Nuklearne reakcije

Jaroš, Tatjana

Undergraduate thesis / Završni rad

2015

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Department of Chemistry / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Odjel za kemiju**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:182:314139

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-28**

Repository / Repozitorij:

Repository of the Department of Chemistry, Osijek







Sveučilište J.J. Strosmayera u Osijeku

Odjel za kemiju

Preddiplomski studij kemije

Tatjana Jaroš

Nuklearne reakcije

Mentorica: doc. dr. sc. Martina Medvidović – Kosanović

Osijek, 2015.

SAŽETAK

Nuklearne reakcije su detaljno istraživane od svog otkrića, kojemu je prethodilo otkriće radioaktivnosti. Dvije su vrste nuklearnih reakcija: fisija i fuzija i uključuju transmutaciju jezgre jednog elementa u jezgre dugih elemenata. U ovom radu opisano je korištenje fisije i fuzije s naglaskom na energetsko iskorištavanje. Fisija je trenutno glavni izvor energije, no fuzija se intenzivno istražuje jer je isplativija.

KLJUČNE RIJEČI

Nuklearne reakcije, radioaktivnost, nuklearni raspad, fisija, fuzija

ABSTRACT

Nuclear reaction have been widely explored since their discovery, which preceded the discovery of radioactivity. There are two types of nuclear reaction: fission and fusion, they are consisted of trasmutation of element core. In this work it is described usage of fission and fusion focusing on use in industry of energy. Fission is main source of energy so far, while fusion is yet exploring because it is more effective.

KEY WORDS

Nuclear reactions, radioactivity, nuclear decay, fission, fussion

Sadržaj

1. UVOD....4
2. RADIOAKTIVNOST....4
2.1 Nuklearni raspad....5
2.1.1 Alfa raspad....5
2.1.2 Beta raspad....5
2.1.3 Gama raspad....6
3. NUKLEARNA FISIJA....8
3.1 Nekontrolirana lančana reakcija....10
3.2 Kontrolirana lančana reakcija – Nuklearni reaktor....10
4. NUKLEARNA FUZIJA....12
4.1 Termonuklearna bomba....13
4.2 Fuzijski reaktor – magnetno kontrolirana fuzija....14
4.2.1 Tokamak - ITER....15
4.3 Fuzijski reaktor – inercijski kontrolirana fuzija....18
5. ZAKLJUČAK....19
6. LITERATURA....20

1. UVOD

Nuklearne reakcije su reakcije u kojima sudjeluje jezgra atoma u kojoj se nalaze protoni i neutroni, dok elektroni u elektronskom oblaku rijetko ulaze u samu reakciju.

Tokom nuklearne reakcije jezgra jednog atoma prelazi u jezgru drugog atoma i dolazi do značajne promjene u masi.

Dok stupanj odvijanja kemijskih reakcija ovisi o temperaturi, koncentraciji reaktanata, katalizi i samoj smjesi, stupanj odvijanja nuklarnih reakcija ovisi isključivo o broju jezgri slobodnih za reakciju, a ne o uvijetima potrebnim za kemijsku reakciju.

Tokom tansmutacije jednog elementa u drugi može nastati nestabilnija jezgra koja je radioaktivna. Radioaktivna jezgra, odnosno element emitira tri vrste zraka: α, β i γ zrake.

2. RADIOAKTIVNOST

Radioaktivni elementi su elementi koji isijavaju α, β i γ zrake, a ta pojava se zove prirodna radioaktivnost.

Ako zrake radioaktivnog elementa, koji se nalazi u olovnom spremniku, podvrgnemo djelovanju jakog magneta u vakuumu, doći će do njihovog otklona. β - zrake su otklonjene prema negativno nabijenoj ploči, one predstavljaju jezge helijevog atoma, α - zrake se otklanjaju slabo prema pozitivno nabijenoj ploči i predstavljaju elektrone, dok se γ - zrake ne otklanjanju, one su elektromagnetski valovi.

Pojavu emitiranja zraka prvi je uočio francuski fizičar Antonie – Henri Becquerel. On je otkrio da uranijeve soli, iako smještene u mraku i zamotane u papiru, spontano emitiraju prodorne zrake koje se mogu vidjeti na fotografskom papiru, ali ne odgovaraju X-zrakama. Otkriće novog fenomena radioaktivnosti mu je donijelo Nobelovu nagradu.

Marie Sklodowska Curie i Pierre Curie daljnjim istraživanjem radioaktivnosti došli su do otkrića polonija i radija koji su radioaktivniji od urana iz rude uraninita.

Također Marie Curie je došla do zaključka da je intenzitet radioaktivnog zračenja proporcionalan koncentraciji elemenata u mineralu, a ne prirodi minerala ili njegovom sadržaju.

2.1 Nuklearni raspad

Kada se jezgra radioaktivnog elementa raspada, nastaje nova jezgra manje energije, dok se preostali dio energije oslobodi u obliku zračenja.

Do ovog otkrića je došao Ernest Rutheford, kada je bombardirao jezgru dušika α - česticama, jezgra se tada raspala na jezgru vodika i izotopa kisika O^{17} . To je bila prva umjetno dobivena nuklearna reakcija.

$$^{14}_{7}N + ^{3}_{2}He \longrightarrow \ ^{17}_{8}O + ^{1}_{1}H$$

Jednadžba Ruthefordove reakcije

2.1.1 Alfa raspad

α – raspad uključuje gubljenje čestice iz jezgre, početnoj jezgri se za svaku česticu koja je emitirana, maseni broj smanjuje za 4, a atomski za 2.

$$^{226}_{88}Ra \longrightarrow ^{222}_{86}Ra + ^{4}_{2}\alpha$$

Reakcija α - raspada

α – raspad je najčešći kod teških, nestabilnih jezgara jer nastaje stabilnija jezgra.

Alfa raspad je našao svoju upotrebu u modernom svijetu. Pojedini alfa emiteri se koriste u detektorima dima, nuklearnoj medicini pa čak i u termonuklearnim generatorima koji koriste radioizotope, (RTG). Jedan od takvih RTG se nalazi u NASA-inim sondama Voyager 1 i 2 koje imaju misiju istraživanja svemira čak i van našeg Solarnog sustava.

2.1.2 Beta raspad

β – raspad se sastoji od tri tzv. vrste raspada: β^- raspad, β^+ emisija i i elektronski zahvat.

1. β^- raspad se odvija kada jezgra izbaci β^- česticu i dolazi do pretvorbe neutrona u proton, novonastali proton ostaje u jezgri, a β^- čestica se izbaci iz jezgre, maseni broj ostaje isti, a atomski se poveća za 1, nastaje atom većeg atomskog broja.

$$^{1}_{0}n \longrightarrow {}^{1}_{1}p + {}^{0}_{-1}\beta$$

Opća jednadžba β^- raspada, pretvorba neutrona u proton

$$^{14}_{6}C \longrightarrow {}^{14}_{7}N + {}^{0}_{-1}\beta$$

Primjer β^- raspada

2. β^+ emisija još se naziva i emisija pozitrona. Pozitron je antičestica elektrona, ima istu masu kao i elektron ali nosi suprotni naboj. Pozitronska emisija uključuje pretvorbu protona u neutron i izbacivanje pozitrona iz jezgre. Novonastala jezgra ima isti maseni broj, a atomski broj je za 1 manji.

$$^{11}_{6}C \longrightarrow {}^{11}_{5}B + {}^{0}_{1}\beta$$

Jednadžba pozitronske emisije

3. Elektronski zahvat se događa kada jezgra dođe u interakciju sa elektronom iz elektronskog oblaka, proton se tada pretvara u neutron. Prazna orbitala se popuni prijelazom elektrona iz orbitala više energije. Iako kod elektronskog zahvata maseni broj ostaje isti, a atomski se smanji za 1 kao i kod emisije pozitrona, sam proces se razlikuje.

$$^{1}_{1}p^{+} + {}^{0}_{-1}e \longrightarrow +{}^{1}_{0}n$$

Opća jednadžba elektronskog zahvata

2.1.3 Gama raspad

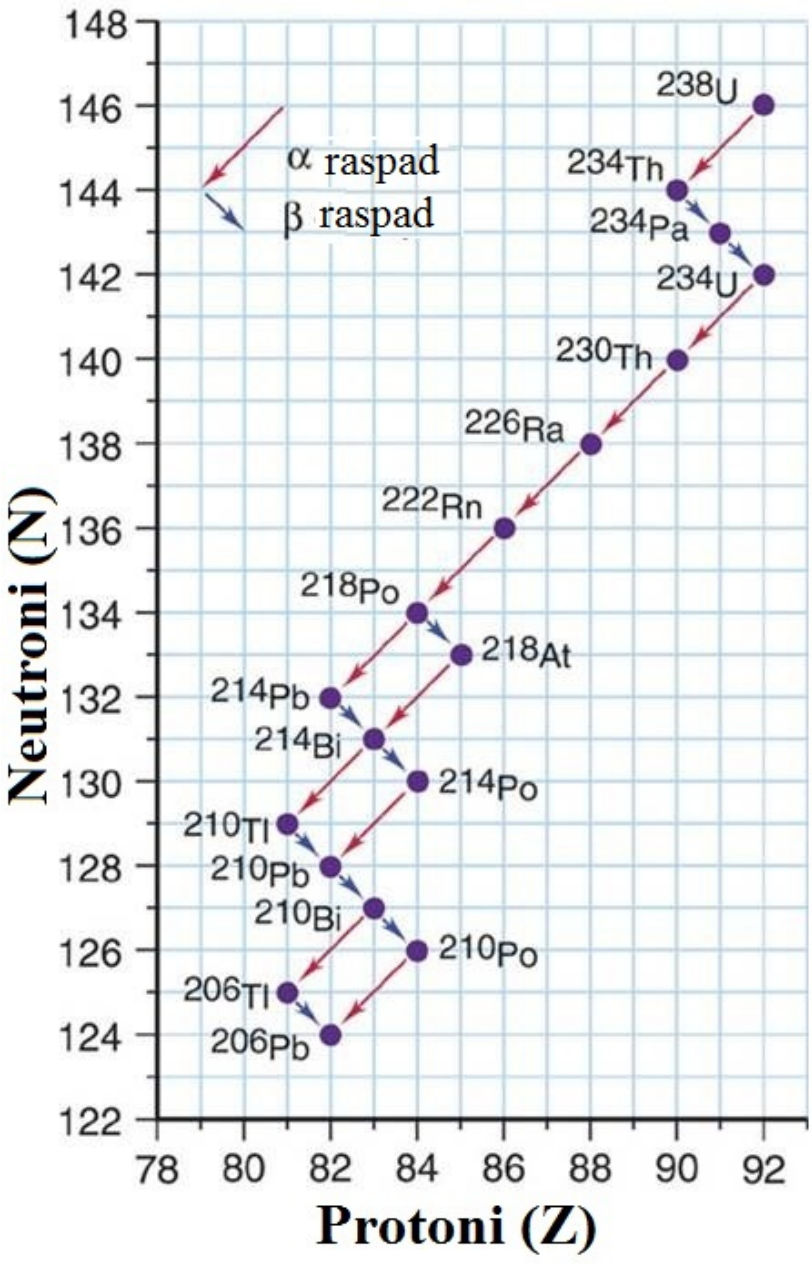
Kod γ – raspada ne dolazi do promjeni ni atomskog broja ni masenog već do emisije energije. Događa se kada je jezgra u nuklearnim reakcijama u pobuđenom stanju, gama raspad prati duge radioaktivne raspade, najčešće beta raspad. Kada je jezgra u pobuđenom stanju ona emitira γ – fotone koji se nazivaju gama zrakama i tako se jezgra vraća u početno stanje.

$$^{99}_{43}Tc \longrightarrow {}^{99}_{44}Pb + {}^{0}_{-1}\beta \text{ (nekoliko } \gamma \text{ – zraka emitirano)}$$

Jednadžba gama raspada

Gama zrake se koriste u senzorima prilikom iskapanja tla, rudarenja, općenito u industriji, od kemijske do prehrambene. Koriste se u medicini za liječenje određenih vrsta rakova, nuklearnoj medicini i određenim snimanjima.

Prirodni radioaktivni elementi se raspadaju da bi nastala stabilnija jezgra određenom kombinacijom α i β – raspada, a većinom ih prati i γ – raspad. U prirodi su prisutna tri niza raspada radioaktivnih elementata: uran – radijev niz, torijev i neptunijev niz. Svaki od tih nizova završava sa stabilnim izotopom olova.



Slika 1. Uranov niz.

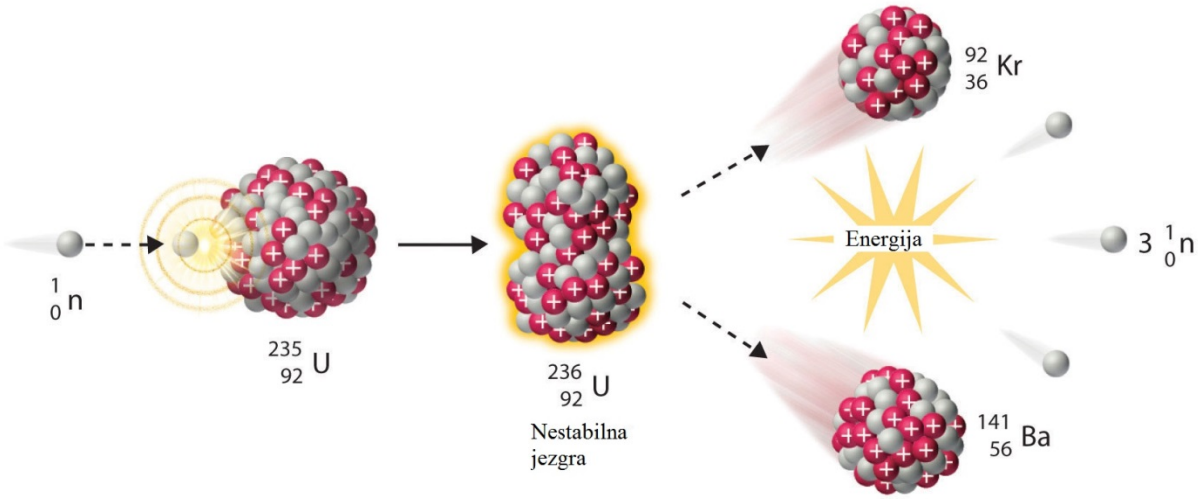
3. NUKLEARNA FISIJA

Fisija je nuklearna reakcija u kojoj dolazi do raspada jezgre jednog atoma na dvije manje jezgre drugih atoma uz oslobađanje određene količine energije i emisiju neutrona. Oslobađanje energije je posljedica nastajanja dvije lakše jezgre iz jedne teže.

Kod nuklearne reakcije prisutan je zakon očuvanja energije. Kada imamo reakciju u kojoj jedna jezgra trasformacijom prelazi u drugu uz emisiju čestice jednadžba očuvanja energije izgleda: $m_a c^2 + M_x c^2 + E_{kp} = m_b c^2 + M_y c^2 + E_{kk}$, M_x, M_y, m_a i m_b predstavljaju mase jezgara i čestice koje sudjeluju, odnosno nastaju u reakciji,a E_{kp} i E_{kk} su početne i konačne kinetičke energije, brzina svjetlosti je označena sa c. Razlika u kinetičkim energijama je $Q= E_{kk} - E_{kp}$. U fisiji ona ima pozitivnu vrijednost i znači da se energija oslobađa. Nadalje, iz zakona očuvanja energije je vidljivo da se dio mase određene jezgre pretvara u energiju.

Smanjenje mase, koje se manifestira kada se nukleoni spajaju u jezgru naziva se defektom mase. Pomoću navedenog defekta, može se izračunati energija vezanja jezgre. Energija vezanja jezgre je energija koje je oslobođena, pri spajanju nukleona u jezgri.

Lančana reakcija, odnosno samoodrživi proces se događa kad je u pitanju uranij atomske mase 235. Kada se ^{235}U bombardira neutronima nastaje pobuđena jezgra koja se zatim raspada na dvije različite jezgre, ^{92}Kr i ^{141}Ba, tri neutrona i veliku količinu energije, Raspad se događa u vremenu od 10^{-14} sekundi. Jedan mol ^{235}U raspadom proizvede $2.1*10^{13}$ J energije, što je otprilike milijardu puta više nego što se dobije izgaranjem 0,22 kg ugljena.



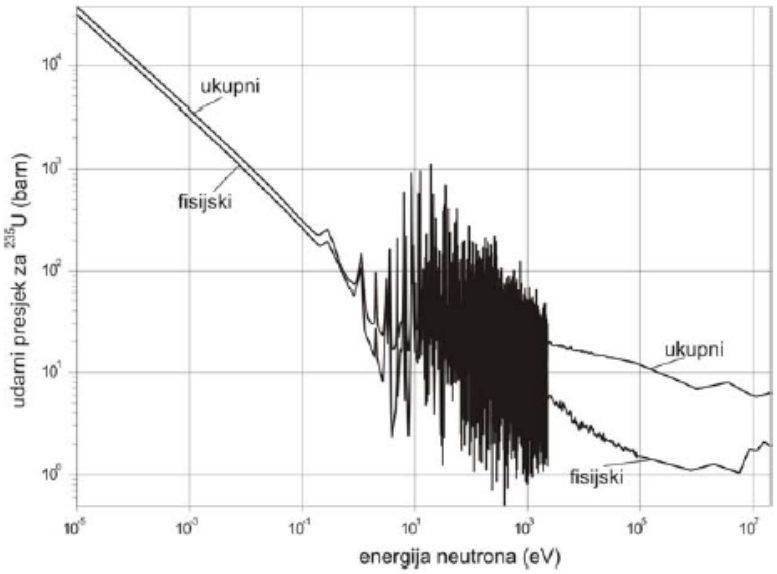
Slika 2. Model fisijskog raspada ^{235}U.

Prikupljanje oslobođene energije u obliku topline omogućava energetsko korištenje fisije. Kod samoodržive lančane, fisijske reakcije, nakon nastanka dvije nove jezgre, oslobođeni neutroni dalje se sudaraju sa drugom jezgrom urana, raspad te jezgre ponovno oslobađa neutrone, koji se dalje sudaraju s jezgrama, itd. Oslobođeni neutroni se nazivaju fisijskim neutronima, i njihov broj ovisi o energiji neutrona, koji je uzrokovao fisiju. Količina oslobođene energije se povećava svakom novom fisijom.

Oslobođeni neutroni se nazivaju fisijskim neutronima, i njihov broj ovisi o energiji neutrona, koji je uzrokovao fisiju.

Samoodrživost lančane reakcije ovisi o masi uzorka, kada je uzorak urana dovoljno velik, oslobođeni neutroni pogađaju drugi fisibilni uzorak prije nego „izlete“ iz uzorka. Minimalna količina uzorka potrebna za samoodrživost nuklearne reakcije zove se kritična masa.

Vjerojatnost odvijanja fisije ovisi o udarnom presjeku, σ. Udarni presjeci dosta ovise o energiji neutrona. Kod, već opisanog urana, ^{235}U , dva nuklida[1] se cijepaju pri vrlo malim energijama neutrona, manjim od 1 MeV. Nukleotid s navedenim svojstvom se naziva fisibilnim. Kada se neki fisibilni materijal obasja neutronima, broj fisija bit će proporcionalan udarnom presjeku.



Slika 3. Udarni presjek, σ, za jezgru ^{235}U.

[1] Atom kojemu je točno poznat atomski broj, Z, i ukupan broj protona i neutrona u jezgri.

Kada neutron „udari“ u fisibilnu jezgru ona se pobuđuje, povećavaju se vibracije i jezgra prelazi iz kružnog oblika u izduženi eliptoidni sa suženjem u jednom djelu. Kako jezgra nastoji poprimiti što manji oblik što manje površine dolazi do pucanja veze u suženom dijelu i nastaju dvije jezgre.

3.1 Nekontrolirana lančana reakcija

Nekontrolirana lančana reakcija daje mogućnost izrade atomske bombe.

1941. godine pokrenut je projekt Manhattan, u SAD-u, vodeći fizičar je bio Robert Oppenheimer, i veliki napori su uloženi da se napravi bomba na temelju nuklearne fisije.

Atomska bomba je funkcionirala na temelju da se mala eksplozija TNT-a, subkritične mase fisibilnog materijala spojila na kritičnu masu i tako omogućila lančanu reakciju.

3.2 Kontrolirana lančana reakcija – Nuklearni reaktor

U nuklearnom reaktoru, energija se dobiva reguliranom fisijom. Nuklearna elektrana zagrijavanjem proizvodi paru koja pokreće turbine koje zatim proizvode električnu energiju. Nuklearna elektrana, iako je proizvodnja u konačnici ista kao i kod elektrana na ugljen, puno je čišća i proizvodi se manje otpada.

Lančana reakcija ovisi i o faktoru multiplikacije, k, što je omjer između broja fisija jedne i broja fisija prethodne fisijske generacije, te o trajanju fisijske generacije, τ, prosječno vrijeme između dvije uzastopne fisije. Da bi se lančana reakcija odvijala trajno faktor multiplikacije mora biti 1.

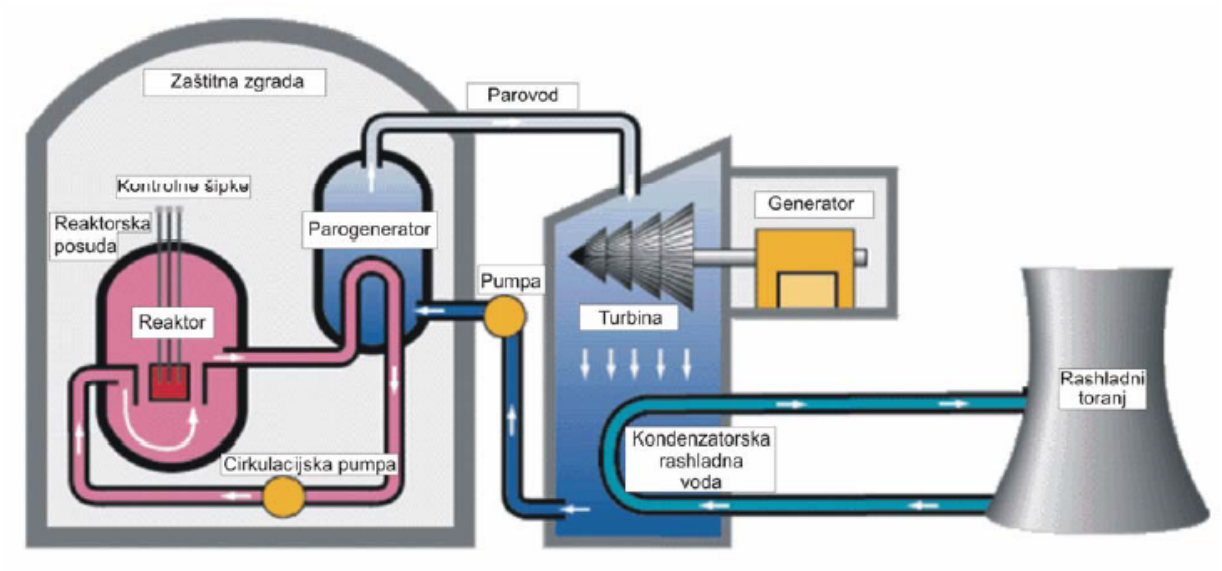
Nuklearni reaktor se sastoji od jezgre u kojoj se događa zagrijavanje. U jezgri se nalaze šipke goriva koje se sastoje od uranijevog(IV) oksida postavljene u cijev od cirkonijeve slitine koja je otporna na koroziju. Prirodni uran je potrebno obogatiti fisibilnim izotopom, 3 – 4% da bi reakcija bila samoodrživa.

Između šipki goriva nalaze se borove ili kadmijeve šipke za regulaciju snage, one imaju mogućnost upijanja neutrona, kada se postave u položaj direktno između gorivih šipki reakcija se usporava jer manje neutrona dolazi u dodir sa uranovim jezgrama, no kada se one pomaknu reakcija se ubrzava.

Neutroni koji napuste gorive šipke sudaraju se sa reflektorima koji su napravljeni od berilijeve slitine, oni ne upijaju neutrone, te ih odbijaju nazad na gorive šipke što ubrzava reakciju.

Između gorivih i regulacijskih šipki nalazi se i moderator koji je zaslužan za usporavanje neutrona, što se sporije neutroni kreću veća je šansa da će doći do sudara s uranovom jezgrom. Kod modernijih elektrana moderator je ujedno i hladilo, tekućina koja nastalu toplinu prevodi u mjesto za proizvodnju pare. U lakovodnom reaktoru kao hladilo se koristi voda H_2O, dok se kod teškovodnih reaktora koristi D_2O. Prednost ima D_2O jer deuterij apsorbira puno manje neutrona, i tako ih više ostaje slobodno za fisiju, i samim time kod teškovodnih reaktora može se koristiti manje obogaćeni uran.

Hladilo nastalu toplinu prevodi, pomoću pumpi, do rezervoara gdje se toplina pretvara u paru, pokreće turbine i rad generatora. Para se nakon toga kondenzira u tornjevima za hlađenje i vraća natrag u rezervoar.



Slika 4. Shema rada nuklearne elektrane.

Osim opisanog tlačnog reaktora, kakav je u nuklearnoj elektrani Krško, postoje još i kipući reaktori, kod kojih se voda pretvara u paru već u prolazu kroz reaktor i vodi se direktno u turbinu, a nakon pokretanja turbine se kondenzira i vraća u reaktor.

Tlačni teškovodni reaktor koristi tešku vodu kao hladilo i taj reaktor omogućuje korištenje neobogaćenog urana.

Plinski reaktor za hladilo koristi plinoviti CO_2 i grafitni moderator, a gorivo je metalni oblik urana.

Gorivo za nuklearni reaktor je uran koji se mora iz rude u zemlji prevesti u oblik prikladan za korištenje u elektrani. To se postiže tako da se ruda melje i drobi, a uranovi minerali se otope kiselinom ili lužinom, dobiveni pročišćeni uran zove se žuti kolač, koji se dalje pretvara u uranov heksafluorid koji se obogaćuje plinskom difuzijom ili centrifugom. Kako je za reakciju potreban uranov(IV) dioksid, žuti kolač se prerađuje, sabija u tablete i termički obrađuje. Prilikom raspada svake fisibilne jezgre goriva proizvodi se oko 200 MeV energije.

Odvijanjem fisije gorivo se troši i nastaje radioaktivni otpad koji se treba odgovorno zbrinuti. Zatvoreni ciklus zbrinjavanja, ujedno i najzastupljeniji, je stavljanje istrošenog goriva u geološke formacije. Drugi način, otvoreni ciklus, koji je skuplji, je u biti prerada u kojoj se iz istrošenog goriva odvajaju, još uvijek prisutni, fisibilni nuklidi.

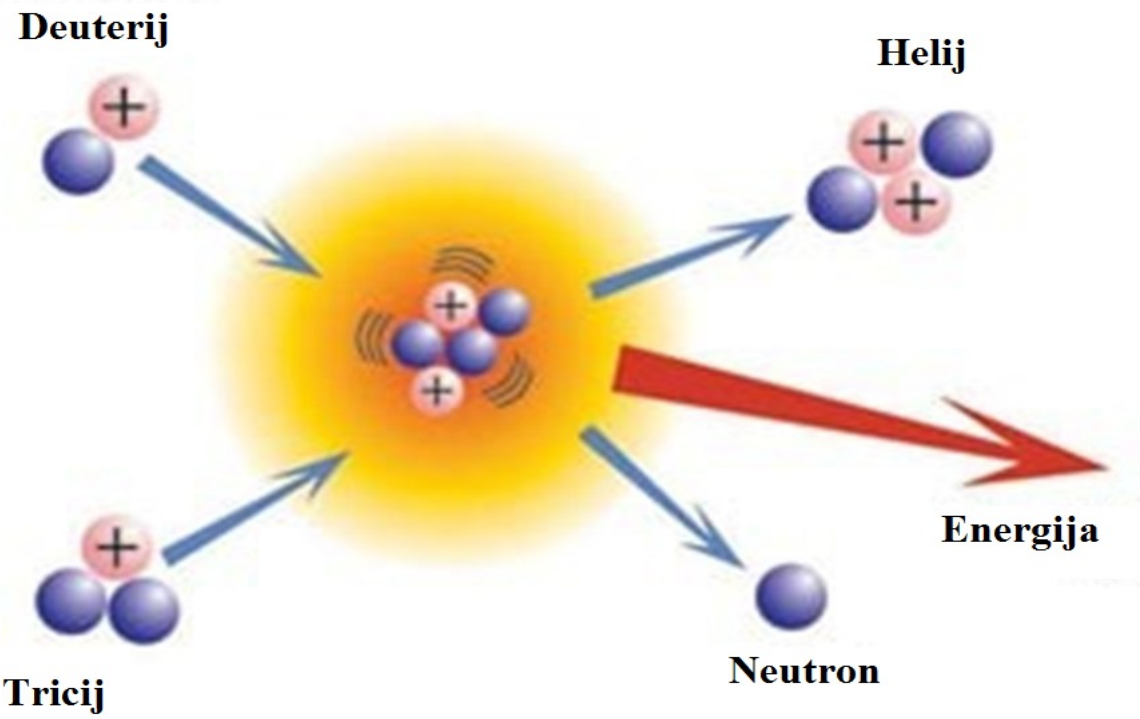
4. NUKLEARNA FUZIJA

Fuzija je nuklearna rekacija u kojoj se dvije jezgre lakog atoma, pod djelovanjem velike brzine, sudare i nastaje nova, teža jezgra atoma uz oslobađanje velike količine energije.

Fuzija se konstantno odvija na Suncu, pod velikom temperaturom, koja doseže i do 15,000,000°C, laki vodikovi atomi se kreću velikom brzinom i zbog temperature su potpuno ionizirani. Iako između jezgri, koje su pozitivne, postoji određeno odbijanje zbog istih naboja to je prevladano velikom brzinom i nastaje nova jezgra helija, koja je teža od početnih vodikovih jezgri.

Energija koja je oslobođena tokom fuzije je posljedica defekta mase. Atomska masa novonastalog helija je 4,00386, dok je zbroj dviju atomskih masa 4,03414, razlika tih masa koja iznosi 0,03028 je defekt mase koji se oslobodio u obliku energije. Tokom procesa fuzije na Suncu, stvaranjem jedne jezgre helija oslobađa se 28,8 MeV energije.

Da bi se fuzija mogla odvijati potrebna je vrlo visoka temperatura što fuziju čini termonuklearnom reakcijom. Kod fuzije nema lančane reakcije što je još jedna činjenica u kojoj se razlikuje od fisije.



Slika 5. Fuzija deuterija i tricija.

4.1 Termonuklearna bomba

Vodikova ili H-bomba sagrađena je na principu nuklearne fuzije. Dva izotopa vodika, deuterij i tricij, pod velikom temperaturom se spajaju dajući helij.

$$^{2}_{1}H + ^{3}_{1}H \longrightarrow ^{4}_{2}He + ^{1}_{0}n$$

Jednadžba fuzije koja se događa u vodikovoj bombi

Velika temperatura koja je potrebna za fuziju, dolazi od detonacije atomske bombe. Prva faza se sastoji od detonacije koja dvije subkritične mase spaja u fisibilni materijal, fisija oslobađa veliku količinu topline koja je usmjerena u drugu fazu, litij-6-deuterid je podvrgnut fuziji, tokom fuzije oslobođeni neutroni razaraju uranijev spremnik koji je podvrgnut fisiji.

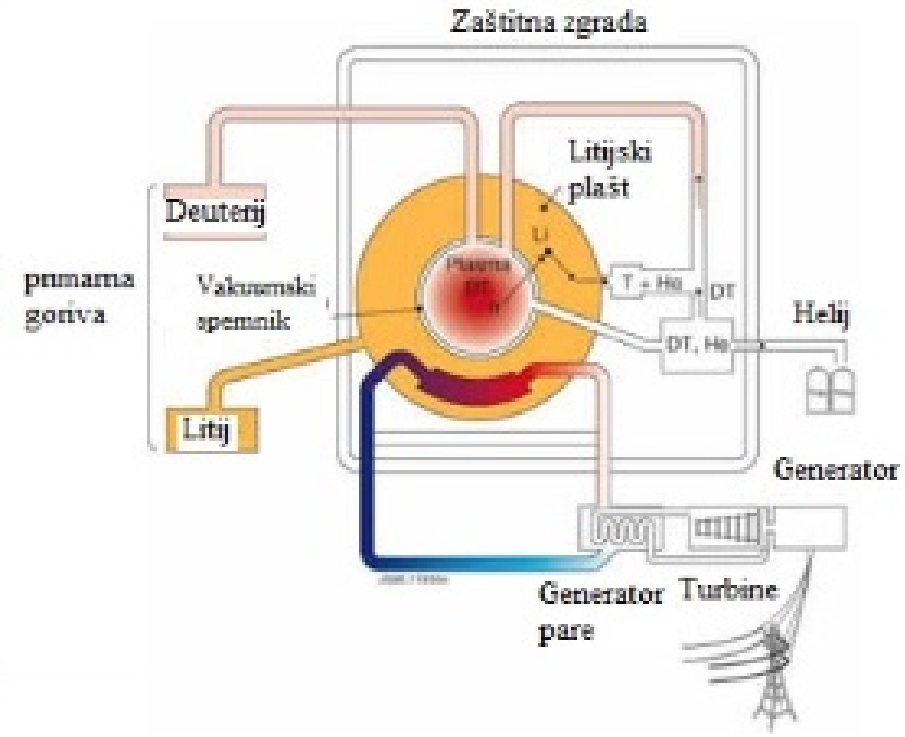
Termonuklearna bomba može biti sto do tisuću puta jača od atomske bombe i puno manjih dimenzija. Kao tvorac hidrogenske bombe se vodi američko-mađarski fizičar Edward Teller.

4.2 Fuzijski reaktor – magnetno kontrolirana fuzija

Fuzijski reaktor je koncipiran tako da reakcijom deuterija i tricija nastaju neutroni koji su apsorbirani u litijski plašt koji okružuje jezgru reaktora. Litij se zatim transformira u tricij i helij. Plašt, koji je inače debljine oko 1 metra, se zbog kinetičke energije apsorbiranih neutrona zagrijava i toplina se skuplja hladilom, što je većinom tekući litij, koja toplinu zatim prenosi do turbine koja pokreće rad generatora.

$$^{6}_{3}\mathrm{Li} + ^{1}_{0}\mathrm{n} \longrightarrow ^{3}_{1}\mathrm{H} + ^{4}_{2}\mathrm{He}$$

Reakcija fuzije u reaktoru, nastajanje tricija



Slika 6. Shema fuzijske elektrane.

Tokom procesa fuzije oslobađa se velika količina energije koja bi se mogla koristi u komercijalne svrhe, no glavni problem sakupljanja te energije je stvaranje velike količine toplinske energije, koja omogućava sudaranje atoma. Jedan od načina je ionizacija atoma pri visokoj temperaturi pri kojoj nastaje plazma što je zapravo neutralna smjesa neutrona i elektrona. Kako bi se došlo do zadržavanja plazme koja zbog visoke temperature ne može doći u doticaj s bilo kojom vrstom materijala, koristi se magnetsko polje. Trenutno najpoznatiji reaktor za zadržavanje plazme, koji koristi magnetsko polje je tokamak.

4.2.1 Tokamak - ITER

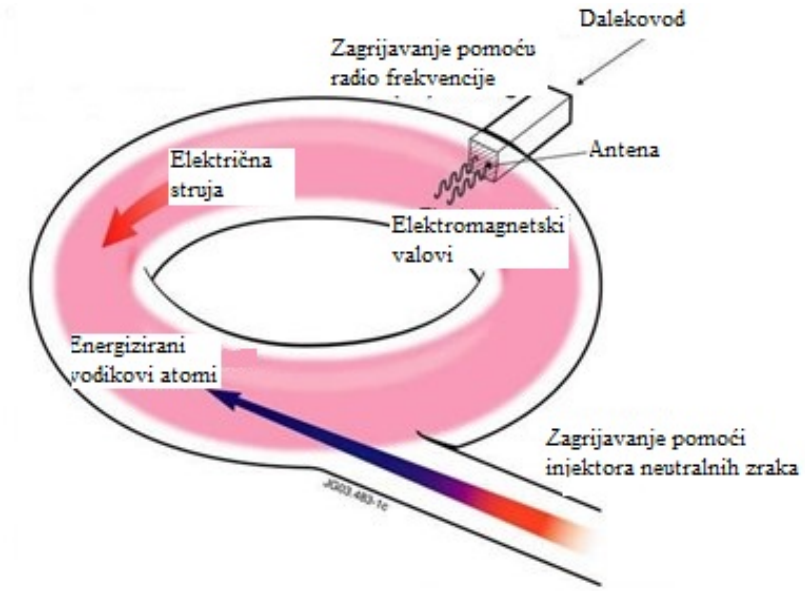
ITER (International Thermonuclear Experimental Reactor) je organizacija koja trenutačno gradi najveći tokamak reaktor na području Francuske. U projekt su uključene članice Europske unije, Sjedinjenje Američke države, Kina, Indija, Japan, Južna Korea i Rusija.

Ime tokamak reaktora, dolazi od ruskog izraza **то**роидальная **ка**мера с **ма**гнитными **к**атушками, što se može prevesti kao toroidalna komora s magnetiziranim zavojnicama. Plazma je zadržana magnetskim poljem u šupljem, prstenastom spremniku u vakuumu. Fuzijsko gorivo, smjesa deuterija i tricija, je zagrijana do 150 milijuna stupnjeva Celzijusa i prelazi u plazmu. Jako magnetsko polje sprečavaju plazmu da dođe u doticaj sa zidovima spremnika.

Magnetski sustav se sastoji od 18 supervodljivih toroidalnih polja i 6 poloidalnih zavojnica i seta od korektivnih zavojnica koje magnetkski zadržavaju, oblikuju i kontroliraju plazmu u vakuumu. Zavojnice su smještene između vakuuma i kriostata gdje se mogu hladiti i zaštititi od topline. Magneti mogu postići jakost od 13 Tesla, a napravljeni su od slitine niobija i kositra, dok su poloidne i korektivne zavojnice napravljane od slitine niobija i titanija. Vakuumski spremnik je hermetički zatvoren i nalazi se unutar kriostata, i prva je zaštitna barijera. Zbog toroidnog oblika čestice plazme su u mogućnosti konstantnog kruženja bez da diraju zidove. Zidovi su šuplji i unutar se nalazi voda za hlađenje, unutarnji dio zida je prekriven tzv. dekom koja štiti zid i magnete od topline, napravljena od berilija (dio koji je u kontaktu s plazmom) i od bakra i nehrđajučeg čelika. Deka također usporava neutrone i njihova kinetička energija se transformira u toplinu i sakuplja hladilima te je to toplina koja pokreće nuklearnu elektranu. Razdjelnik, uz deku isto je u kontaktu s plazmom, "izvlači" toplinu, helijev pepeo i ostale nečistoće, koji su produkti fuzije. Napravljen je od wolframa i služi kao svojevrsni ispušni sistem reaktora.

Za postizanje potrebene teperature od 150 milijuna stupnjeva Celzijusa, koriste se tri vanjska izvora zagrijavanja ukupne snage od 50 MW. Zagrijavanje iz vanjskih izvora je potrebno sve dok fuzijom ne nastane prva jezgra helija, kada su reakcija i temperatura samoodržive. Jedan od izvora je zraka neutralnih čestica. Injektori nuklearne zrake ubacuju nenabijene visokoenergetske čestice u plazmu koje sudarima trasportiraju svoju energiju na čestice plazme. Prije samog ubacivaanja zrake, deuterijevi atomi moraju biti ubrzani izvan reaktora do kinetičke energije od 1 MeV. Da bi postigli to ubrzanje čestice moraju nositi naboj, što se postiže uklanjanjem elektrona u prvom koraku pri čemu nastaju deuterijevi ioni. Nakon

prolaza navedenih iona kroz spremnik plina, elektroni se ponovo vraćaju u sustav tvoreći neutralnu česticu, deuterijev atom, u reakciji s deuterijevim ionima. Drugi izvor topline je ionski ciklotron koji transportira energiju ionima u plazmi pomoću zraka elektromagnetskog zračenja od 40-55 MHz i elektronski ciklotron, koji zagrijava elektrone u plazmi zrakom elektromagnetskog zračenja od 170GHz. Elektroni apsorbiranu energiju predaju ionima u sudaru.

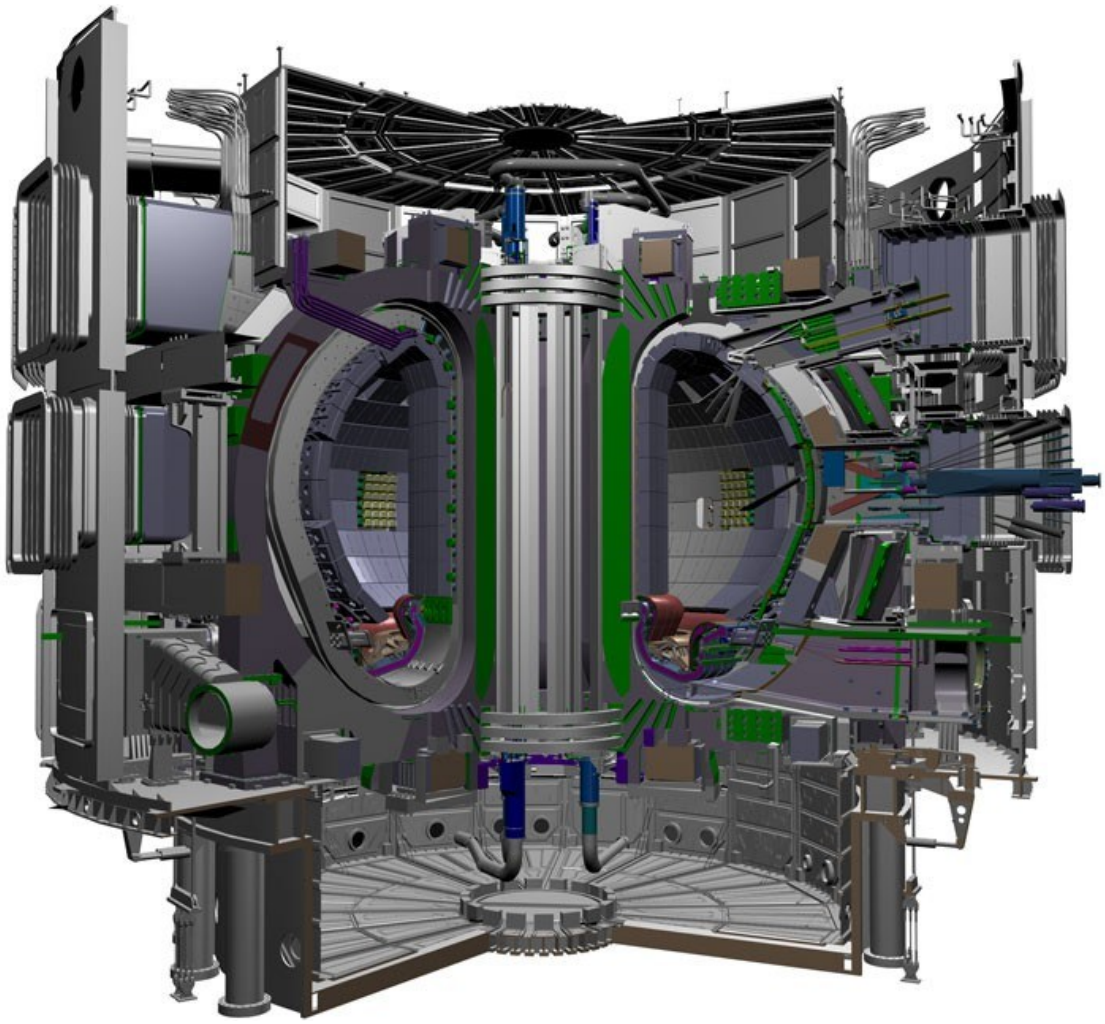


Slika 7. Shema zagrijavanja plazme iz vanjskih izvora.

Kriostat koji je napravljen od nehrđajućeg čelika omogućava ohlađeni, vakuumski „okoliš“ i jedna je od najvećih komponenti ITER-ove elektrane. Oko kriostata je dva metra širok betonski zid, koji se nalazi i kod fisijskih elektrana.

Gorivo za fuziju je lako „nabaviti“. Deuterij je relativno bezopasan i neiscrpan, prisutan je u morskoj vodi (u 1 litri vode prisutno je oko 33 mg deuterija) i vrlo lako se izdvoji destilacijom.

Tricij je kratko – živući, radioaktivni izotop vodika, prisutan je u zemlji samo u tragovima. Stoga, tricij se mora proizvesti tokom same fuzije kada neutroni iz plazme dođu u dodir s litijem.



Slika 8. Shema tokamak reaktora.

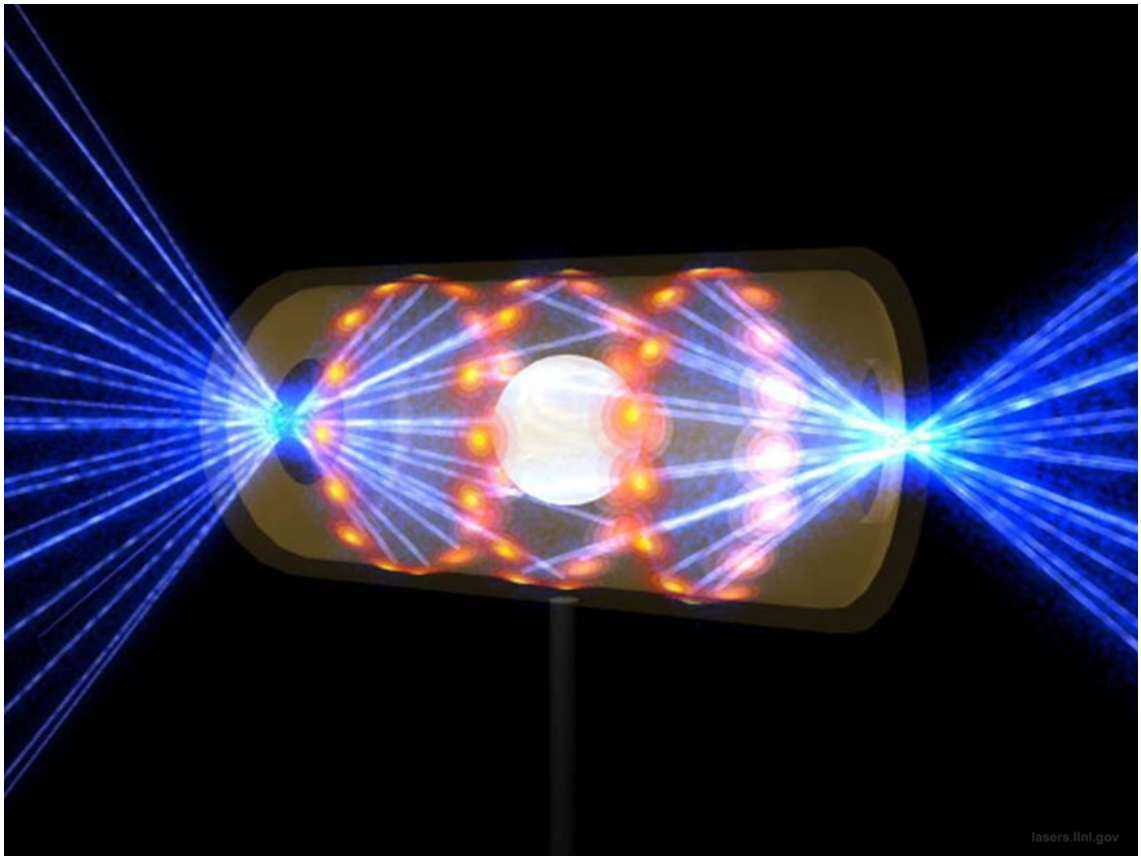
Eksterni sistem je bitan dio same elektrane. Sastoji se od usisnog sustava koji, prije početka fuzije, isisava sve organske materijale koji bi se mogli naći unutar reaktora i pod vrućom plazmom bi se razgradili, te smanjuje gustoću unutar reaktora, na oko milijun puta manju od gustoće zraka. Usisni sustav sačinjavaju 6 torusnih ispušnih pumpi i 4 kriopumpe. Iako je potrebna izrazito visoka temperatura za postiznanje fuzije, potrebna je i niska temperatura za vodljivost magneta, koju snižava kriostat. On za hlađenje magneta koristi suprakritični helij na teperaturi od 4 K.

4.3 Fuzijski reaktor – inercijski kontrolirana fuzija

Inercijski kontrolirana fuzija je novija grana istraživanja korištenja fizijske energije.

Laser ili ionske zrake vrlo su precizno fokusirane na površinu ploče spremnika u kojem se nalazi kapsula koja se sastoji od deuterij - tricij goriva, svega nekoliko milimetara u promjeru. Nastala toplina zagrijava kapsulu, toplina je apsorbirana i dolazi do eksplozije tokom koje dolazi do kompresije koja zagrije i unutarnji sloj goriva, tj. kapsule.

Jezgra goriva može se kompresirati nekoliko tisuća puta do tekućeg stanja i tada su uvjeti povoljni za stvaranje fuzije. Oslobođena energija zagrijava okolno gorivo koje također može uzrokovati fuziju, reakcija se tada širi gorivom u vremenu manje od mikrosekunde.



Slika 9. Zagrijavanje spremnika u inercijskom reaktoru.

5. ZAKLJUČAK

Postoje dva tipa nuklearnih reakcija: fisija i fuzija, u kojima dolazi do transmutacije jezgre jednog elementa u jezgru odnosno jezgre drugih elemenata.

U procesu fisije dolazi do transmutacije jezgre težeg elementa u dvije lakše jezgre uz oslobađanje energije. Fisija je prva otkrivena nuklearna reakcija. Samoodrživ proces fisije naziva se lančana reakcija i prisutan je kod ^{235}U, u fisiji je prisutan i zakon očuvanja energije. Samoodrživost reakcije ovisi o samoj masi uzorka i udarnom presjeku.

Nekontrolirana reakcija se javlja u atomskoj bombi, a kontrolirana u nuklearnom reaktoru gdje se dobiva energija reguliranom fisijom, a gorivo je obogaćeni uran.

Fuzija je reakcija u kojoj dolazi do spajanja dvije lakše jezge u jednu težu, energija koje je oslobođena je posljedica defekta mase. Fuzija je prvo otkivena na Suncu, gdje se dvije jezgre vodika spajaju u jezgru helija. Kod fuzije nema lančane reakcije i za njeno odvijanje je potrebna izrazito visoka temperatura. Kao i kod fisije, fuzija se prvo koristila kao oružje, gdje reakcija fisije stvara toplinu potrebnu za fuziju.

Fuzija se može iskoristi kao izvor energije u dvama tipovima reaktora. Najpoznatiji je tokamak, u kojem je plazma koja se sastoji od deuterija i tricija zadržana magnetskim poljem a toplina se prikuplja preko okolnog litijskog plašta.

Kod inercijskog reaktora, fuzija je pokrenuta laserima koji zapale gorivo koje dalje pokreće inercijski daljnje fuzijske reakcije.

Glavni problem, zbog kojeg su nuklearni reaktor omraženi u javnosti, je zbrinjavanje nuklearnog goriva, koje je i istrošeno radioaktivno, te mogućnost nesreće, kao one u Černobilu i Fukushimi.

No usprkos tome, potrebno je ulagati u nuklearne reaktore, pogotovo fuzijske, jer pružaju iznimno veliku količinu energije s obzirom na utrošenu, i u usporedbi s elektranama na ugljen, proizvede se puno manje otpada, što je povoljno za okoliš.

6. LITERATURA

(1) M. S. Silberberg , *Chemistry (The Molecular Nature of Matter and Change)*, 5th ed., McGraw-Hill Higher Education, 2008.

(2) V. Kruz , *Tehnička fizika*, 5. Izdanje, Školska knjiga, Zagreb, 1972.

(3) http://www.nek.si/hr/hr/ 21.03.2015.

(4) http://www.britannica.com/EBchecked/topic/591670/thermonuclear-bomb 06.04.2015

(5) http://www.world-nuclear.org/info/Current-and-Future-Generation/Nuclear-Fusion-Power/ 04.05.2015