

# Karakteristike nuklearne fisije i fuzije

---

**Lukanec, Magdalena**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2015**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **Karlovac University of Applied Sciences / Veleučilište u Karlovcu**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:128:171646>

*Rights / Prava:* [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-01-27**



**VELEUČILIŠTE U KARLOVCU**  
Karlovac University of Applied Sciences

*Repository / Repozitorij:*

[Repository of Karlovac University of Applied Sciences - Institutional Repository](#)



zir.nsk.hr



DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

VELEUČILIŠTE U KARLOVCU  
STRUČNI STUDIJ SIGURNOSTI I ZAŠTITE  
ZAŠTITA NA RADU

MAGDALENA LUKANEC

**KARAKTERISTIKE NUKLEARNE FISIJE I FUZIJE**

ZAVRŠNI RAD

KARLOVAC, 2015.



VELEUČILIŠTE U KARLOVCU  
STRUČNI STUDIJ SIGURNOSTI I ZAŠTITE  
ZAŠTITA NA RADU

MAGDALENA LUKANEC

**KARAKTERISTIKE NUKLEARNE FISIJE I FUZIJE**

ZAVRŠNI RAD

Mentor:

Slaven Lulić, dipl. ing.

KARLOVAC, 2015.

## SAŽETAK

Tema ovog završnog rada je *Karakteristike nuklearne fisije i fuzije*. U radu su detaljno opisani procesi odvijanja tih dviju nuklearnih reakcija, te su navedeni i opisani uvjeti koji su potrebni kako bi do tih reakcija došlo. S obzirom da se prilikom odvijanja fisije i fuzije oslobađa golema količina energije, možemo reći da je to zapravo energija budućnosti i zbog toga se u radu može pronaći detaljnije objašnjenje principa rada nuklearnih elektrani kojih je danas u svijetu sve više. Prilikom odvijanja nuklearnih reakcija, oslobađaju se čestice koje su radioaktivne i štete ljudskom zdravlju. Zbog toga je bitno znati kakve nam ozljede i bolesti donose različite vrste zračenja, te koji su najbolji načini da se zaštitimo od tih zračenja.

Ključne riječi:

nuklearna reakcija, fisija, fuzija, nuklearni raspad, radioaktivnost, atomska jezgra, neutron, energija, uran, masa, brzina

## SUMMARY

The subject of this graduation work is *Characteristics of nuclear fission and fusion*. This paper describes the processes unfolding of these two nuclear reactions, and are listed and described the conditions that are necessary to reach these reactions occurred. Considering that nuclear fission and fusion releases enormous amounts of energy, we can say that this is actually the energy of the future and that is why the work can find a more detailed explanation of the principles of the nuclear power plant which is now the world's more. During nuclear reactions, radioactive particles are released, and they may be hazardous to human health. It is therefore important to know what kind of injuries and illnesses might be brought by different types of radiation, and which are the best ways to protect ourselves from these rays.

Key words:

Nuclear reactions, fission, fusion, nuclear decay, radioactivity, atomic nuclei, neutron, energy, uranium, mass, speed

# SADRŽAJ

1. UVOD .....	1
1.1. Nuklearne reakcije.....	2
2. RADIOAKTIVNOST - NUKLEARNI RASPADI.....	4
2.1. Alfa raspad ( $\alpha$ - raspad).....	4
2.2. Beta raspad ( $\beta$ - raspad) .....	5
2.3. Gama raspad ( $\gamma$ - raspad) .....	6
3. NUKLEARNA FISIJA.....	8
3.1. Primarni i sekundarni neutroni.....	9
3.2. Fisibilne jezgre .....	9
3.3. Produkti fisije .....	10
3.4. Nuklearna lančana reakcija .....	11
4. NUKLEARNA FUZIJA.....	14
4.1. Kriteriji za fuzijske reakcije na Zemlji.....	15
5. USPREDBA FISIJE I FUZIJE .....	17
6. NUKLEARNE ELEKTRANE .....	19
6.1. Princip rada nuklearne elektrane.....	19
6.2. Dijelovi nuklearne elektrane .....	19
7. ZAŠTITA OD ZRAČENJA.....	23
7.1. Ionizirajuće zračenje.....	24
7.2. Toplinsko zračenje .....	25
7.3. Elektromagnetsko zračenje .....	26
7.4. Infracrveno i ultraljubičasto zračenje .....	27
8. ZAKLJUČAK.....	29
LITERATURA .....	31

## POPIS PRILOGA

### POPIS SLIKA

Slika 1; Građa atoma.....	1
Slika 2; Alfa raspad .....	4
Slika 3; Beta raspadi .....	6
Slika 4; Gama zračenje .....	7
Slika 5; Prodornost alfa, beta i gama zračenja .....	7
Slika 6; Nuklearna reakcija fisije.....	8
Slika 7; Nuklearna lančana reakcija .....	12
Slika 8; CNO i p-p niz .....	15
Slika 9; Razlika između fisije i fuzije .....	17
Slika 10; Dijelovi nuklearne elektrane.....	20
Slika 11; Udio nuklearne energije u ukupnoj proizvodnji električne energije .....	22
Slika 12; Štetna zračenja po frekvencijama.....	24

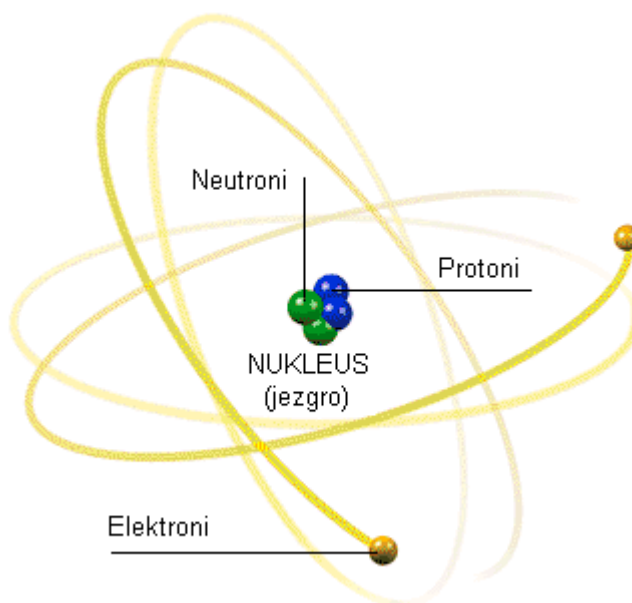
### POPIS TABLICA

Tablica br. 1; Vrste nuklearnih reakcija .....	3
Tablica br. 2; Sastav prirodnog urana .....	9
Tablica br. 3; Energija oslobođena fisijom .....	11
Tablica br. 4; Usporedni prikaz fisije i fuzije.....	18
Tablica br. 5; Nuklearne elektrane u svijetu.....	21
Tablica br. 6; Stupnjevi i boje .....	26



## 1. UVOD

Nuklearna fizika je jedna od grana fizike koja se bavi proučavanjem strukture atomske jezgre, procesima koji se događaju u atomskoj jezgri, kao i međudjelovanja atomskih jezgara. Atom je osnovna građevna jedinica svake tvari, a njegova jezgra, koja se sastoji od protona i neutrona koje jednim imenom zovemo nukleoni, je najvažniji dio za odvijanje svih nuklearnih reakcija. Zbog djelovanja atomskih jezgara međusobno, događaju se nuklearne reakcije i procesi poput fisije i fuzije. Najvažnije osobine atomske jezgre jesu njena masa i naboj. Naboj jezgre obilježavamo oznakom  $Ze$ , gdje slovo  $Z$  predstavlja broj protona. Maseni broj atomske jezgre označavamo slovom  $A$ , a ono predstavlja zbroj protona i neutrona. Velikim slovom  $Z$  obilježava se redni broj određenog elementa u Periodnom sustavu elementa. Broj neutrona u atomskoj jezgri, koji dobijemo ukoliko oduzmemo maseni broj i broj protona određenog elementa ( $N = A - Z$ ), može varirati a da se pri tom ne mijenjaju kemijska svojstva nekog elementa. Jezgre kojima je jednak broj protona i neutrona pripadaju nekom nuklidu. Nuklidi se obilježavaju kao  ${}^A X$  ili kao  ${}^A_Z X$ .



**Slika 1;** Građa atoma

## 1.1. Nuklearne reakcije

Pod pojmom nuklearne reakcije podrazumijevamo transformacije atomskih jezgara koje su potaknute njihovom interakcijom s drugim jezgrama ili ostalim elementarnim česticama. Svaka od jezgara se tokom procesa može, ali i ne mora, promijeniti. To ovisi o mehanizmu odvijanja same reakcije koje znaju biti vrlo različite. Nuklearna reakcija može biti međudjelovanje dva nuklida, nuklida i nukleona ili nuklida i gama - zraka. U nuklearnim reakcijama može nastati nekoliko novih materijalnih čestica ili gama - zraka. Da bi se uopće dogodila neka nuklearna reakcija, nukleoni upadne čestice, moraju međudjelovati s neutronima koji se nalaze u jezgri mete. Energija upadne čestice mora biti dovoljno velika kako bi se svladala Coulombova barijera. Coulombova barijera je zapravo energetska barijera koja nastaje zbog elektrostatskog međudjelovanja između dvije jezgre, koje one trebaju savladati, da bi se ostvarila nuklearna fuzija ili spajanje tih dviju jezgri. Barijera se povećava s atomskim brojem tj. brojem protona jezgri koje međusobno djeluju. Ako je energija premala da bi se barijera svladala, tada će se nukleoni samo međusobno otkloniti od upadnih putanja. Kod nekih nuklearnih reakcija dolazi do oslobađanja energije (tzv. egzotermne reakcije), a kod nekih nuklearnih reakcija potrebno je uložiti energiju da bi se ona dogodila (tzv. endotermne reakcije).

„Proces se odvija prema zakonima kvantne fizike, a u nekim slučajevima vrijede i zakoni klasične fizike. Osim općih zakona očuvanja fizike, kao što su zakon očuvanja energije, zakon očuvanja količine gibanja, zakon očuvanja momenta količine gibanja, postoje i specifični zakoni očuvanja u nuklearnim transformacijama. Ti se zakoni očuvanja ne manifestiraju u makroskopskim i atomskim procesima u kojima se ne mijenjaju jezgre atoma. U nuklearnim reakcijama dodatni zakoni očuvanja ovise o razini promjene jezgre atoma pri toj nuklearnoj reakciji. Ako se pri nuklearnim reakcijama ne zbivaju promjene osnovnih sastojaka jezgre, protona i neutrona, tada vrijedi zakon očuvanja električnog naboja i zakon očuvanja ukupnog broja nukleona.“<sup>1</sup> Dolazi li do mijenjanja i samih konstituenata jezgre procesima beta - raspada, kojima proton može prijeći u neutron ili neutron u proton, tada vrijedi i zakon očuvanja lakih

---

<sup>1</sup> Fakultet elektrotehnike i računarstva;  
[https://www.fer.unizg.hr/\\_download/repository/pred\\_fisija.pdf](https://www.fer.unizg.hr/_download/repository/pred_fisija.pdf); 14.04.2015.

čestica, tzv. leptona (elektrona, pozitrona ili neutrina, antineutrina). Posljedica djelovanja tih dodatnih zakona je da se zbog određene količine potrošene energije može proizvesti par elektron - pozitron, ali ne samo jedna od tih čestica. Pozitron je antičestica elektrona, pa stvaranjem para elektron – pozitron niti ukupan broj lakih čestica, niti ukupan naboj nije promijenjen. U reakcijama na vrlo visokim energijama u kojima nastaju i nove čestice srednje mase tzv. mezoni, odnosno čestice mase jednake ili slične masi nukleona, djeluju i drugi zakoni očuvanja, no oni ne djeluju neposredno na niskoenergetske nuklearne reakcije važne u nuklearnoj energetici.

**Tablica br. 1;** Vrste nuklearnih reakcija

<b>NUKLEARNA REAKCIJA</b>	<b>SPOZNAJA</b>
Nukleon - nukleon raspršenja	Osnovna nuklearna sila
Elastična raspršenja jezgara	Veličina jezgre i potencijal
Neelastična raspršenja do pobuđenih stanja	Energijski nivoi i kvantni brojevi
Neelastična raspršenja u kontinuumu	Vibracijski modovi
Reakcije prijenosa i izbacivanja	Detalji modela ljuski
Fuzijske reakcije	Astrofizički procesi
Fisijske reakcije	Svojstva Modela kapljice
Stvaranje jezgre	Statistička svojstva jezgre
Multifragmentacija	Faze nuklearne tvari, Kolektivni model
Pionske reakcije	Istraživanje nuklearne sile
Elektronsko raspršenje	Kvarkovska struktura

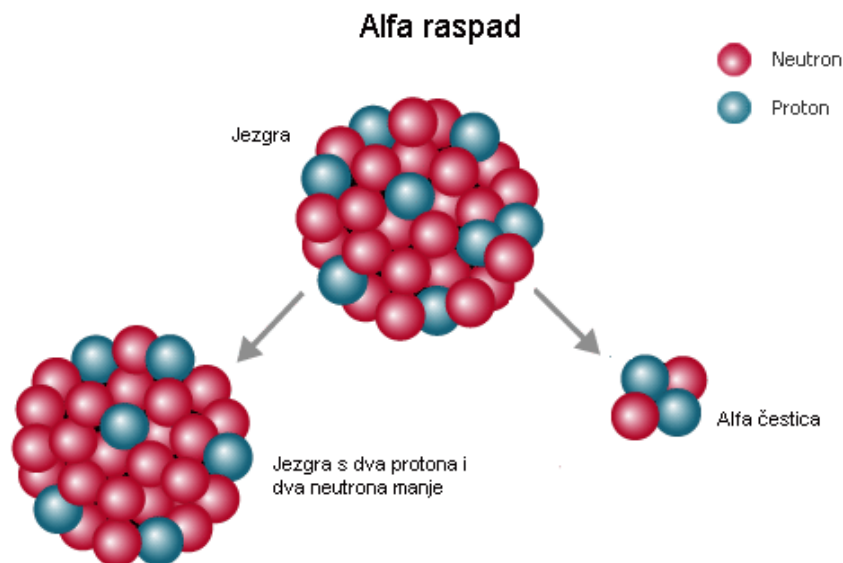
U tablici br. 1 prikazane su različite vrste nuklearnih reakcija s naznakom što se može naučiti o jezgri i nuklearnoj energiji.

## 2. RADIOAKTIVNOST - NUKLEARNI RASPADI

Radioaktivnost je svojstvo nekih vrsta atoma da im se jezgre spontano mijenjaju i pri tome emitiraju energiju u obliku zračenja. Ta se promjena jezgre naziva radioaktivnim raspadom. Radioaktivni ili tzv. nuklearni raspad mora zadovoljiti nekoliko zakona očuvanja energije, podrazumijevajući da vrijednost očuvane veličine nakon raspada ima jednaku vrijednost kao i za jezgru prije raspada. Očuvane veličine su ukupna energija, električni naboj, linearna i kutna količina gibanja, broj nukleona i leptonski broj, koji je naziv za zbroj broja elektrona, neutrina, te pozitrona i antineutrina, uzimajući antičestice.

### 2.1. Alfa raspad ( $\alpha$ - raspad)

Alfa raspad je naziv za pretvaranje jedne atomske jezgre u drugu uz emitiranje alfa - čestice. Jezgra se raspada na manju jezgru kojoj je maseni broj umanjen za 4, a atomski broj je umanjen za 2 uz oslobađanje alfa - čestice. Do raspada dolazi zbog nestabilnosti atomske jezgre odnosno zbog neuravnoteženoga broja protona i neutrona u njoj. Neke su atomske jezgre prirodno nestabilne i raspadaju se u dužem ili kraćem vremenskom intervalu, odnosno vremenu poluraspada, a neke stabilne atomske jezgre mogu postati nestabilne nakon što na njih djeluju čestice koje posjeduju veliku energiju.

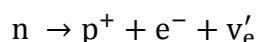


**Slika 2;** Alfa raspad

Alfa raspad se događa najčešće kod masivnih jezgri koje imaju prevelik omjer protona u odnosu na neutrone. Kod alfa raspada mijenja se atomska masa i redni brojevi jezgre, pa to ujedno znači da atomska jezgra koja se raspada i jezgra nastala tim raspadom pripadaju različitim kemijskim elementima, te tako imaju i različita kemijska svojstva. Kad je omjer neutrona i protona u atomskoj jezgri određenih atoma prenizak, oni emitiraju alfa - česticu kako bi uspostavili ravnotežu. Atomi koji emitiraju alfa - čestice uglavnom su vrlo veliki atomi, tj. imaju visoke atomske brojeve.

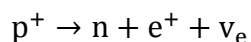
## 2.2. Beta raspad ( $\beta$ - raspad)

Beta raspad je druga vrsta radioaktivnog raspada atomskih jezgara, koja je izazvana utjecajem slabe nuklearne sile i kod tog raspada atomska jezgra zrači elektron ili pozitron, i ne dolazi do promjene atomske mase nego se samo atomski broj poveća ili smanji za jedan, a to znači da se atomska jezgra pretvori u novi kemijski element, koji je slijedeći ili prethodni redni broj u Periodnom sustavu elemenata. Za sada su poznate dvije vrste beta raspada, a to su beta plus raspad ( $\beta^+$ ) i beta minus raspad ( $\beta^-$ ). Beta minus raspad nazivamo još i elektronskim zračenjem, a kod te vrste raspada nestabilne atomske jezgre koje imaju višak neutrona mogu spontano ostvariti raspad, gdje se neutron raspada u proton, uz zračenje elektrona i antineutrina (elektronski antineutrino ili antičestica neutrina).

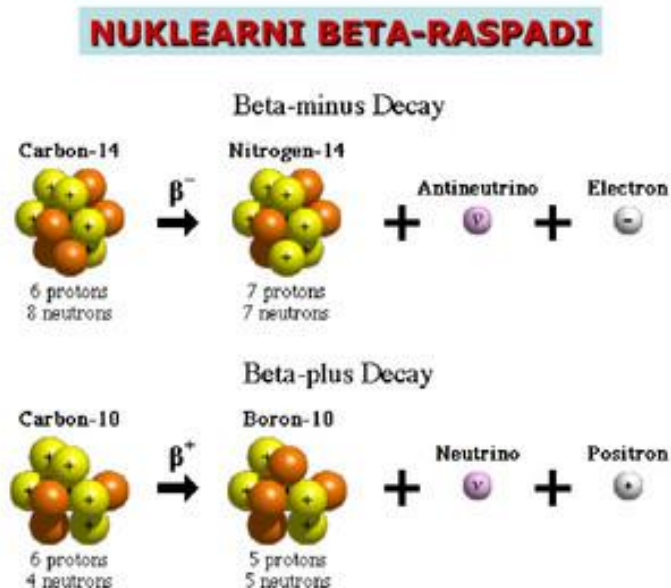


Beta minus raspad nastaje zbog djelovanja slabe nuklearne sile. Taj postupak se obično javlja u nuklearnim reaktorima, ako u nuklearnom gorivu ima nestabilnih atomskih jezgri s viškom neutrona.

Kod beta plus raspada ili pozitronskog zračenja nestabilne atomske jezgre koje imaju višak protona mogu spontano ostvariti raspad, gdje se proton raspada u neutron, uz zračenje pozitrona (antičestice elektrona) i neutrina.



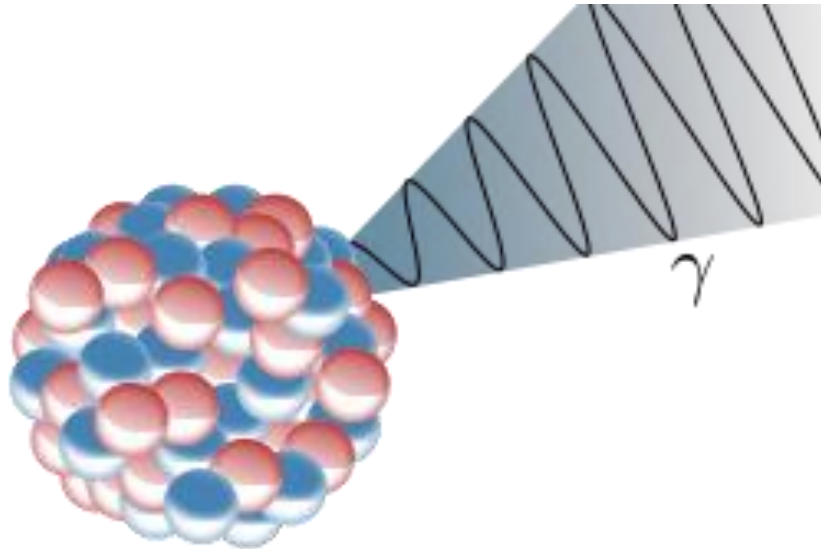
Beta (plus) raspad se može dogoditi samo unutar atomske jezgre, kojoj je nuklearna energija vezanja novonastalog kemijskog elementa ili izotopa veća od nuklearne energije vezanja kemijskog elementa iz kojeg je radioaktivni raspad započeo.



**Slika 3;** Beta raspad

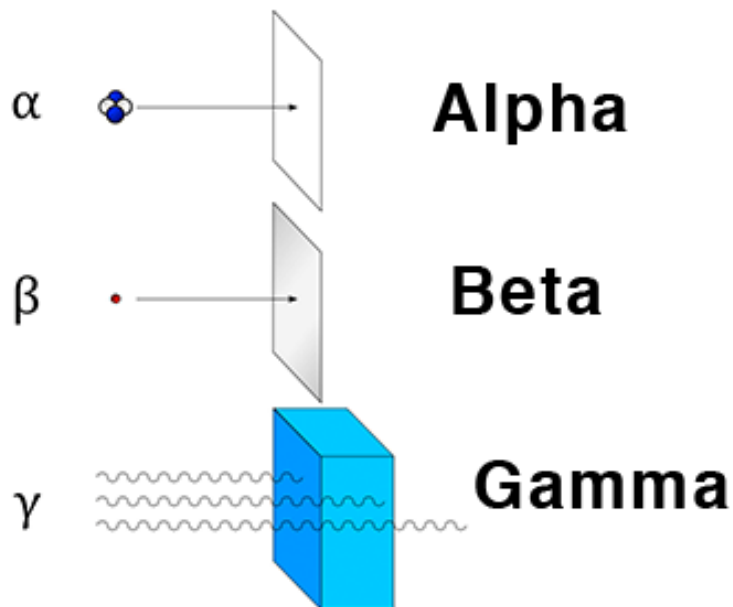
### 2.3. Gama raspad ( $\gamma$ - raspad)

Gama raspad je za razliku od alfa i beta raspada malo specifičniji. Kod gama raspada ne dolazi do pravog raspada jedne jezgre u drugu, već je gama raspad jedna vrsta emisije gama zraka. Ponekad jezgra, nakon emisije  $\alpha$  ili  $\beta$  čestica, ostane u pobuđenom stanju. To je stanje u kojemu je energija jezgre veća od osnovnog stanja najniže energije. U tome slučaju, jezgra će spontano prelaziti u stanja niže energije sve do osnovnog. Pri tim prijelazima jezgra emitira elektromagnetske valove vrlo kratkih valnih duljina, koje su manje od 10 - 13 m, odnosno, visokih energija. Ovu emisiju gama fotona nazivamo  $\gamma$  zračenje, a gama fotone označavamo s  $\gamma$ . Gama zrake su fotoni, prema tome, nemaju električnog naboja i gibaju se brzinom svjetlosti. Sposobnost ionizacije manja je od alfa i beta zračenja. Domet u zraku im je od nekoliko desetaka metara do par kilometara.



**Slika 4;** Gama zračenje

Na slici broj 5. prikazana je prodornost alfa, beta i gama zračenja. Iz slike možemo vidjeti da alfa zračenje može zaustaviti list papira, beta zračenje može zaustaviti aluminijski lim deo nekoliko milimetara, a većinu gama zračenja može zaustaviti desetak centimetara debela olovna ploča.

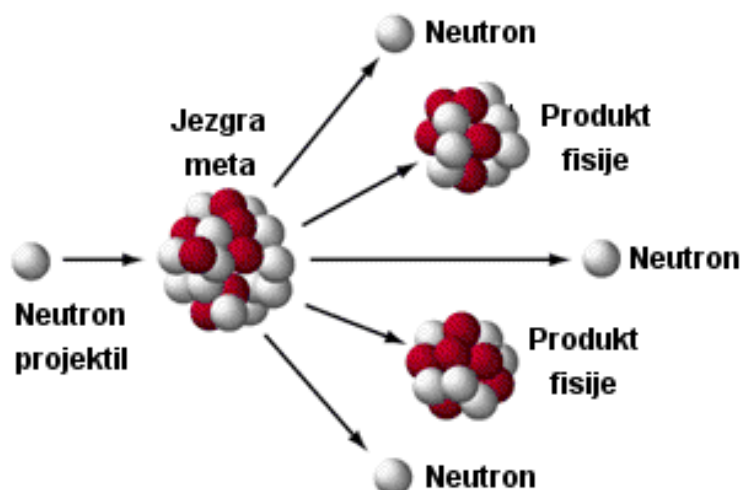


**Slika 5;** Prodornost alfa, beta i gama zračenja

### 3. NUKLEARNA FISIJA

Fisija je otkrivena tijekom eksperimenata sa transuranskim elementima. Te je pokuse započeo E. Fermi sa suradnicima 1934. g., nakon otkrića neutrona. U nekim pokusima, među jezgrama nastalim nakon ozračivanja urana neutronima, pronađeni su elementi relativno malih masa. Tako su Curie i Joliot pronašli lantan, a O. Hahn i F. Strassman barij, cerij i lantan. Oni su početkom 1939.g. objavili rezultate svojih istraživanja i ukazali na mogućnost cijepanja jezgre urana. L. Meitner i O. Frish iste godine daju objašnjenje procesa i predlažu naziv fisija, a N. Bohr i A. Wheeler daju teoriju fisije. Nuklearna energija je prvih desetak godina korištena isključivo u vojne svrhe, za izradu nuklearnog oružja. Danas u svijetu radi više stotina nuklearnih reaktora različitih namjena i snaga.

„Nuklearna reakcija fisije (lat. fissio, razdvajanje, dijeljenje) je jedna od vrsta nuklearnih reakcija kojom se jezgra atoma cijepa na dva fisijska produkta ili fisijska fragmenta sličnih masa uz emisiju jednog ili više neutrona.“<sup>2</sup> Tijekom procesa fisije dolazi do oslobađanja energije jer je manje energije potrebno za formiranje dvije lakše jezgre nego jedne teže jezgre. Spontana fisija jezgre događa se vrlo sporo, no kod nekih teških jezgri moguće je inicirati bržu reakciju fisije interakcijom sporih neutrona s tom jezgrom. Takve jezgre koje su podložne fisiji sporim neutronima nazivamo fisibilnim jezgrama.



**Slika 6;** Nuklearna reakcija fisije

<sup>2</sup> Odjel za fiziku; <http://www.phy.uniri.hr/hr/>; 10.05.2015.



### 3.1. Primarni i sekundarni neutroni

Neutroni su čestice koje najlakše izazivaju nuklearne reakcije. Zbog svoje električne neutralnosti ne moraju svladavati elektrostatsku potencijalnu barijeru jezgre, te relativno malim brzinama i energijama dopiru do zone djelovanja jake nuklearne sile, ulaze u jezgru, i iniciraju nuklearnu reakciju. Primarni neutroni izazivaju fisiju, a sekundarni neutroni nastaju nakon fisije. Prema kinetičkim energijama primarni neutroni se dijele na neutrone niske, srednje i visoke energije, tj. spore, intermedijarne i brze. Neutroni niske energije imaju brzine koje odgovaraju brzinama termičkog gibanja molekula plina, pa se zovu termalni neutroni. Osim neutrona fisiju mogu izazvati protoni, deuteroni i alfa čestice, ako se prethodno ubrzaju u akceleratoru i tako postignu dovoljno velike energije. Fisija se može izazvati gama zračenjem (fotofisija) i laserskim snopom. Fisija teških elemenata se može dogoditi i bez induciranja, dakle spontano.

### 3.2. Fisibilne jezgre

Relativno mali broj jezgara podliježe fisiji. Neke jezgre se cijepaju pod utjecajem sporih, a neke pod utjecajem brzih neutrona. Fisija sporim neutronima događa se na U - 235 (prirodni izotop urana), U - 233 (umjetni izotop) i Pu - 239 (umjetni izotop). Fisija se može dogoditi i na U - 238 i Th - 232, ali samo sa vrlo brzim neutronima. Fisiji podliježu i svi transuranski elementi, dakle elementi sa rednim brojem većim od 92.

Uran je najteži element koji se u prirodi može naći. Prirodni uran je mješavina tri izotopa.

**Tablica br. 2; Sastav prirodnog urana**

IZOTOP	UDIO U PRIRODNOM URANU	VRIJEME POLURASPADA
U - 238	99.285%	$T_{1/2} = 4.5$ milijarde godina
U - 235	0.710%	$T_{1/2} = 0.71$ milijarde godina
U - 234	0.005%	$T_{1/2} = 2400$ godina

Sva tri izotopa su emiteri slabe radioaktivnosti. Pored ova tri prirodna, poznato je još 13 umjetnih izotopa urana, od kojih najveću važnost ima fisibilni U - 233 koji se koristi kao nuklearno gorivo.

Th - 233 je  $\beta$  - radioaktivan i preko protaktinija se pretvara u U - 233. Ovom nuklearnom reakcijom se torij koji nije fisibilan materijal pretvara u fisibilni uran. Proces u kome se nefisibilni materijal pretvara u fisibilni zove se nuklearna konverzija, a materijal koji daje fisibilne izotope oplodni materijal.

Plutonij je transuranski element, koji ne postoji u prirodi. Plutonij ima 15 izotopa (232 - 246) i svi su radioaktivni, fisibilni su Pu - 239 i Pu - 241, a u komercijalnoj uporabi je Pu - 239. Plutonij se danas smatra najboljim nuklearnim gorivom, jer je njegova sklonost ka cijepanju pomoću sporih neutrona veća nego U - 235. Pu - 239 se dobija iz U - 238. U - 238 ozračen sporim neutronima se ponaša potpuno različito od U - 235. Dok se U - 235 cijepa na fragmente, dakle podliježe fisiji, U - 238 apsorbira neutrone, pretvara se u nestabilni izotop U - 239, te se kroz dva uzastopna  $\beta$  - raspada pretvara u Pu. To se svojstvo U - 238 koristi za dobivanje Pu.

### **3. 3. Produkti fisije**

Teška jezgra se u procesu fisije cijepa na dva lakša fragmenta čiji su omjeri masa 3:2, te se nalaze u sredini periodnog sustava. Međutim, ne postoje dva određena elementa koji bi bili stalni i jedini produkti fisije, odnosno ne postoji dinamička zakonitost, koja bi sa sigurnošću mogla predvidjeti koji će elementi nastati fisijom. Postoji oko 50 različitih načina i putova kojima se fisija može odvijati. To su tzv. kanali fisije. Za svaki kanal postoji, pri zadanim uvjetima, određena vjerojatnost, ali ona općenito ne prelazi 8%. Pri fisiji urana nastaje više od 100 izotopa, od oko 40 elemenata, čiji se maseni brojevi kreću od 72 do 161. Svi fragmenti fisije su radioaktivni, jer svi imaju višak neutrona. Uvjet stabilnosti teških jezgri je 1 proton na 1.6 neutrona, dok je uvjet stabilnosti lakših jezgri 1 proton na 1 neutron. Stoga svi produkti fisije sadrže višak neutrona kojega se rješavaju  $\beta$  - raspadom. Vrlo često je višak neutrona toliko izražen da je potrebno nekoliko uzastopnih  $\beta$  - raspada da bi nastao stabilni izotop.

Fragmenti fisije imaju vrlo veliku energiju, te izazivaju jaku ionizaciju sredstva, sa dometom u zraku 2 - 2.5 cm. Njihova jaka radioaktivnost je činjenica o kojoj treba strogo voditi računa. Energija oslobođena fisijom samo jedne uranove jezgre iznosi oko 200 MeV - a. Ona se raspodjeljuje približno na slijedeći način:

**Tablica br. 3; Energija oslobođena fisijom**

<b>Kinetička energija fisijskih fragmenata</b>	169 MeV - a
<b>Energija sekundarnih neutrona</b>	5 MeV - a
<b>Energija <math>\beta</math> - zračenja</b>	7 MeV - a
<b>Energija <math>\gamma</math> - zračenja</b>	7 MeV - a
<b>Energija neutrina</b>	12 MeV - a

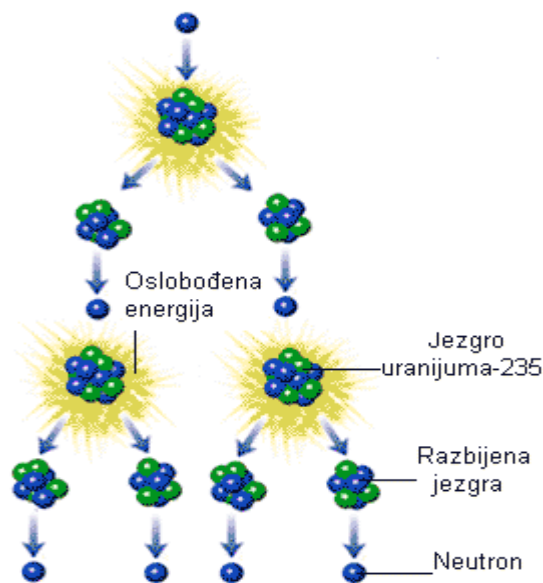
Kao što se vidi, najveći dio oslobođene energije nose fisijski fragmenti u obliku kinetičke energije, koja se u interakciji sa okolnim atomima pretvara u toplinu. Ostatak energije preuzimaju neutroni,  $\beta$  i  $\gamma$  - zrake, te neutriini, pri čemu u reaktoru ostaje sva energija, osim energije neutrina.

Oslobađanje energije je posljedica razlike između energije vezanja po nukleonu jezgre koja se cijepa i energije vezanja po nukleonu lakših elemenata koji nastaju fisijom. Protoni i neutroni su najteži kada su slobodni. Vezanjem u neku jezgru oni gube dio svoje mase. Razlika između mase slobodnog nukleona i njegove mase u jezgri zove se defekt mase. Prilikom spajanja nukleona u jezgru dio njihove mase se pretvara u energiju, koja se oslobađa u trenutku formiranja jezgre. Oslobođena energija se naziva energijom vezanja jezgre. Što je defekt mase veći, veća je i energija vezanja, a jezgra je stabilnija.

### **3.4. Nuklearna lančana reakcija**

Nuklearna lančana reakcija nastaje uslijed samoodržanja nuklearne fisije, tako da fisijski neutroni uzrokuju nastajanje nove fisije. Samoodržanje nuklearne fisije može se ostvariti ako bar jedan od tih neutrona prouzroči novu fisiju u okolnim jezgrama. Tim procesom dolazi do kontinuiranog oslobađanja fisijske energije na kontrolirani način u posebnim uređajima koji se zovu nuklearni reaktori. Temeljni

princip lančane reakcije prilično je jednostavan. Atom urana - 235 apsorbira neutron, koji uzrokuje njegovo cijepanje. Pri cijepanju se oslobađa energija i u prosjeku dva do tri nova neutrona, koji mogu izazvati nova cijepanja. Taj se proces naziva nuklearnom lančanom reakcijom. U nuklearnom reaktoru proces lančane reakcije kontroliramo, jer od dva do tri novonastala neutrona pri cijepanju u prosjeku samo jedan uzrokuje novo cijepanje urana - 235.



**Slika 7;** Nuklearna lančana reakcija.

Nakon cijepanja nastaju dvije vrste neutrona: fisijski i zakašnjeli. Fisijski neutroni se oslobađaju u neposrednom vremenu nakon cijepanja, a zakašnjeli kasnije, i to samo nakon raspada nekih fragmenata, odnosno njihovih potomaka. Iako zakašnjeli neutroni čine samo malen dio, oko 0,65% svih oslobođenih neutrona, imaju presudnu ulogu za regulaciju reaktora. Svi fragmenti i većina njihovih potomaka radioaktivni su i raspadaju se. U prosjeku su do konačnoga stabilnog izotopa potrebna tri do četiri radioaktivna raspada. Većinom je riječ o beta i gama raspadu, pri čemu se oslobađaju beta - čestice, odnosno gama - zrake. Energija koja se oslobađa u tim raspadima naziva se zakašnjelom toplinom.

„Za odvijanje lančane reakcije odlučne su dvije veličine: neutronske prinos ( $k$ ) i trajanje fisijske generacije ( $\tau$ ) u lančanoj reakciji. Trajanjem jedne fisijske generacije naziva se prosječno vrijeme između dviju uzastopnih fisija. Neutronske prinos ( $k$ ) je omjer broja neutrona nastalih u fisijskom procesu prema broju neutrona nastalih u prethodnom fisijskom procesu. Lančana je reakcija nadkritična

ako je  $k > 1$ , podkritična ako je  $k < 1$ . Ako je  $k = 1$ , lančana reakcija održava se trajno s istim brojem fisija u jediničnom obujmu.<sup>3</sup>

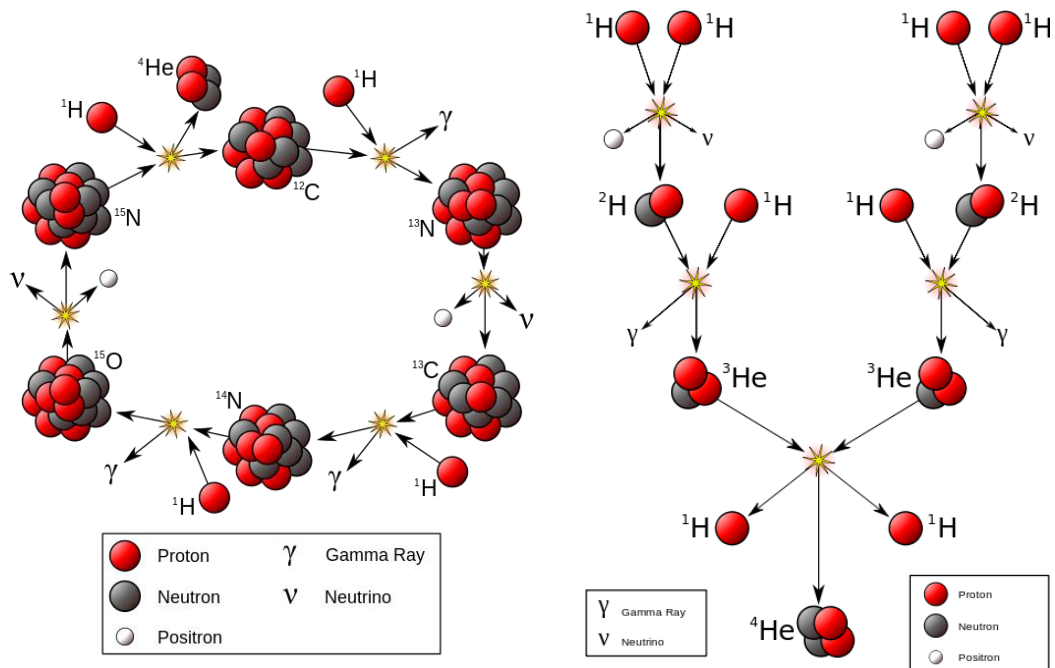
---

<sup>3</sup> Nuklearna energija - mistika i stvarnost; <http://www.nemis.hr/index.php/nuklearne-reakcije/fisija.html>; 01.05.2015.

## 4. NUKLEARNA FUZIJA

Nuklearna reakcija fuzije je reakcija kojom se dvije lake jezgra atoma spajaju u težu jezgru. Ova reakcija oslobađa ogromne količine energije. Takva velika količina energije se u procesu fuzije oslobađa u trenutku kada se dvije lake jezgre spoje. Pri tom spajanju nastaje jezgra čija je masa manja od zbroja masa početnih jezgara. Iako je fuzija energetski pogodna reakcija za lake jezgre, ona se ne može dogoditi pod normalnim uvjetima na Zemlji jer je za tu reakciju potrebno utrošiti veliku količinu energije. Zbog toga što su obje jezgre, koje ulaze u reakciju, pozitivnog naboja, dolazi do jakog elektrostatičkog odbijanja kada se spajaju. Da bi došlo do spajanja dviju lakih jezgara koje nose pozitivan električki naboj potrebno je savladati njihovu odbojnu električnu silu. Tek ako jedna ili obje lake jezgre imaju dovoljno veliku brzinu mogu se približiti dovoljno jedna drugoj da bi jaka privlačna nuklearna sila prevladala odbojnu električnu silu. Medij u kojem lake jezgre mogu postići veliku brzinu, odnosno energiju, je plazma. Plazma se sastoji od pozitivno nabijenih slobodnih iona i slobodnih elektrona jednakog naboja tako da je taj medij električki neutralan. Dovođenjem energije plazmi podiže se temperatura plazme, a time i energija iona postaje dovoljno velika da bi došlo do fuzijske reakcije.

Reakcija fuzije se već milijardama godina odvija u svemiru. Najznačajniji fuzijski proces u prirodi je onaj koji pokreće zvijezde. Za zvijezde veličine Sunca ili manje, dominira niz proton - proton. Niz proton – proton ili p - p niz je jedna od reakcija nuklearne fuzije, kojim zvijezde pretvaraju vodik u helij. P - p niz se može pojaviti samo ako je temperatura, odnosno kinetička energija protona, dovoljno velika da prevlada Coulombovu barijeru i da svlada elektrostatičke sile između istih naboja protona. Kod težih zvijezda, važniji je ciklus CNO. Niz ugljik – dušik – kisik ili CNO niz je druga reakcija nuklearne fuzije, kojom zvijezde pretvaraju vodik u helij. Kod CNO niza, četiri protona (jezgre vodika) se spajaju, koristeći izotope ugljika, dušika i kisika, stvaraju alfa - čestice, dva pozitrona i dva neutrina. Pozitroni će odmah nestati reagirajući s elektronima, oslobađajući energiju u obliku gama - čestica. Neutrini koji pobjegnu odmah, odnose i dio energije. Izotopi ugljika, dušika i kisika služe kao katalizatori za veliki broj procesa.



Slika 8; CNO i p-p niz

#### 4.1. Kriteriji za fuzijske reakcije na Zemlji

Kod fuzije koju stvara čovjek, primarno gorivo nije ograničeno na protone i mogu se koristiti više temperature, tako da se biraju reakcije s velikim presjekom. To podrazumijeva niži Lawsonov kriterij, i zbog toga manji početni napor. Lawsonov kriterij je važna mjera sistema koja definira uvjete koji su potrebni za fuziju, da dostigne paljenje, kada je grijanje plazme zbog fuzije dovoljno da održava temperaturu plazme, s obzirom na gubitke grijanja, bez dovođenja vanjske energije. Drugi problem je nastanak neutrona, koji radiološki aktiviraju strukturu reaktora, ali imaju prednost zbog toga što omogućavaju volumetrijsku ekstrakciju energije fuzije i stvaranje ("oplodnju") tricija. Reakcije pri kojima se ne oslobađaju neutroni zovu se aneutronske reakcije.

Da bi bile korisne kao izvor energije, fuzijske reakcije moraju zadovoljiti nekoliko kriterija. To su:

\*egzotermičnost → ograničava reaktante na one koji se na krivulji energije vezanja nalaze na strani malog broja protona. To čini helij - 4 najuobičajenijim produktom zbog svog izrazito jakog vezanja nukleona u jezgri, iako se također pojavljuju i helij - 3 te tricij.

\*sudjelovanje jezgri s malim Z brojem → to je zbog toga što se mora prevladati elektrostatičko odbijanje prije nego što se atomske jezgre približe dovoljno blizu kako bi se spojile

\*postojanje dva reaktanta → pri bilo kojoj gustoći koja je manja od gustoće zvijezda, sudari tri tijela su vrlo malo vjerojatni. Treba uočiti da su kod unutarnjeg zadržavanja i gustoća i temperatura mnogo veće nego kod zvijezda kako bi se kompenzirala mala vrijednost trećeg parametra Lawsonovog kriterija, vrlo kratko vrijeme zadržavanja.

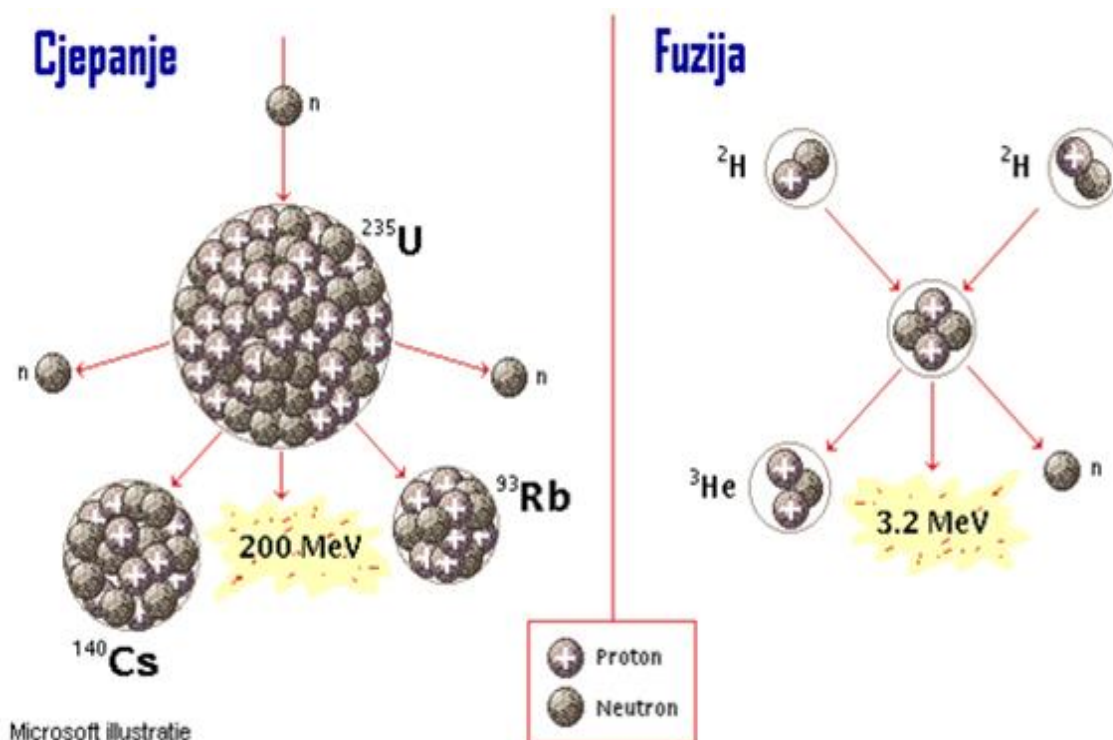
\*postojanje dva ili više produkta → ovo omogućava očuvanje i energije i količine gibanja bez ovisnosti o elektromagnetskoj sili

\*očuvanje i protona i neutrona → presjeci slabe nuklearne sile su premali



## 5. USPREDBA FISIJE I FUZIJE

Nuklearna fuzija i nuklearna fisija su različite vrste reakcija koje oslobađaju velike količine energije zbog prisutnosti snažnih atomskih veza između čestica unutar jezgre. Kod fisije, jezgra se dijeli u dvije ili više manjih, lakših jezgara. Fuzija se za razliku od fisije javlja kada se dvije ili više manjih jezgara zajedno spaja, stvarajući veću, težu jezgru.



Slika 9; Razlika između fisije i fuzije

**Tablica br. 4;** Usporedni prikaz fisije i fuzije

	<b>NUKLEARNA FISIJA</b>	<b>NUKLEARNA FUZIJA</b>
<b>Definicija</b>	Fisija je cijepanje većih atomskih jezgara na dvije ili više manjih.	Fuzija je stapanje dviju ili više lakših jezgara u jednu veću.
<b>Prirodna pojava procesa</b>	Fisijske reakcije obično se ne pojavljuju u prirodi.	Fuzija se događa u zvijezdama, poput Sunca.
<b>Nusprodukti reakcije</b>	Fisija proizvodi mnoge visoko radioaktivne čestice.	Malo radioaktivnih čestica se može dobiti iz fuzijske reakcije, ali ako se fisija koristi kao "okidač", rezultat toga bit će radioaktivne čestice.
<b>Uvjeti</b>	Potrebna je kritična masa tvari i brzi neutroni.	Potrebna je visoka gustoća i visoka temperatura okoline.
<b>Energetski uvjeti</b>	Potrebno je malo energije kako bi u fisijskoj reakciji podijelili jezgru.	Izuzetno velika energija je potrebna da bi dva ili više protona bila dovoljno blizu i prevladala elektrostatski otpor.
<b>Oslobodena energija</b>	Energija koju oslobađa fisija je milijun puta veća od energije u kemijskim reakcijama, ali manja od energije nuklearne fuzije.	Energija nuklearne fuzije je tri do četiri puta veća od energije koju oslobađa fisija.
<b>Nuklearno oružje</b>	Jedna vrsta nuklearnog oružja je fisijska bomba, također poznata kao atomska bomba.	Vrsta nuklearnog oružja je hidrogenska bomba, koja koristi reakciju fisije kao pokretač fuzijske reakcije.
<b>Proizvodnja energije</b>	Fisija se koristi u nuklearnim elektranama.	Fuzija je eksperimentalna tehnologija za proizvodnju energije.
<b>Gorivo</b>	Uran je primarno gorivo koje se koristi u elektranama.	Izotopi vodika (deuterij i tricij) su primarno gorivo koje se koristi u eksperimentalnim fuzijskim elektranama.

## 6. NUKLEARNE ELEKTRANE

Nuklearna elektrana je vrsta termoelektrane koja kao izvor energije koristi toplinu dobivenu fisijama nuklearnog goriva u nuklearnom reaktoru. Toplina koja se dobiva ovim postupkom služi za proizvodnju pare koja pokreće parnu turbinu spojenu na električni generator.

### 6.1. Princip rada nuklearne elektrane

Da bi se oslobodila dovoljna količina energije nužno je koristiti moderatore nuklearne reakcije. „U nuklearnim elektranama kao moderator se najčešće koristi teška voda koja je dobila takav naziv iz razloga što je teža od obične vode za otprilike 10%, ali još se može koristiti i obična voda, grafit, itd. Takva vrsta vode koristi se zbog toga što teška voda sadrži veću koncentraciju deuterija, izotopa atoma vodika. U trenutku sudara slobodnog neutrona i atoma urana U - 235 dolazi do cijepanja atoma U - 235 na dva manja atoma i nekoliko slobodnih čestica uz oslobađanje ogromne količine energije. Teška voda koja se nalazi unutar reaktora skuplja tu energiju u obliku topline i prenosi je do rezervoara koji sadrži običnu vodu.“<sup>4</sup> Obična voda tom se prilikom pretvara u paru koja pokreće turbine rotora generatora električne energije.

### 6.2. Dijelovi nuklearne elektrane

**1. Nuklearni reaktor** je element u kojoj se odvija kontrolirana lančana reakcija nuklearne fisije. Postoji nekoliko podjela energetske nuklearne reaktora. Dije se ili prema tipu fisije koja se koristi, ili prema vrsti goriva, hladioca i moderatora. Fisijom atoma goriva nastaju brzi neutroni, odnosno atomi velike energije. Gorivo je najčešće prirodni ili obogaćeni uran u formi metala ili oksida. Za razdvajanje obaju izotopa urana (urana - 235 i urana - 238) najprimjereniji je uran u plinovitom obliku (UF<sub>6</sub>). Hladioc je medij koji odvodi toplinu nastalu fisijama iz nuklearnog reaktora. Često je hladioc voda (obična ili teška), a može biti i ugljikov dioksid ili helij. Moderator je tvar koja usporava brze neutrone nastale fisijama do termičkih brzina, odnosno energija.

---

<sup>4</sup> Izvori energije; [http://www.izvorienergije.com/kako\\_radi\\_nuklearna\\_elektrana.html](http://www.izvorienergije.com/kako_radi_nuklearna_elektrana.html); 05.05.2015.

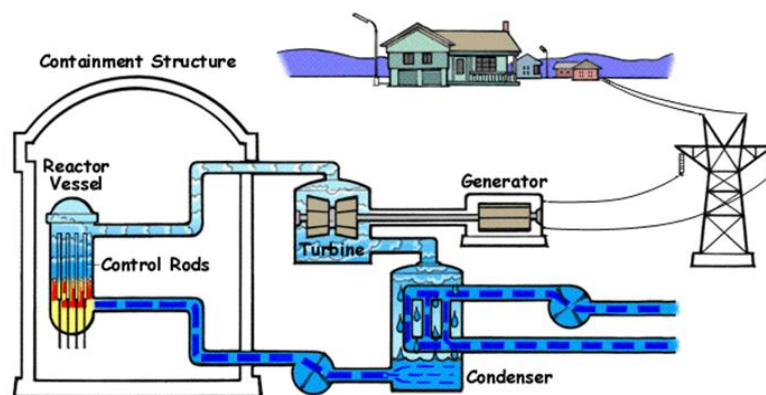
**2. Tlačna posuda** je element kojim se osigurava konstantan tlak primarnog kruga. U osnovi, to je posuda volumena 40 - 60 m<sup>3</sup> opremljena grijačem snage 1 - 2 MW. Zagrijavanjem u tlačniku se može ispariti određena količina vode, čime se podiže tlak i sprječava isparavanje u reaktoru.

**3. Generator pare** je dio nuklearne elektrane u kojem se odvija predaja topline iz primarnog u sekundarni krug i isparavanje sekundarne vode. U donjem dijelu se nalazi nekoliko tisuća U - cijevi kroz koje teče primarna voda. Oko U - cijevi teče voda sekundarnog kruga, koja s njih uzima toplinu. Para nastala vrenjem sekundarne vode odlazi prema gornjem dijelu parogeneratora, gdje se nalaze separatori vlage, koji osiguravaju da u pari koja odlazi prema turbinama nema kapljica tekuće vode.

**4. Parne turbine** → nakon prolaska kroz visokotlačnu turbinu, tlak pare je znatno niži. Iz pare se prije ulaska u niskotlačnu turbinu dodatno separira vlaga, da bi se spriječila oštećenja lopatica turbine. Niskotlačne turbine su dimenzijama veće od visokotlačnih, a ovisno o snazi elektrane postojat će više niskotlačnih turbina.

**5. Električni generatori** → u upotrebi u nuklearnim elektranama su najčešće 4 - polni sinkroni generatori. Električna snaga današnjih nuklearnih elektrana iznosi od 500 do 1500 MW po reaktoru. Na lokaciji nuklearne elektrane se može nalaziti više reaktora, ali na svaki reaktor dolazi po jedan generator.

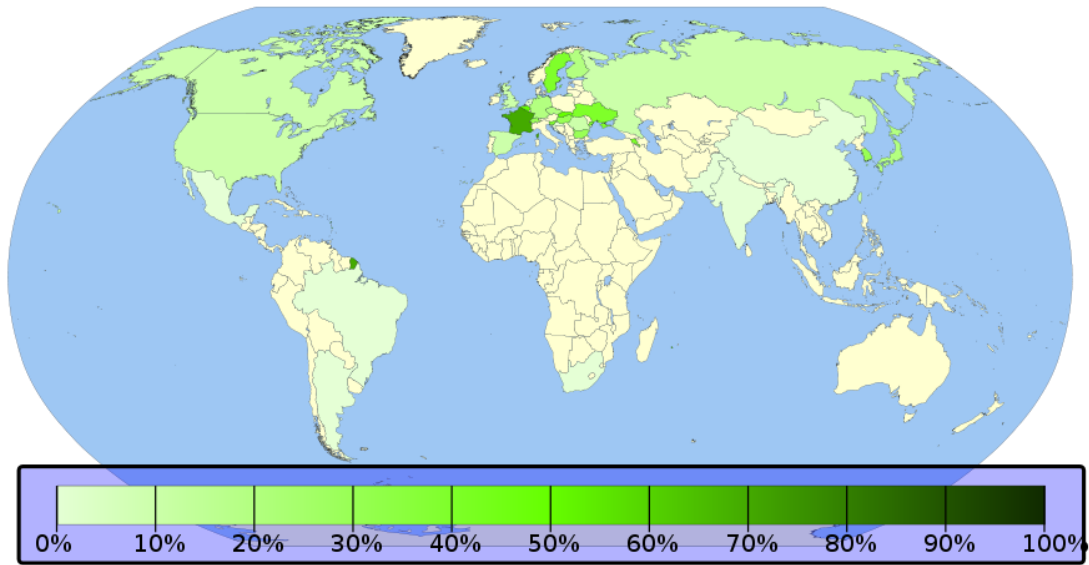
**6. Kondenzator** je izmjenjivač topline u kojem se para koja je prošla kroz turbine kondenzira, kako bi se mogla vratiti u parogenerator i zatvoriti sekundarni krug.



**Slika 10;** Dijelovi nuklearne elektrane

**Tablica br. 5; Nuklearne elektrane u svijetu**

<b>DRŽAVA</b>	<b>MW ELEKTRIČNOG KAPACITETA</b>	<b>UDIO U PROIZVODNJI</b>
Belgija	5 943	51,7%
Francuska	63 236	75,2%
Mađarska	1 880	43,0%
Slovenija i Hrvatska	696	37,9% + 8,0%
SAD	101 229	20,2%
Ukrajina	13 168	48,6%
Slovačka	1,760	53,5%
Njemačka	20 339	26,1%
Kanada	12 679	14,8%
Armenija	376	45,0%



**Slika 11;** Udio nuklearne energije u ukupnoj proizvodnji električne energije

## 7. ZAŠTITA OD ZRAČENJA

„Zračenje ili radijacija je naziv za prijenos energije elektromagnetskim valovima, bez posredstva materije i na daljinu. Brzina širenja elektromagnetskih valova ( $c$ ), valna dužina ( $\lambda$ ) i frekvencija ( $n$ ) povezani su relacijom:

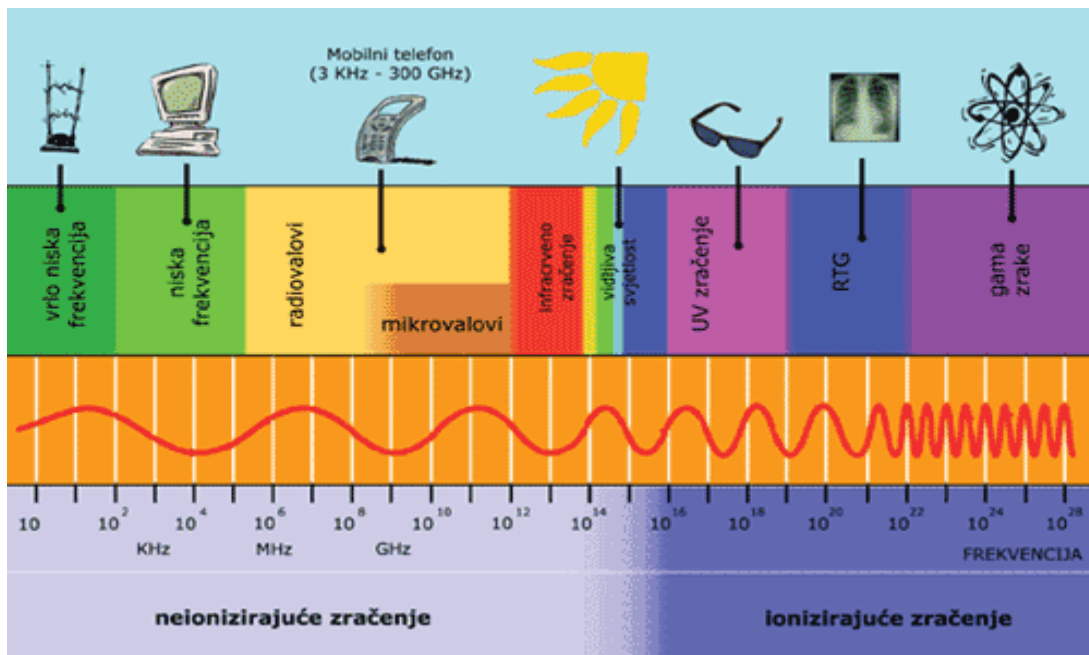
$$c = \lambda \cdot n$$

Prolaskom kroz materiju frekvencija ostaje konstantna, ali se zbog promjene valne dužine mijenja i brzina širenja elektromagnetskih valova.<sup>5</sup> Zračenja koja u našem životnom prostoru mogu smetati energetske stabilnosti našeg tijela u osnovi su magnetske prirode. Ova vrsta utjecaja na organizam dugoročno može negativno utjecati na opće psihičko i fizičko zdravlje. Osnovna smetnja koja nastaje u ljudskom tijelu koje je pod utjecajem štetnih zračenja je najčešće poremećaj struje živčanog sustava i električnog otpora kože, što rezultira nizom nestabilnosti i organskih disfunkcija. Izbjegavanje mjesta štetnih zračenja u vrlo kratkom vremenu u ljudskom tijelu stvara ravnotežu i rebalans električnih stanja unutar živčanog sustava, osigurava da mozak kroz živčani sustav ostvaruje sinkronizaciju rada unutrašnjih organa i organskih sustava, te psihomotoričkih funkcija. Isti pozitivan učinak se može očekivati ukoliko i dalje boravimo u uobičajenom prostoru, a štetna zračenja su stabilizirana nekim od raspoloživih metoda zaštite.

Iako mnogi smatraju da je niskonaponska mreža također štetno tehničko zračenje, to zapravo nije točno. Standardna stambena niskonaponska instalacija ne stvara značajno magnetsko polje koje može utjecati negativno na struju živčanog sustava organizma i stabilnost funkcija tijela. Također je nevažno razmatranje utjecaja prijenosnih telefona fiksne telefonske mreže, zbog relativno neškodljivog utjecaja u omjeru frekvencije i snage radio - emisije kojima oni ostvaruju vezu između telefona i bazne stanice. Utjecaj elektromagnetskog polja kućanskih aparata (hladnjak, perilica rublja, mikrovalna pećnica, TV prijemnik i slično) lokalnog je karaktera, što znači da je prostor od cca 1 metar radijalno oko uređaja pod slabim utjecajem električnog sustava aparata, a više od toga je zanemarivo. Bez obzira na ove općenite prosječne rezultate, poželjno je mjernim uređajima točno izmjeriti utjecaj pojedinog uređaja u njegovoj neposrednoj okolini.

---

<sup>5</sup> Fakultet strojarstva i brodogradnje; <https://www.fsb.unizg.hr/termovel/Zracenje.htm>; 06.05.2015.



Slika 12; Štetna zračenja po frekvencijama

### 7.1. Ionizirajuće zračenje

Ionizirajuće zračenje je pojava prijenosa energije u obliku fotona ili masenih čestica, koje imaju dovoljno energije da u međudjelovanju s kemijskom tvari ioniziraju tu tvar. Ionizirajuće zračenje posljedica je promjene stanja materije u mikrosvijetu. To su promjene u energiji ili u sastavu atoma ili atomske jezgre, pri čemu se emitiraju fotoni ili druge čestice. U međudjelovanju s tvari dolazi do izmjene energije i izmjene strukture ozračene tvari. Takve posljedice mogu biti korisne, ali i vrlo štetne. Ionizirajuće zračenje se može sastojati od snopa čestica visokih energija ili elektromagnetskoga zračenja visoke frekvencije. Ionizirajuće zračenje može imati poguban učinak na molekule tvari, a posebno na biološka tkiva.

Ionizirajuće zračenje je pojava za koju ljudska osjetila nisu razvijena, za razliku od mnogih drugih pojava u prirodi. Izravne posljedice djelovanja ionizirajućeg zračenja na živi svijet većinom su zakašnjele i teško ih je povezati s uzrokom. Čovjek može biti izložen i smrtonosnoj dozi ionizirajućeg zračenja, a da u samom trenutku ozračivanja ništa ne osjeti. Posljedice ozračivanja obično se zapažaju tek nakon nekog vremena, u rasponu od nekoliko sati do nekoliko dana ili čak godina, što ovisi o vrsti i svojstvima tog zračenja.



## 7.2. Toplinsko zračenje

Toplinsko zračenje je elektromagnetsko zračenje svih tijela koja se nalaze na temperaturi iznad termodinamičke temperature koja iznosi 0K. Do toplinskog zračenja dolazi kada se toplina, generirana gibanjem nabijenih čestica unutar atoma, pretvara u elektromagnetsko zračenje.

Postoje četiri glavna svojstva koja karakteriziraju toplinsko zračenje:

1. Kod toplinskog zračenja za jedinstvenu temperaturu javlja se širok spektar frekvencija.
2. Glavna frekvencija (boja) odašiljanog zračenja se povećava kao se povećava temperatura. Na primjer, užareni objekt najviše zrači na dugim valnim duljinama vidljivog spektra, zbog čega izgleda crveno. Ako se dalje zagrijava, glavna se frekvencija pomiče do sredine vidljivog spektra, a širenjem frekvencija navedenog u prvoj točki, objekt postaje bijele boje. Tada kažemo da je objekt bijelo vruć. To je Wienov zakon pomaka.
3. Ukupan iznos zračenja, na svim frekvencijama, jako brzo raste kako raste temperatura. Objekt na temperaturi kuhinjske peći zrači 16 puta više energije po jedinici površine. Objekt na temperaturi užarene žarne niti u žaruljama sa žarnom niti zrači 10 000 puta više energije po jedinici površine. Ukupni intenzitet zračenja u šupljini koja sadrži crno tijelo koje je u termodinamičkoj ravnoteži, raste sa četvrtom potencijom apsolutne temperature, Stefan - Boltzmannov zakon.
4. Toplinsko zračenje u šupljini, koja je u termodinamičkoj ravnoteži, je izotropno i nepolarizirano.

**Tablica br. 6;** Stupnjevi i boje

°C	PRIPADAJUĆA BOJA
480	zagasiti crveni sjaj
580	tamno crvena
730	izrazito crvena, skoro narančasta
930	tamno narančasta
1100	blijedo žuto narančasta
1300	žuto bijela
> 1400	bijela (iz daljine žućkasta)

Prekomjerno toplinsko zračenje najviše djeluje na centralni živčani sustav. Prevelikim izlučivanjem tekućine iz organizma izlučuju se i razne soli iz tkiva, što je uzrok razdražljivosti, smanjenja pažnje, brzine reakcije i slično. Najjednostavniji oblik zaštite od toplinskog zračenja je udaljavanje od izvora topline. Ako to nije moguće, trebaju biti poduzete tehničke mjere zaštite koje se sastoje u odvajanju izvora zračenja. To se može postići raznim vrstama paravana. Ako je vrsta posla takva da je nemoguće postaviti paravane, potrebno je primijeniti zaštitnu odjeću načinjenu od materijala koji odbija zračenje (svijetle boje, metalizirana platna, i sl.). Odjeću kao zaštitno sredstvo od toplinskog zračenja ne treba smatrati apsolutno sigurnom, jer ona u izvjesnim okolnostima može imati i negativno djelovanje zbog toga što sprječava odavanje topline od ljudskog organizma. Stoga zaštitnu odjeću treba primjenjivati samo ondje gdje je to izričito propisano i onda kada se za to ukaže specijalna potreba.

### **7.3. Elektromagnetsko zračenje**

Sva ugrijana tijela zrače elektromagnetske valove. Svako tijelo se sastoji od atoma. Prilikom grijanja nekog tijela, u njega se ulaže energija i atomi počinju titrati jer prelaze u pobuđena stanja (energija im se povećava). Jezgre atoma nose električne naboje, pa tako pri titranju atoma zapravo dolazi do titranja električnih

naboja. U točkama prostora oko električnog naboja uvijek postoji električno polje, a ako se električni naboj giba, onda postoji još i magnetsko polje. Time, električni naboj koji titra predstavlja izvor elektromagnetskog vala.

Elektromagnetski valovi imaju četiri važna svojstva:

1. Za razliku od ostalih valova koji se šire nekim sredstvom, elektromagnetski se valovi mogu širiti vakuumom.
2. Titrajuća električna i magnetska polja u linearno polariziranom elektromagnetskom valu su u fazi.
3. Smjerovi električnoga i magnetskog polja u elektromagnetskom valu okomiti su jedan na drugi i oba su okomita na smjer širenja vala, što ih čini transverzalnim valovima.
4. Brzina elektromagnetskih valova ovisi samo o električnim i magnetskim svojstvima medija kojim se šire, a ne ovise o amplitudi elektromagnetskog polja.

Brojna istraživanja uglednih znanstvenika i institucija ukazala su na činjenicu da elektromagnetsko zračenje uzrokuje efekte koji utječu na pojavu zloćudnih tumora, leukemiju, aritmiju srca, neplodnost, povišeni krvni tlak, poremećaj vida, spavanja i pamćenja, glavobolje, umor, iritaciju i svrbež kože, nervozu, napetost, nemir i brojne druge bolesti.

#### **7.4. Infracrveno i ultraljubičasto zračenje**

Infracrveno zračenje ili infracrvena svjetlost obuhvaća elektromagnetsko zračenje s valnim duljinama većim od valne duljine vidljive crvene svjetlosti, a manjim od valne duljine radiovalova. To je raspon od približno 750 nm do 3 mm. Te valove emitiraju zagrijana tijela i neke molekule kada se nađu u pobuđenom stanju. Dobro ih apsorbira većina tvari, pri čemu se energija infracrvenog zračenja pretvara u unutarnju energiju što rezultira porastom temperature.

Ultraljubičasto zračenje obuhvaća elektromagnetsko zračenje s valnim duljinama manjim od onih koje ima vidljiva svjetlosti, ali većim od onih koje imaju meke X - zrake, u rasponu od 10 nm do 400 nm. Iako ultraljubičasto zračenje ima važnu korisnu ulogu u stvaranju vitamina D koji je nužan za ravnotežu kalcija u

organizmu, ima i svojih štetnih djelovanja. Pozornost na moguće štetno djelovanje Sunčeva zračenja na ljudsku kožu valja obratiti kad djeluje ultraljubičasto zračenje tipa UVA i UVB. UVC zračenje apsorbira ozon u gornjim slojevima atmosfere i uglavnom ne dopire do površine Zemlje, osim kod bitno oštećenog ozonskog sloja (tzv. ozonske rupe). Ultraljubičasto zračenje UVB, koje ne prodire u dublje slojeve kože, izaziva akutno oštećenje kože u obliku opekline, koje dovodi do degeneracije kože, njezina starenja, a može izazvati i rak kože zbog oštećenja gena za obnovu stanica kože. Ultraljubičasto zračenje tipa UVA stvara spontanu i neposrednu pigmentaciju kože povećanom proizvodnjom melanina. Prodire u dublje slojeve kože uzrokujući oštećenja i mogući razvoj raka kože u kasnijoj fazi života.

## 8. ZAKLJUČAK

Na temelju napisanog završnog rada mogu zaključiti da su nuklearne reakcije poput fisije i fuzije veoma važne za razvoj budućnosti. Neobnovljivih izvora energije, poput nafte i prirodnog plina, na našoj je planeti sve manje i upravo se zbog toga treba posvetiti proizvodnji energije pomoću ovih nuklearnih reakcija. Za sada je, na Zemlji, moguće iskorištavati samo energiju koja se oslobađa prilikom reakcije fisije, što je dovelo do toga da nuklearna energija danas proizvodi 17% električne energije u svijetu, odnosno 7% globalne energije. U svijetu je danas u pogonu 441 nuklearnih elektrana, a taj broj se stalno povećava. Nuklearna energija transformira se u unutarnju energiju nositelja energije, a zatim u mehaničku i električnu energiju pomoću parnih turbina i električnih generatora. Pri tome nuklearni reaktori preuzimaju funkciju parnih kotlova. Visok udio nuklearne energije u ukupnoj proizvedenoj električnoj energiji je posljedica visoke tehnologije i gotovo nikakvih ispuštanja stakleničkih plinova. Dobro konstruirane nuklearne elektrane pokazale su se pouzdanima, sigurnima, ekonomski i ekološki prihvatljivima. S reakcijom fuzije, ipak postoji malo poteškoća. Provedena su brojna istraživanja, ali niti jedno od njih nije dalo odgovor na pitanje „Kako strpati Sunce u kutiju?“ Od početka fuzijskih istraživanja znanstvenici su morali savladati brojne različite izazove. Tako su, između ostalog, morali smisliti kako plazmu zagrijati na temperature koje su deset puta veće nego u središtu Sunca ili kako izolirati tu vruću plazmu sa zidova komore reaktora, a da se ti zidovi ne rastope. Zahvaljujući naporima znanstvenika u istraživanjima fuzije diljem svijeta mnogi od ovih problema ipak su uspješno riješeni. Ipak su još uvijek potrebna brojna istraživanja kako bi se uspješno savladali preostali problemi koji stoje na putu dobivanja najčišćeg izvora energije. Većina ciljeva u sklopu plana dobivanja energije reakcijom fuzije vezana je uz uspješnu realizaciju projekta termonuklearnog eksperimentalnog reaktora ITER koji će omogućiti testiranje cijelog niza tehnologija potrebnih za rad fuzijske elektrane. Jedini problem koji je nemoguće riješiti jest zračenje. Istraživanja su pokazala da su ljudi koji žive blizu nuklearnih elektrana skloniji oboljenju od onih koji se ne nalaze u njihovoj blizini. Zbog toga je, takve vrste elektrana, potrebno sagraditi u nenaseljenim područjima. Isto tako kako su izloženi ljudi koji žive u blizini, zračenju su izloženi i radnici koji obavljaju poslove u nuklearnim elektranama, samo u većoj mjeri. Pri izgradnji

nuklearnih elektrana važno je uzeti u obzir sve mjere zaštite, kako bi se rizik od oboljenja radnika ili bilo kakve nesreće smanjio na minimum. Zaštita zahtijeva primjenu mnogih specijalnih mjera, počevši od postupaka pri čuvanju izvora zračenja do otklanjanja otpadnog radioaktivnog materijala. Osoblje koje radi s izvorima zračenja mora biti pod stalnim nadzorom, s obzirom na veličinu primljenih doza zračenja, kao i pod redovitim zdravstvenim nadzorom.

## LITERATURA

- [1] Čuda prirode;  
<http://cudaprirode.com>; 06.05.2015.
- [2] de - Lisjak, Obnovljivi izvori;  
<http://obnovljivi-izvori.hr/energija>; 06.05.2015.
- [3] Diffen;  
[http://www.diffen.com/difference/Nuclear\\_Fission\\_vs\\_Nuclear\\_Fusion](http://www.diffen.com/difference/Nuclear_Fission_vs_Nuclear_Fusion);  
02.05.2015.
- [4] e-kako.hr;  
<http://e-kako.geek.hr/znanost/fizika/kako-nastaje-nuklearna-energija/>;  
07.05.2015.
- [5] Nuklearna elektrana Krško;  
<http://www.nek.si/hr/>; 05.05.2015.
- [6] Nuklearna energija - mistika i stvarnost;  
<http://www.nemis.hr/index.php/nuklearne-reakcije/uvod-u-nuklearne-reakcije.html>; 13.04.2015.
- [7] Nuklearna fizika;  
<http://www.znanje.org/i/i21/01iv08/01iv0807/Pocetna.htm>; 20.04.2015.
- [8] PMF;  
[http://www.phy.pmf.unizg.hr/~matkom/nuas/nuas\\_skr\\_03.pdf](http://www.phy.pmf.unizg.hr/~matkom/nuas/nuas_skr_03.pdf); 22.04.2015.
- [9] Sveučilište u Rijeci - Odjel za fiziku;  
<http://www.phy.uniri.hr/~jurdana/nuklearna.pdf>; 05.05.2015.