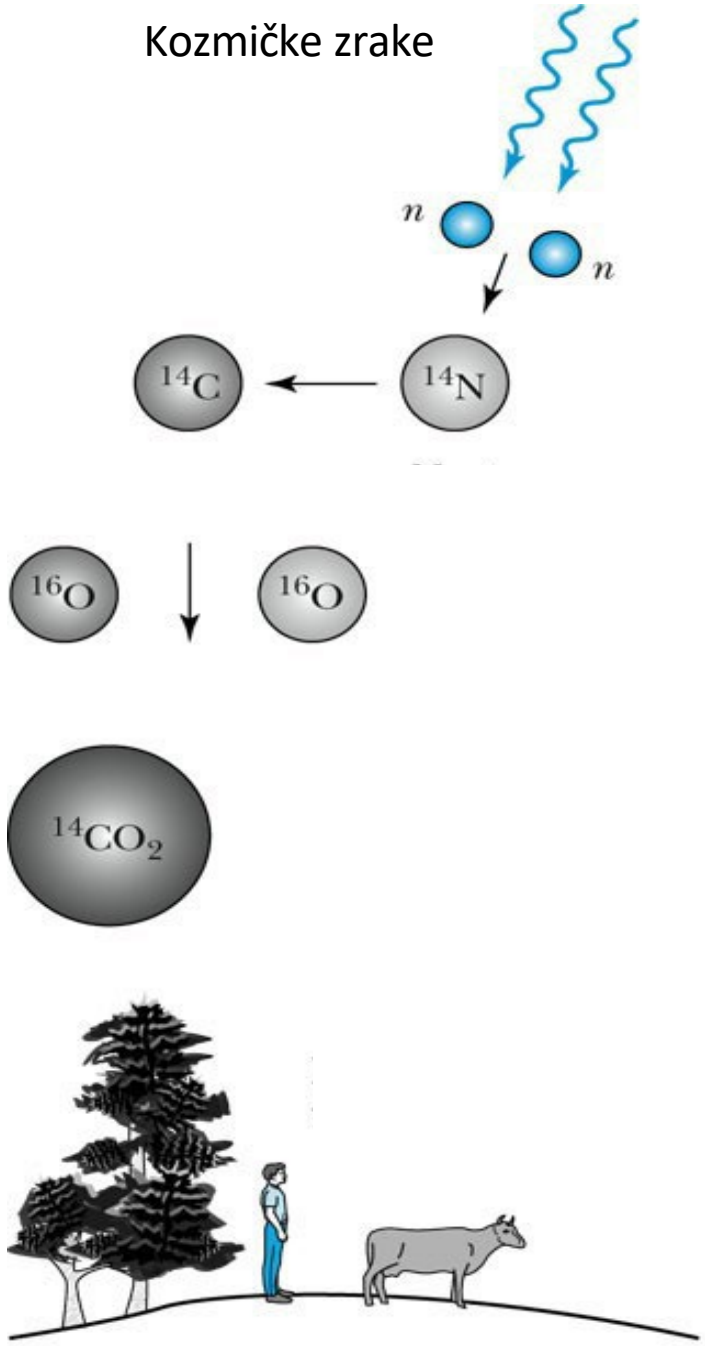
ugljik-12 je prisutan 99 %,

ugljik-13 je prisutan 1 %

ugljik-14 je prisutan samo u tragovima (1 dio na $1x10^{12}$ dijelova ili 0.0000000001 %).

Vrijeme poluraspada ugljika-14 je 5730±40 godina. Raspada se u dušik-14 preko beta raspada.

Različiti izotopi ugljika se ne razlikuju bitno po svojim kemijskim svojstvima.



Kada organizam umre omjer $^{14}C/^{12}C$ se smanjuje

Ugljik-14 se stvara u gornjim slojevima troposfere i u stratosferi, na visinama 9 do 15 km iznad površine Zemlje.

Kada kozmičke zrake uđu u atmosferu, one uz ostalo stvaraju i neutrone, koji reagiraju s dušikom:

$$^{1}n + {}^{14}N \rightarrow {}^{14}C + {}^{1}p$$

Budući da je više kozmičkih zraka bliže magnetnim polovima Zemlje, tako se i više ugljika-14 stvara bliže polovima.

Ugljik-14 brzo reagira s kisikom iz zraka i stvara **ugljični dioksid**, koji se miješa u atmosferi, a jedan dio se topi u vodi i završava u oceanima.

Kod ugljika-14 se zatim dešava beta raspad:

$$^{14}C \rightarrow {}^{14}N + e^{-} + \nu$$

Stvara se stabilni atom dušika-14, elektron i antineutrino.

Određivanje starosti - datiranje ugljikom-14 je metoda koja koristi prirodni izotop ugljika-14 za otkrivanje starosti materijala koji sadrži ugljikove spojeve (do 60 000 godina).

Tu metodu je razvio Willard Libby 1949. godine kao profesor na Sveučilištu u Chicagu (Nobelova nagradua za kemiju 1960 godine)

Biljke asimiliraju C-14 putem fotosinteze, a životinje se hrane biljkama ($^{14}CO_2$ se otapa u oceanima, nalazi se u planktonu, koraljima i školjkama).

Sva živa bića zadržavaju konstantnu koncentraciju C-14 tijekom cijelog života. Nakon smrti organizma prestaje nadoknađivanje C-14 i njegova se koncentracija počinje smanjivati.

Mjerenje aktivnosti C-14 zahtijeva vrlo osjetljive tehnike: koriste se **plinski proporcionalni brojači** (starost do 40 000 godina), **tekućinski scintilacijski brojači** (starost do 50 000 godina) ili **akceleratorska masena spektroskopija** (nešto više od 60 000 godina). Najmanja količina uzorka potrebna za prve dvije metode je nekoliko grama, dok za mjerenje s akceleratorskom masenom spektroskopijom dovoljno je samo nekoliko miligrama.

Stvaranje ugljika-14 za vrijeme nuklearnih pokusa

Nadzemni nuklearni pokusi, koji su izvođeni u nekoliko država između 1955. i 1980. godine su znatno povećali količinu ugljika-14 u atmosferi i zatim u cijeloj biosferi. Nakon toga se količina ugljika-14 počela smanjivati.

RADON

- plin bez boje, mirisa i okusa, sedam i pol puta teži od zraka
- radon i produkti nastali njegovim raspadom odgovorni za čak polovinu zračenja koje čovjek prima iz prirodnih izvora - većina te doze prima se udisanjem radionuklida, pogotovo u zatvorenom prostoru.

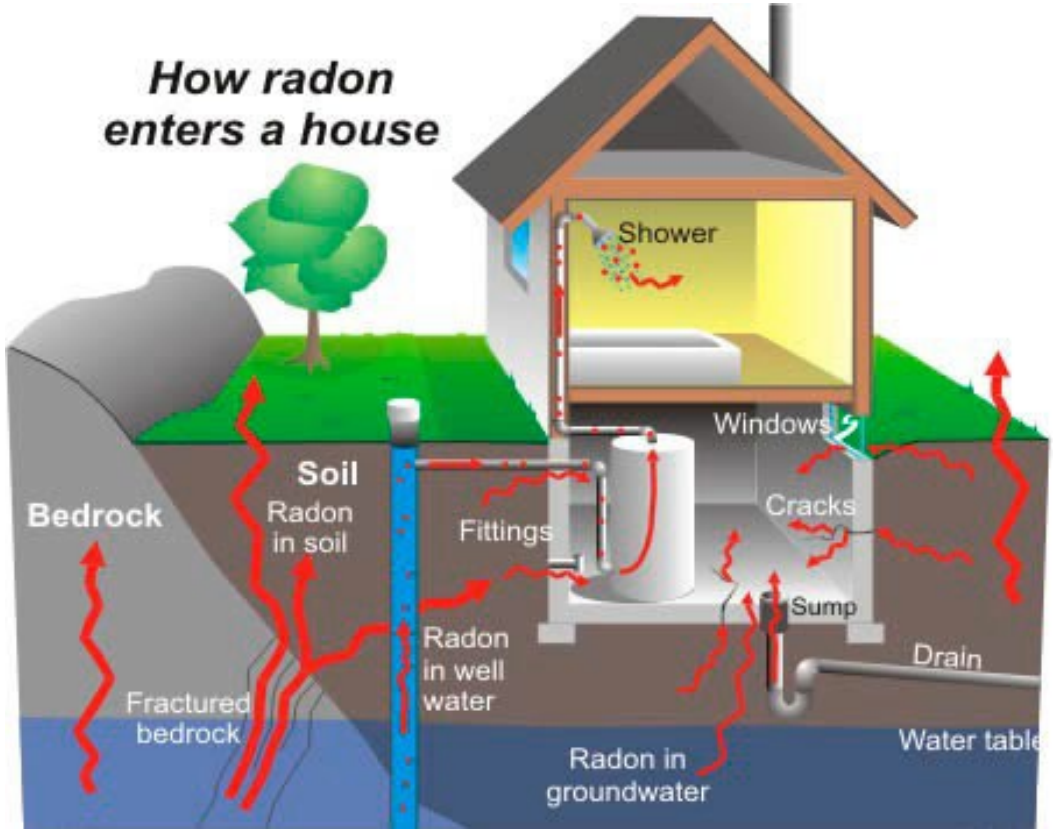
- izbija iz zemlje širom svijeta, ali nivo zračenja značajno varira od mjesta do mjesta. U dijelovima svijeta sa umjerenom klimom koncentracije radona u zatvorenom prostoru osam puta su veće nego na otvorenom prostoru. Kada radon jednom uđe u zatvorenu prostoriju, probijajući se kroz drvene podove iz tla, ili (u manjoj mjeri) iz samog građevinskog materijala, vrlo teško će izaći.

Obična voda ne sadrži veliku količinu radona, ukoliko ju kuhamo ta količina će se još više smanjiti, a ako ju popijemo hladnu radon se svejedno neće dugo sadržati u tijelu.

Radon i njegovi kratkoživući potomci (radioaktivni elementi nastali raspadom radona) disanjem se unose u respiratorni sustav. U plućima, ti se elementi radioaktivno raspadaju i emitiraju zračenje (ponajviše u obliku alfa čestica). Alfa čestice ioniziraju plućno tkivo, pri čemu se ono lokalno oštećuje (sve do razine DNA). Ta oštećenja mogu uzrokovati nastanak raka pluća.

Radon je, poslije pušenja, najvažniji uzročnik karcinoma pluća. Procjenjuje se da je između 3% i 14% svih karcinoma pluća uzrokovano radonom

- Glavni izvori radona u kućama su: tlo neposredno ispod kuće (85 – 90%), građevinski materijal (5 – 10%), podzemne vode (oko 5%) i zemni plin (manje od 1 %). Pritom se parametri koji utječu na koncentraciju radona u kućama mogu podijeliti na prirodne (geološki sastav i struktura tla, klimatski i meteorološki parametri) i tehničke odnosno tehnološke (način gradnje objekata za stanovanje (broj i veličina mikropukotina u kući koje su u neposrednom kontaktu s tlom) te životne navike ljudi (provjetravanje prostorija, način zagrijavanja i sl.)

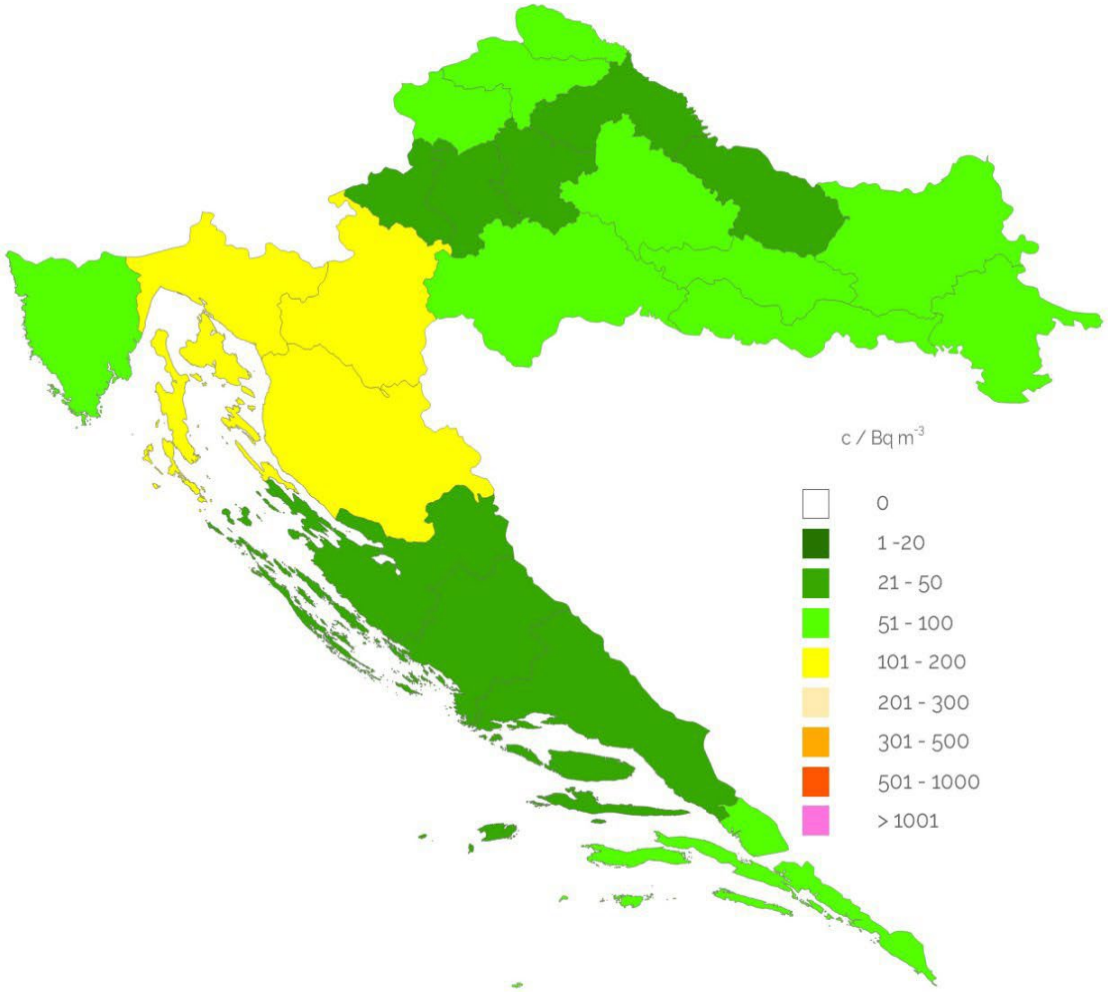


-„štedne kuće"- dobro izolirane - onemogućen izlazak radona iz prostorija.

-Količina radona u kućama može se smanjiti prekrivanjem podova i zidova nepropusnim materijalima, i poboljšanjem ventilacije u podrumu.

Prosječna vrijednost koncentracije radona u kućama u Republici Hrvatskoj iznosi oko 70 Bqm^{-3}.
EU COUNCIL DIRECTIVE 2013/59/EUROATOM) - vrijednosti koncentracije radona u kućama **manje od 300 Bqm^{-3}** prihvatljive (toliko maksimalno može iznositi referentna vrijednost u zemljama EU) - individualni rizik od incidencije karcinoma zanemariv.
Rizik raste s porastom radonske koncentracije i vremenom ozračenja.

Slučajnim izborom lokacija distribuirano je 1000 detektora u kućama. Nakon jednogodišnjeg izlaganja, 790 detektora je vraćeno na obradu i analizu. Prosječne vrijednosti radona u kućama su iznosile **68±85 Bqm^{-3}** (aritmetička sredina s pripadajućom standardnom devijacijom) odnosno **50,0 ± 2,3 Bqm^{-3}**, (geometrijska sredina s pripadajućom geometrijskom standardnom devijacijom). U oko **3% kuća** u RH se može očekivati vrijednost koncentracije radona **veća od 300 Bqm^{-3}**. Prosječne vrijednosti koncentracije radona po županijama su bile od **33-198 Bqm^{-3}** (najviša u Ličko-senjskoj županiji).



KOZMIČKO ZRAČENJE

- zračenje visoke energije (izvanredno prodorno) - dopire iz svemira

Početkom 20. st. opaženo je da se elektroskopi izbijaju sami od sebe čak i kada su zatvoreni u hermetičke posude.

- ionizacije zraka potječe od zračenja radioaktivnih tvari u Zemlji!?
- američki fizičar Victor Hess - ionizacijske komore su balonima bile podizane u vis, postavljena je teorija da zračenje koje uzrokuje ionizaciju potječe iz svemira (ionizacija se nije promijenila za vrijeme potpune Sunčeve pomrčine 1912).

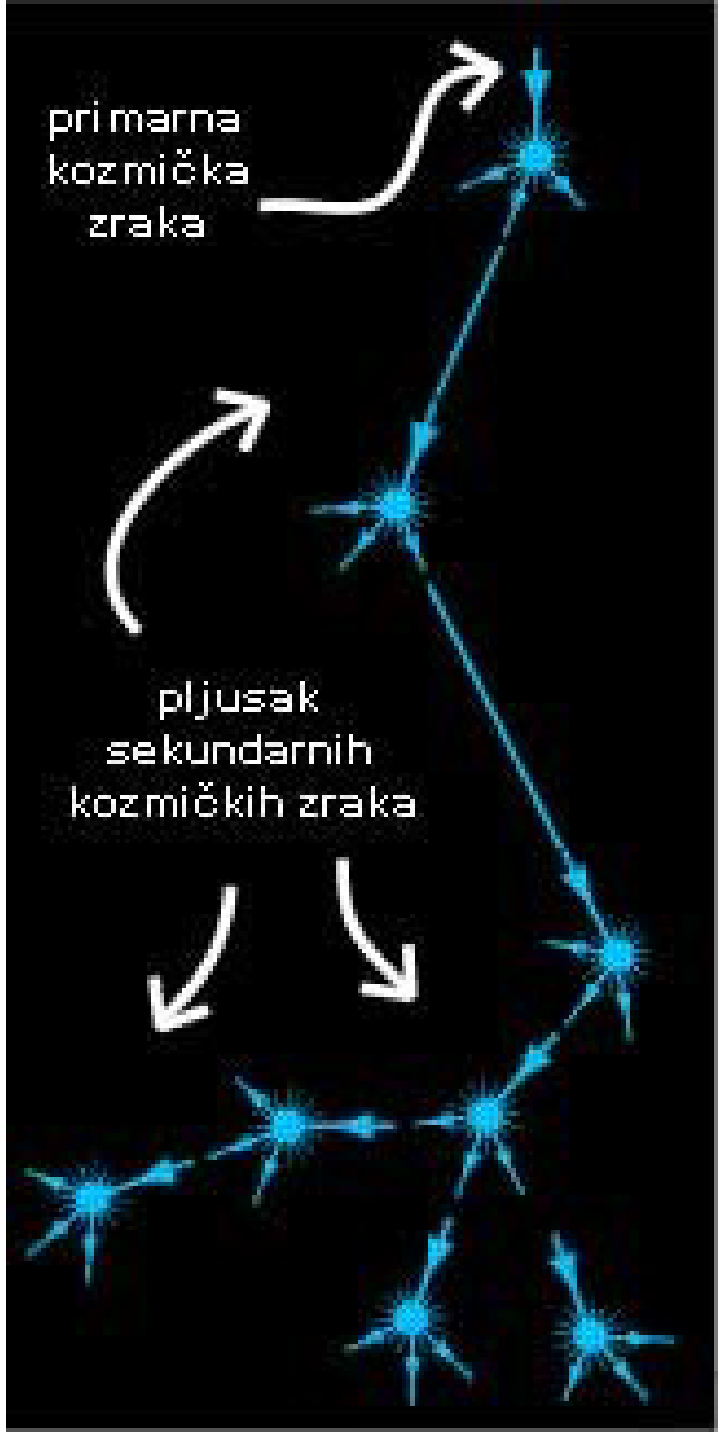
- istraživanja idućih godina pokazala su da je kozmičko zračenje izvanredno prodorno i da se djelomično sastoji od električki nabijenih čestica.

- podrijetlo kozmičkoga zračenja nije do danas potpuno razjašnjeno.

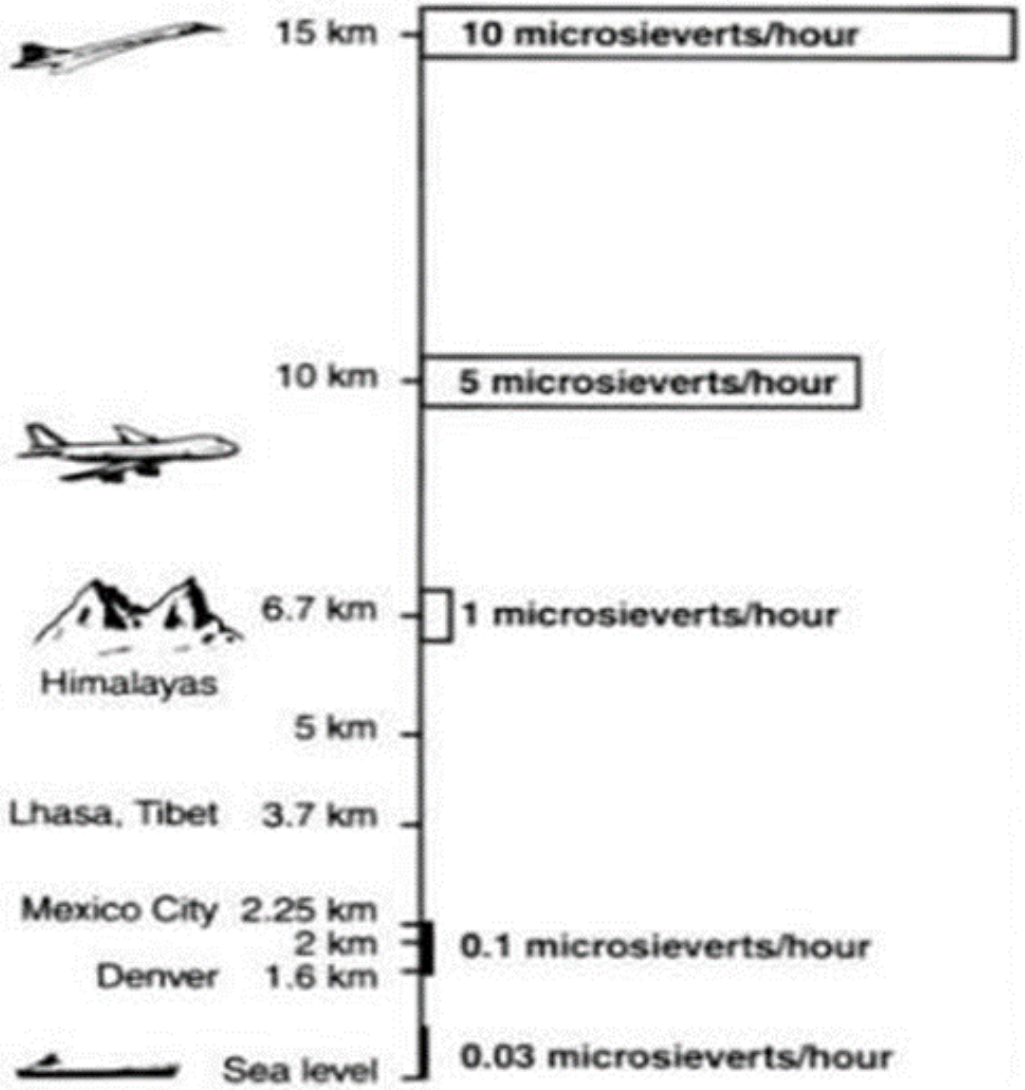


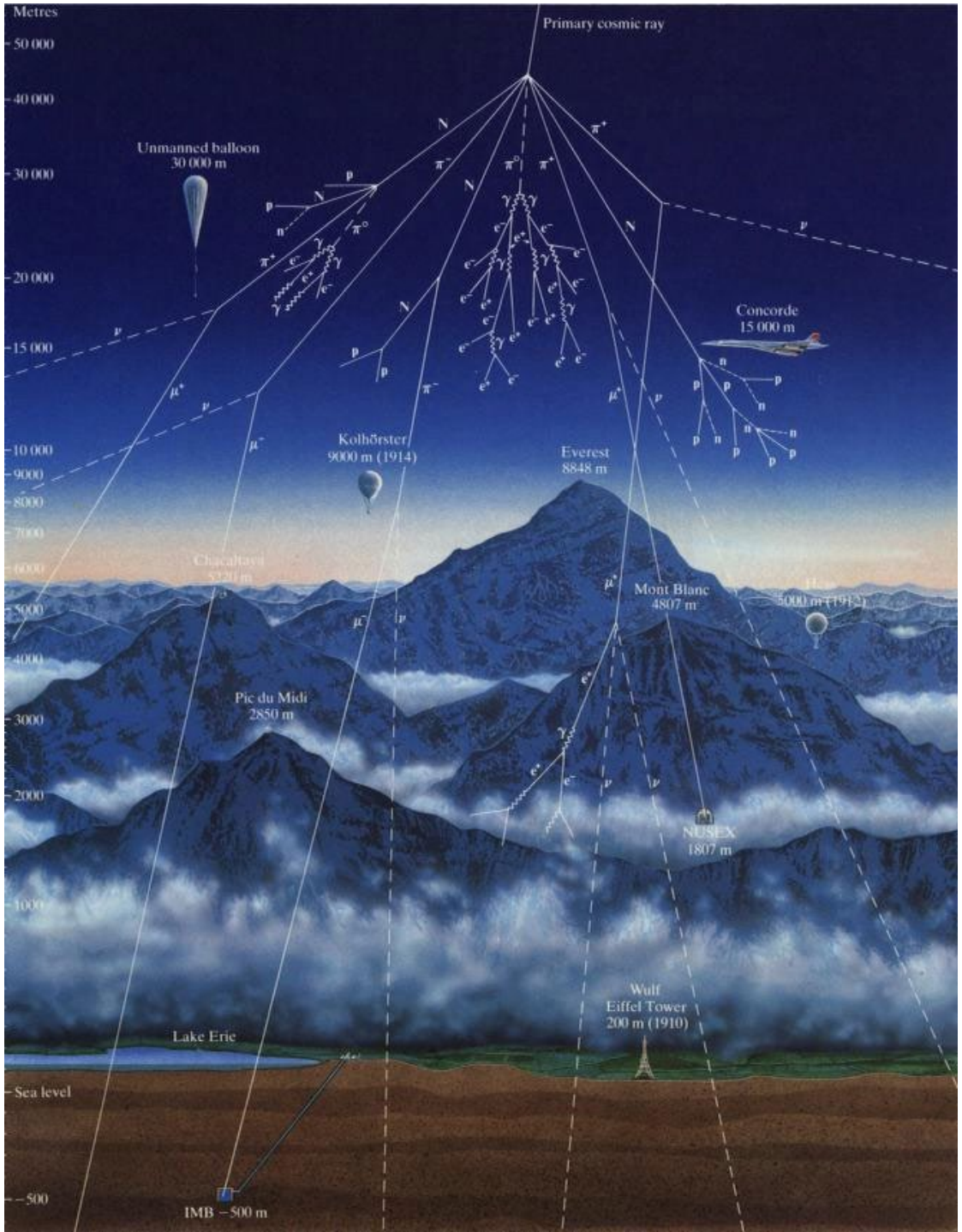
primarne i sekundarne kozmičke zrake

- Primarne - dolaze iz svemira do Zemljine atmosfere.
- Većinu (oko 90%) čine protoni, zatim (oko 10%) helijeve jezgre, a ostatak druge lake jezgre do uključivo željeza. Energija primarnih kozmičkih zraka doseže i do 10^{18} eV.
- Sekundarne - nastaju sudarom primarnih s jezgrama prisutnima u atmosferi - nastaju subatomske čestice, od kojih se dio pretvara u gama zračenje stvaranje visokoenergetskih fotona (elektron-pozitron parovi). Takvim sudarima stvaraju se mezoni, hiperoni i različiti nuklearni djelići (fragmenti), pa i radioizotopi elemenata, na primjer ugljikov radioizotop ^{14}C, nastao od dušika ^{14}N (radioizotopno datiranje). Tako nastaju kaskadne reakcije, koje su izvor takozvanih **pljuskova kozmičkih zraka**, koje je prvi opisao talijanski fizičar Bruno Rossi.



- Količina zračenja povećava se sa nadmorskom visinom (približno se udvostručivši svaka 2 km).

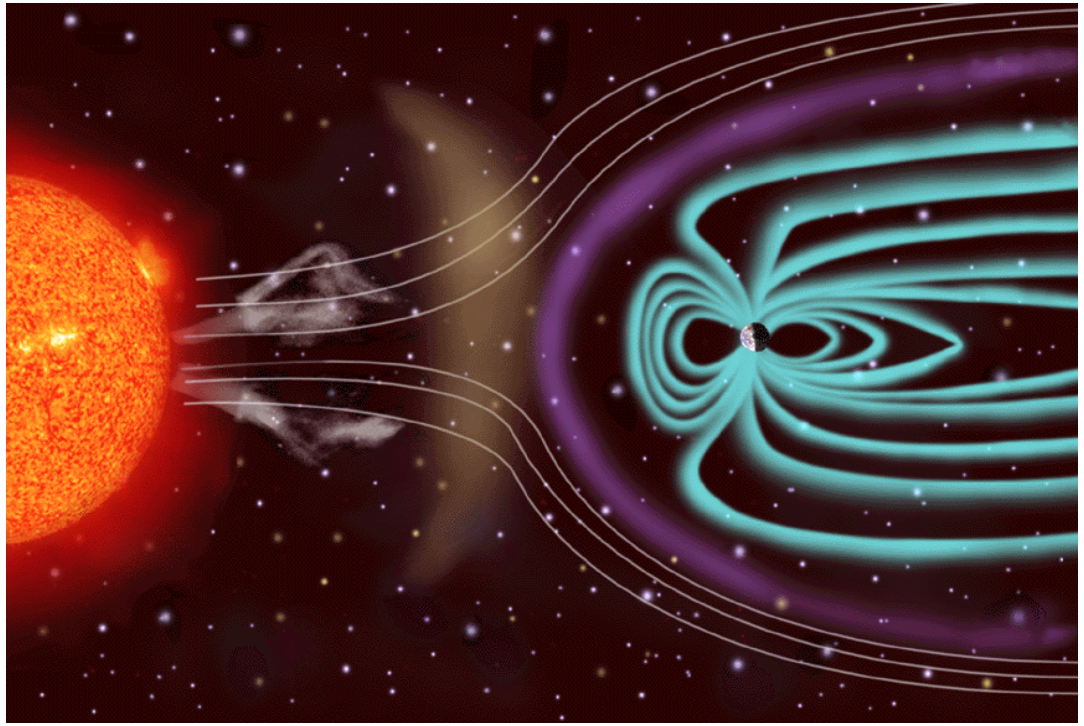




Različite količine kozmičkih zraka

Kada tok kozmičkih zraka ulazi u gornju atmosferu Zemlje, količina dolaska na Zemljinu površinu, ovisi o dvije pojave: Sunčevom vjetru i Zemljinom magnetskom polju.

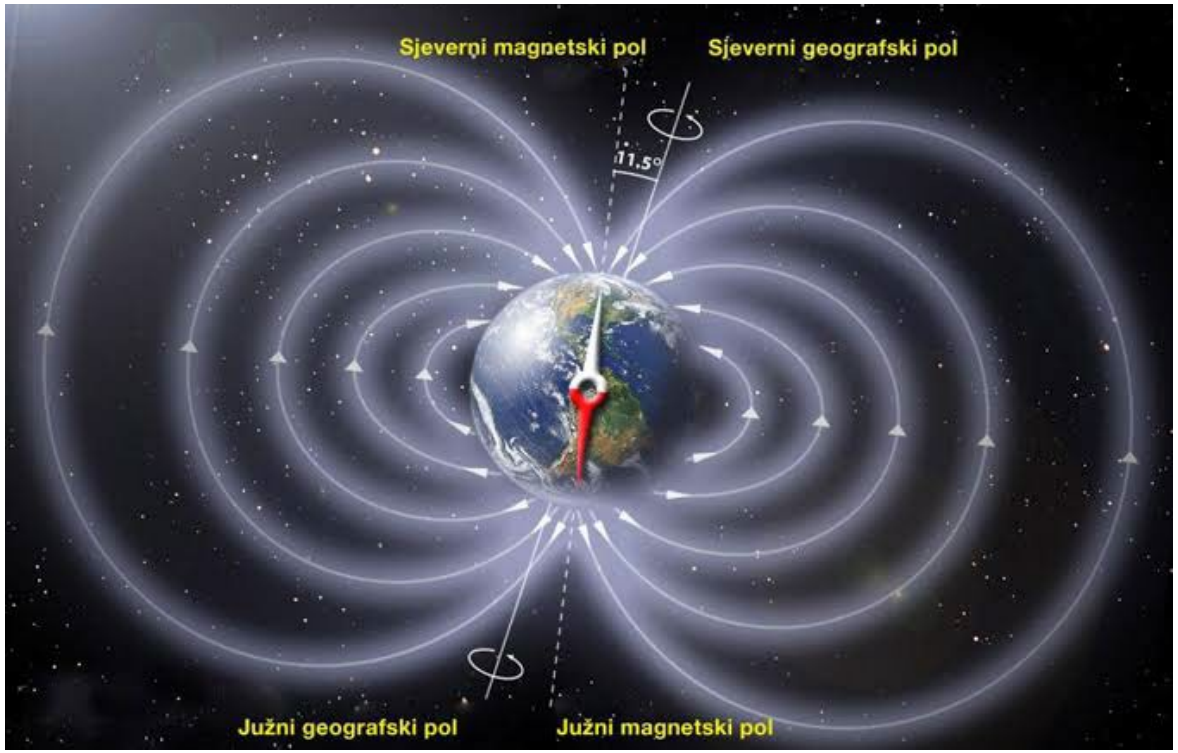
Sunčev vjetar je raspršena magnetizirana plazma, koja dolazi sa Sunca i koja može usporiti dolazeće kozmičke čestice, kao i odbiti neke čestice koje imaju energiju manju od 1 GeV. Količina Sunčevog vjetra je promjenjiva i ovisi o 11 godišnjem Sunčevom ciklusu, tako da za vrijeme Sunčevog maksimuma, najmanja količina kozmičkih zraka dođe do Zemljine površine.



Zemljino magnetsko polje

- magnetske pojave prvi je opazio pastir Magnes sa Krete (sandale sa željeznim čavlima, (kamen, magnetit)

- Zemlja - jednostavni magnet. Silnice magnetskog polje protječu između njenog sjevernog i južnog magnetskog pola. Na njima ostaju zarobljene nabijene čestice i oblikuju magnetosferu. Postoje pojasevi sa značajnom koncentracijom zarobljenih nabijenih čestica koji se zovu Van Allenovi pojasevi.



Zemljino magnetsko polje odbija i lomi jedan dio kozmičkih zraka, pa tako količina kozmičkih zraka koje padnu na Zemljinu površinu ovisi i o zemljopisnoj širini, zemljopisnoj dužini i kutu azimuta. U smjeru istok-zapad, količina kozmičkih zraka se mijenja zbog polarnosti Zemljinog magnetskog polja. Količina kozmičkih zraka na ekvatoru je manja nego na polovima, zato što je i gustoća magnetskih linija rjeđa na polovima.

Djelovanje kozmičkih zraka

Promjene u atmosferi

Kozmičke zrake u atmosferi ioniziraju molekule dušika i kisika, što vodi do brojnih reakcija. Jedna od reakcija vodi do ozonskih rupa, ali taj udio je puno manji od utjecaja freona.

Utjecaj na ljude

Kozmičke zrake čine udio godišnje radijacije na ljude. Na primjer, u Australiji je ukupno prirodno zračenje na ljude 2,3 mSv, dok kozmičke zrake prosječno zrače na ljude 0,3 mSv (13%).

Utjecaj na elektroničke uređaje

Kozmičke zrake imaju dovoljno energije da izmijene stanje elemenata u elektroničkim integriranim krugovima, uzrokujući kratkotrajne greške - problem kod elektroničkih uređaja u satelitima

UMJETNI IZVORI ZRAČENJA

Proizvodnja električne energije





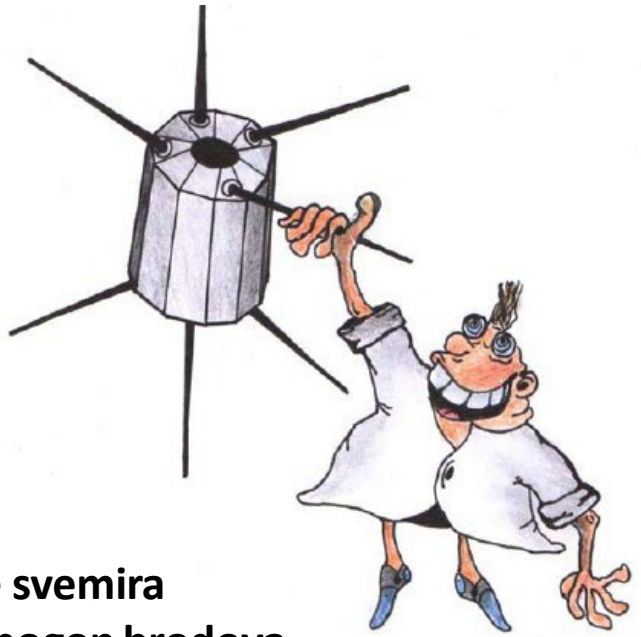
Proizvodnja lijekova i liječenje



Istraživanja u medicini
Razna medicinska snimanja

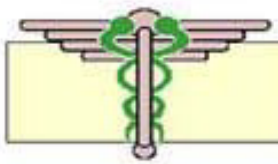
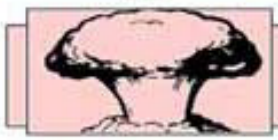
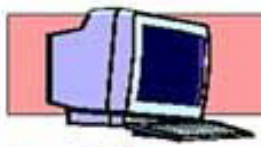






Istraživanje svemira
Industrija, pogon brodova, podmornica, sterilizacija hrane i ambalaže,…

	Izvor	μSv/godina
	Kozmičke zrake	280
	Pozadinsko zračenje	260
	Radon	2000
	Unutrašnje zračenje	250
	Građevinski materijali	40

	Izvor	μSv/godina
	Medicina	900
	Atomske eksplozije	50
	Potrošačka elektronika	10
	Nuklearne elektrane	3

- Vjerojatnost umiranja zbog istjecanja radioaktivnost iz nuklearne elektrane jednaka je vjerojatnosti smrti zbog toga što vas je udario meteorit.

- Naše vlastito tijelo godišnje zrači i četrdeset puta intenzivnije nego da stanujemo u blizini nuklearne elektrane.

- Mršaviji ljudi su “radioaktivniji” od debelih zato što imaju manje masnog tkiva koje apsorbira zračenje iz vlastitog tijela.

- Jedan sat leta u zrakoplovu ozrači putnika približno četiri puta više nego cijela nuklearna industrija u godinu dana.

- Male doze zračenja mogu poslužiti u konzerviranju hrane.

- Kroz zrak koji udišu, hranu koju jedu i vodu koju piju ljudi primaju gotovo dvije trećine efektivne doze iz prirodnih izvora.

- Najveći dio otpada na produkte raspada urana i torija - olovo-210 i polonij-210, koji u tijelo uglavnom ulaze sa hranom. Nalaze se koncentrirani u ribama i rakovima. Meso sobova također je "začinjeno" ovim elementima, pošto te životinje zimi pasu lišajeve u kojima se nagomilavaju radioaktivne tvari.

- Ugljen, kao i većina prirodnih materijala (npr. drvo) sadrži tragove drevnih radionuklida (radioaktivnih elemenata). Sagorijevajući, on ispušta te radionuklide u okoliš. Najveći dio se stapa u pepeo koji pretežno pada na dno peći (ili kotla u termoelektrani) no dio postaje lebdeći pepeo koji odlazi kroz dimnjak i dalje se rasprostire. Ponegdje se pepeo koji ostane ponovno upotrebljava, uglavnom za proizvodnju cementa ili betona.

- I obična cigla zrači! Uzrok su torij i radij koje sadrži. Osim nje, gotovo svi građevinski materijali će zračiti, od drveta čije zračenje se jedva primijeti, preko cementa i granita, pa sve do fosfornog gipsa i otpadaka iz rudnika urana koji će odmah aktivirati Geigerov brojač.

- Fosfatna ruda se koristi u proizvodnji umjetnog gnojiva. Najveći dio rude koji se koristi sadrži i visoku koncentraciju urana. Za vrijeme kopanja i prerade takvih ruda oslobađa se radon, a samo umjetno gnojivo je radioaktivno i zagaditi će hranu.

Radioaktivne tvari koje unesemo u organizam ostati će u njemu tako da svaki čovjek sadrži u sebi tragove radioaktivnih elemenata. Oni čini **unutrašnje zračenje čovjeka**.



- K-40
- Po-210
- C-14
- Pb-210

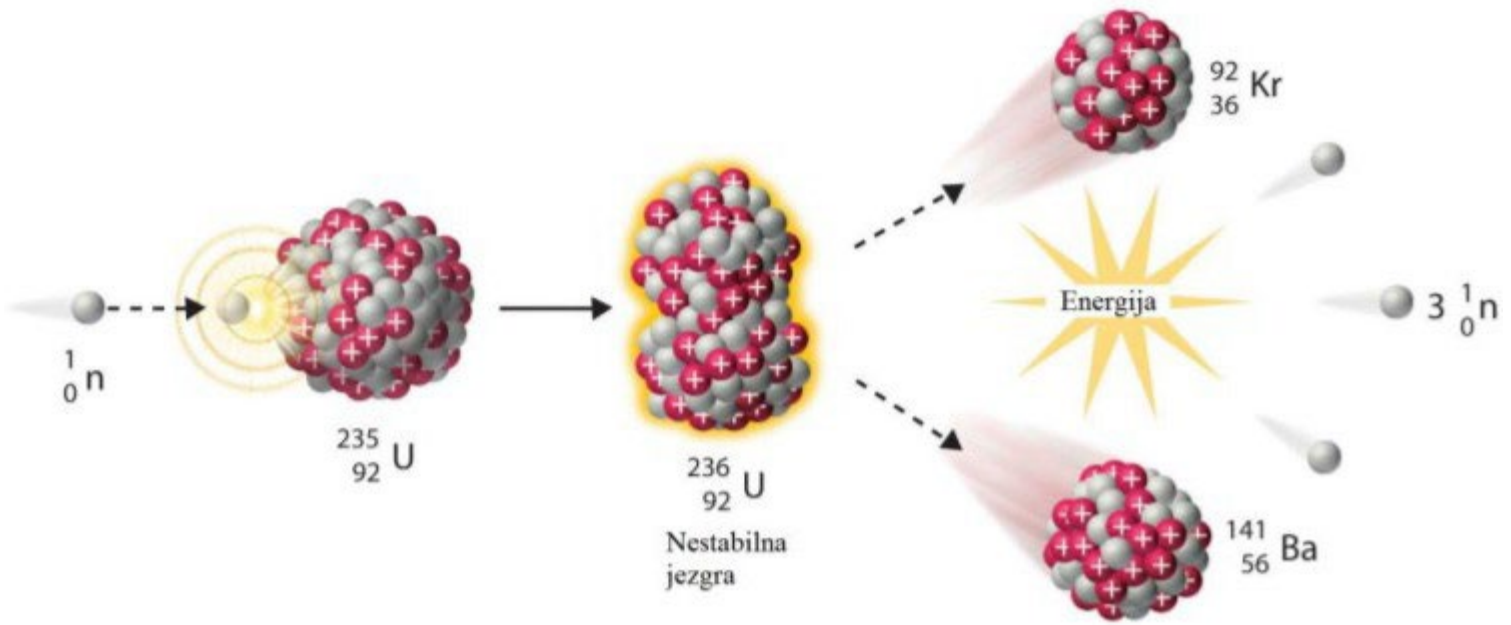
Zračenje piva je desetak puta manje od zračenja mesa, a pitka voda zanemarivo zrači.

Konzerviranje ionizirajućim zračenjem - „hladna pasterizacija“ ili „hladna sterilizacija“

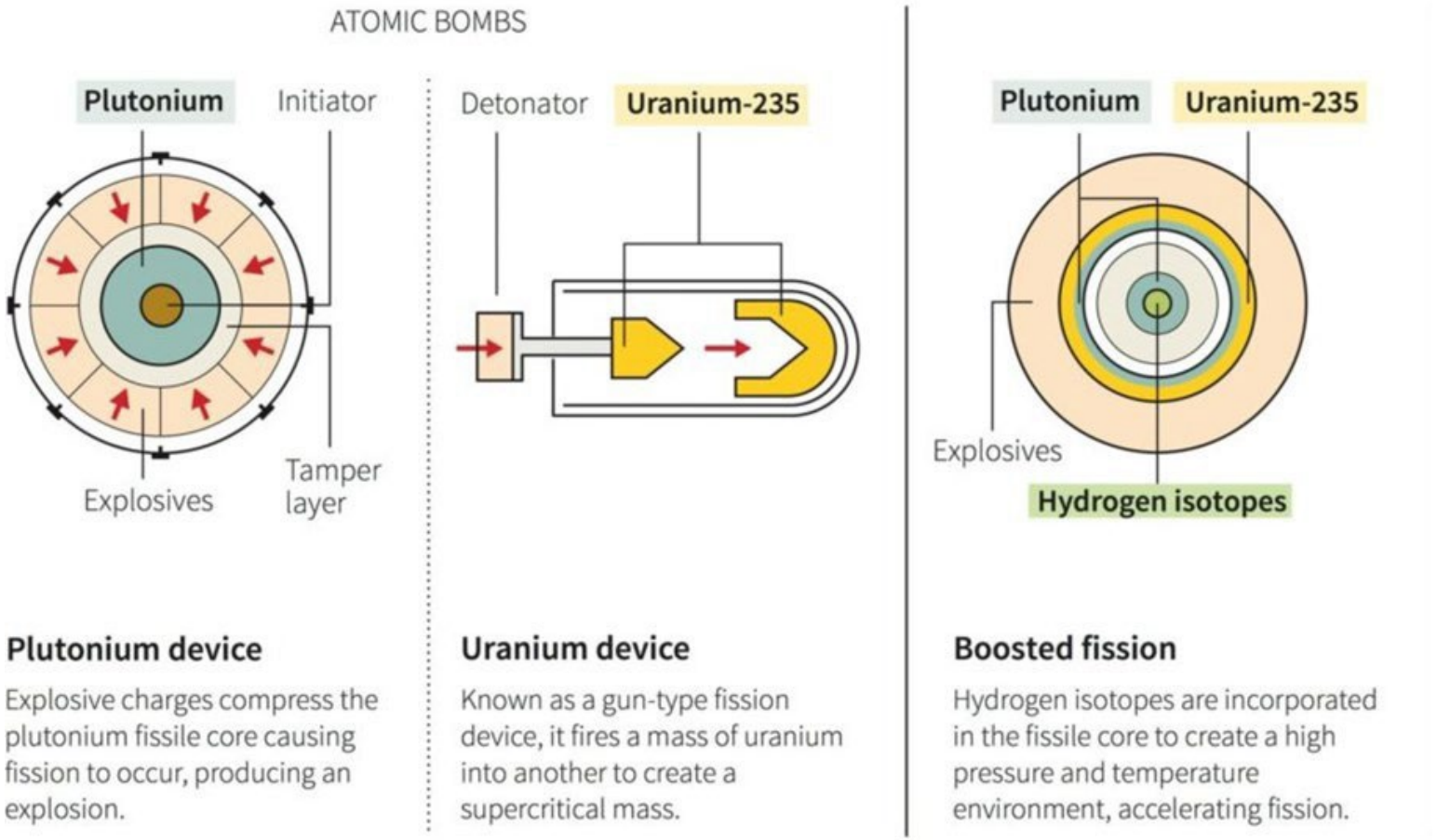
- Za konzerviranje namirnica dozvoljeno je upotrebljavati elektrone iz akceleratora, x-zrake i samo gama-zrake iz izotopa ^{60}Co i ^{137}Cs
- Primjena ionizirajućeg zračenja uzrokuje neke organolepličke promjene kao što su omekšavanje namirnica, neugodan miris i okus, te gubitak prehrambene vrijednosti
- Prema *Pravilniku o uvjetima konzerviranja namirnica i predmeta opće upotrebe ionizirajućim zračenjem* (NN 46/94) namirnice i predmeti opće uporabe mogu se konzervirati ionizirajućim zračenjem radi produljenja održivosti i poboljšanja zdravstvene ispravnosti, te kao takve stavljati u promet

ATOMSKA BOMBA

- Eksplozivna snaga atomske bombe se zasniva na procesu **fisije**.
- Bombardiranjem neutronima jezgra U^{235}se cijepa na 2 dijela. Novonastala masa je manja od početne. Razlika mase pretvorena je u energiju od oko 200 MeV po fisiji. No, za praktično dobivanje energije najvažnija je činjenica da se pri fisiji U^{235}oslobađa nekoliko neutrona, te da se tako reakcija može nastaviti sama od sebe. Višak neutrona uzrokuje lančanu reakciju ukoliko je prisutna dovoljno velika, tzv. kritična masa urana.
- Zbog oslobađanja goleme energije fisioni materijal brzo razletjeti. Energija, koju fisione bombe mogu razviti 'samo' nekoliko desetaka tisuća tona (kilotona) TNT-a.



- Izvor neutrona u atomskoj bombi može biti polonij ($_{84}Po^{210}$) i berilij ($_{4}Be^{12}$)
- Polonij stalno odašilje alfa-zrake i njima bombardira berilij. Uslijed toga iz berilija nastane $_{6}C^{12}$ i jedan neutron. Upaljač gura ovaj dio nuklearnog eksploziva u drugi dio nuklearnog goriva i nastane nad-kritična masa, odnosno dođe do nuklearne eksplozije.



Radionuklidi koji nastaju fisijom atomske bombe svrstani su u 4 skupine toksičnosti:

1) vrlo visoke toksičnosti – stroncij (Sr^{90}), plutonij (Pu^{239}), aktinij (Ac^{224}), torij (TH^{226}), svi izotopi neptunija, americija i dr.
2) visoke toksičnosti - Sr^{89}, I^{131} ,I^{129},I^{126}, I^{125}, Ce^{143} (cerij)
3) umjerene toksičnosti - $I^{132,134,135}$, Cs ^{136},
4) slabe toksičnosti - H^{3}, C^{14}, Kr^{85}, Xe^{133}

Eksplozije nuklearnih (atomska, hidrogenska...) bombi mogu biti:

- u zraku,
- na površini vode ili zemlje,
- ispod površine vode ili zemlje.

Radioaktivno djelovanje atomske bombe (15% energije bombe) se odvija u 2 faze; primarna i sekundarna faza.

- **primarna** ili početna faza radioaktivnog djelovanja atomske bombe - od trenutka eksplozije, pa sve do oko sekundu (minutu?) nakon eksplozije. Tijekom primarne faze se emitira gama zračenje (oko 3% snage bombe) i neutronsko zračenje (2-3% snage bombe) oslobođeno fisijom.

  Neutroni pobuđuju jezgre – povratak u normalno stanje emisija gama zračenja.

  Pobuđivanje jezgri metala na zemlji. Jezgre s jednim neutronom viška su nestabilne i stoga radioaktivne.

  Prilikom cijepanja urana nastaju novi elementi koji zrače.

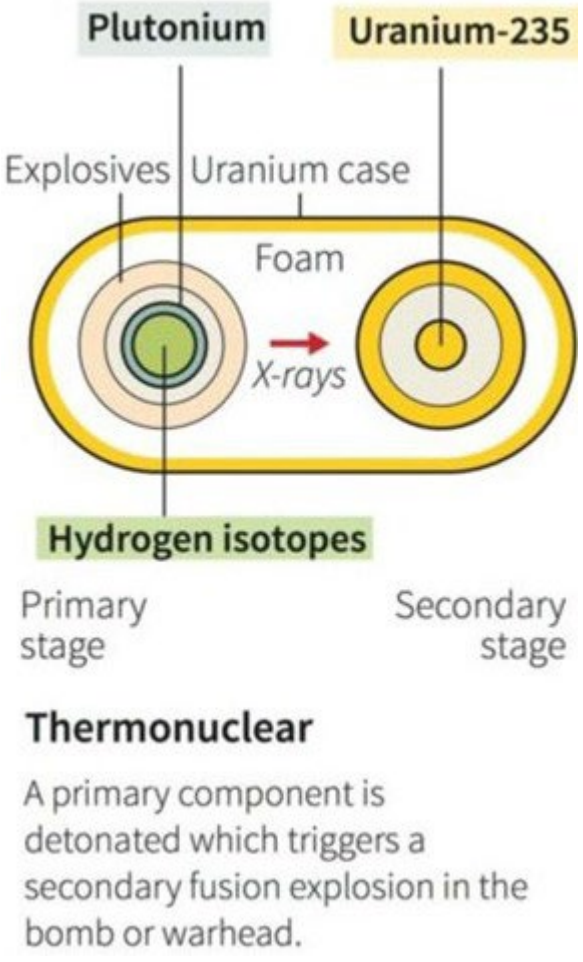
- **sekundarna faza**

  traje više godina (2-5).

  - alfa, beta i gama zračenje. Beta zračenje je najizraženije.

HIDROGENSKA, TERMONUKLEARNA ili H BOMBA

- zasniva se na procesu **fuzije**
- Za pokretanje fuzije potrebno je: prisustvo lakih elemenata, deuterij + tricij ili deuterij + litij ($_3Li^8$ ima $T_{1/2}$=0.86 s) ekstremno visoka temperature ekstremno visok tlak - unutar hidrogenske bombe postavi atomska bomba kao 'upaljač'.
- fuzijom običnog vodika i tricija ($_1H^1 + _1H^3 \quad _2He^4$) oslobađa se oko 20 MeV energije.
- Često se fuzioni materijal u bombi ogrne omotačem od fisionog materijala, mahom prirodnog urana. Uloga omotača je povećati razornu moć bombe (brzi neutroni mogu izazvati fisiju U^{235}).
- Razorna moć postojećih hidrogenskih bombi (za koje javnost zna) je preko 10 megatona; jače od10^7tona TNT-a.
- mogu uništiti područje od više stotina kvadratnih kilometara, a uništiti sav život na području desetak puta većem.



NEUTRONSKA BOMBA

- u osnovi bomba fuzionog tipa kao i hidrogenska bomba.
- za razvijanje potrebne početne visoke temperature upotrijebljen fisioni materijal male kritične mase,

te, u usporedbi s klasičnim tipom hidrogenske bombe, znatno manjom količinom fuzionog materijala.

- Radijacijsko djelovanje joj je isključivo preko neutrona, te stoga kontaminacija terena nestaje u kratkom roku nakon eksplozije.

Nuklearne nesreće

- nuklearne centrale

1952. godine - nesreća na eksperimentalnom nuklearnom reaktoru istraživačkog centra Chalk River u Kanadi.

1957. godine - požara na nuklearnom reaktoru Windscale 1 - za proizvodnju plutonija u vojne svrhe, Seascale u Engleskoj.

1966. godine - nesreća na energetskom brzom oplodnom reaktoru nuklearne elektrane Fermi I, Lagoona Beach u blizini Detroita, Michigan, SAD.

1979. godine - nuklearna elektrana Otok Tri milje u SAD-u (Harrisburg)

1986. godine - katastrofa u Černobilu (Ukraina)

1999. godine - nesreća u tvornici za konverziju urana u Japanu

2011. godine nuklearna centarala Fukushima Daiichi - otok Honshu u Japanu

- plovila na nuklearni pogon

1963. godine - potonula nuklearna podmornica USS Thresher

1961. godine - nuklearna podmornica K-19

1985. godine došlo do nekontrolirane lančane reakcije na podmornici K-314



HVALA NA PAŽNJI!