

LASERSKA FUZIJA

UVOD

V času izjemnega tehnološkega napredka se kot produkt kaže naraščajoča potreba po dodatni energiji. Danes glavno breme proizvodnje le te nosijo fosilna goriva. Ob naraščajočem trendu porabe, pa jim bo potrebno v kratkem (najkasneje čez 50 let) poiskati alternativo. V začetku prejšnjega stoletja so postavili teoretične temelje dvema jedrskima reakcijama, ki med drugim zagotavljata tudi neomejene količine energije. Tehnologija je že zelo zgodaj omogočila izgradnjo kapacitet za masovno proizvodnjo energije s pomočjo ene od teh reakcij, imenovane tudi razpad ali fisija. Ta reakcija pa se je z leti pokazal kot okolju in človeku dokaj neprijazna. Stranski produkti te reakcije, kot naprimer radioaktivni odpadki, in pa velika ekološka grožnja (Černobil) so vzrok, da se trend izkoriščanja energije na ta način zmanjšuje.

Vrzel naj bi zapolnila druga vrsta jedrskih reakcij imenovana tudi zlivanje ali fuzija. Z razliko od fusije pri njeni ne bo jedrskih odpadkov, pa tudi ob morebitnih nesrečah, ne bo prišlo do kake katastrofe. V prid slednji pa gre tudi razpolaganje s še več razpoložljive energije.

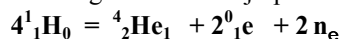
Žal pa današnja tehnologija še ne omogoča izgradnjo predvsem ekonomičnega fuzijskega reaktorja.

ZLIVANJE LAHKIH JEDER

Ko se dva jedra približata zadosti se zlijeta v večje jedro, nastanejo pa še drugi delci. Skupna masa končnega stanja je lahko manjša, kot je bila začetna masa posameznih jeder. Razlika v tej masi se sprosti v obliki kinetične energije, ki jo pridobijo na novo nastali delci. Relacijo med maso in energijo podaja Einsteinova enačba:

$$E=mc^2$$

Vrst takih jedrskih reakcij je več. Naj omenim le en tip reakcij, ki so na prvi pogled še najbolj obetavne. Imenujemo jih tudi vodikova veriga. Strokovno jo predstavimo z eno enačbo:



Uporabne so predvsem jedrske reakcije devterona in devterona (D-D) in devterona in tritija (D-T), ki sta izotopa vodika z enim oz. dvema dodatnima nevtronoma.

Glavni problem združevanja takih in vseh drugih jeder predstavlja odbojna Coloumbova sila, ki se z manjšanjem razdalje povečuje. Sistem večih delcev dobro opisuje statistična mehanika.

Kinetična energija posameznih delcev prispeva k enegiji celotnega sistema. V zaprtih sistemih pa to skupno energijo dobro opišemo s temperaturo. Z merjenjem le te torej lahko ocenimo povprečno kinetično energijo posameznih jeder. Zlivanje vodikovih jeder omejuje zgolj sila med osnovnima nabojeja, pa vendar bi prispevek energije posameznih tako hitrih jeder, dvignil temperaturo sistema nad 10^8 K.

METODE ZLIVANJA JEDER

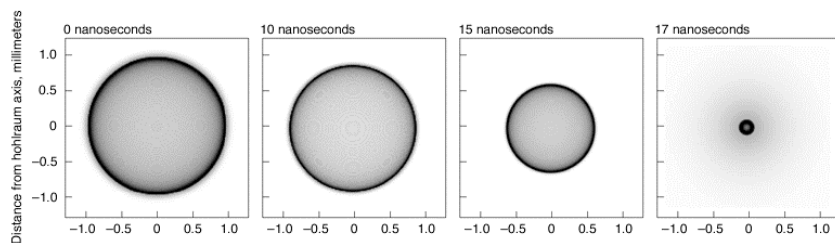
Posedica tako visokih temperatur, se kaže tudi v spremembi plinastega agregatnega stanja. Z večanjem temperature desežemo, da atomi zgubijo praktično vse elektrone (zaradi trkov). Takemu stanju pravimo tudi plazma. (elektroni so ločeni od jeder). Plazma se ob stiku s katerokoli površino, ali pa stem da se razširi, v trenutku ohladi, zato jo je nemogoče omejevati mehansko. Žal pa je plazma edini sistem, kjer je temperatura dovolj velika, da omogoča zlivanje.

Glavni tehnološki problem torej predstavlja zadrževanje take plazme na omejenem volumnu.

V naravi plazmo omejuje gravitacijska sila. (Gravitacija na zvezdah zadržuje plazmo v kateri stalno potekajo fuzijske jedrske reakcije. Zvezda zato sveti.)

V laboratoriju pa se poslužujejo dveh načinov omejevanja plazme:

- ∞ Magnetna konfinacija (Plazmo (pozitivne in negativno nabite delce) zadržujejo s pomočjo močnega magnetnega polja)
- ∞ Inercialna konfinacija. (Plazmo z vseh strani obstreljujejo z laserji ali pa ioni težkih elementov in jo tako omejujejo.)



Slika 1) Inercialna konfinacija, in intenzivna implozija v dovolj kratkem času.

Na prvi pogled se zdi prva lažje dosegljiva, pa je vendarle slednja tista, ki predvsem v zadnjih nekaj letih obljublja več. Razvoj visokoenergijskih laserjev omogoča ne samo zadrževanje plazme, ampak jo lahko pospešujemo proti središču (implozija), jo s tem segrevamo in obenem povečujemo sipalni presek za fuzijo.

TEHNOLOGIJA LASERSKE FUZJE

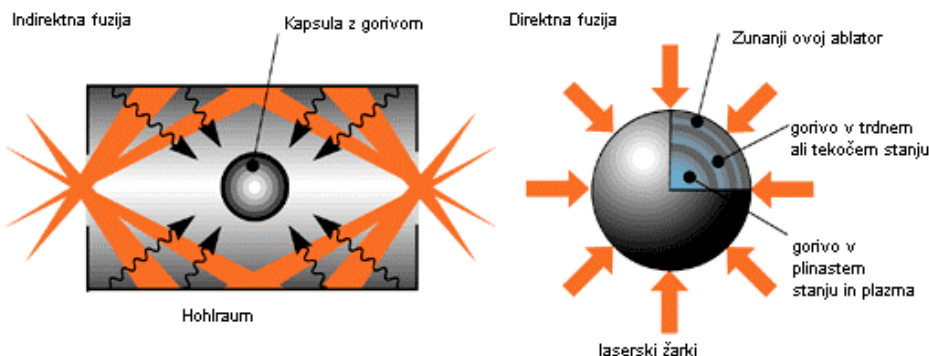
Zlivanje jeder s pomočjo laserjev poteka v posebni sferni kapsuli, kjer je fuzijsko gorivo. To sta vodikova izotopa v trdnem ali tekočem stanju z gostoto 1 mg/cm^3 . Premer take kapsule je nekaj milimetrov. Zunanji del predstavlja poseben ovoj ali ablator. Ta ovoj zadržuje D-T gorivo, njegova struktura pa je ključnega pomena za doseganje željene implozije.

Kompresija take kapsule dovolj hitro in na dovolj majhen volumen je edini tehnološki problem, ki človeštvo še ločuje od neomajnih virov energije. Slednje naj bi dosegli na dva načina po katerih tudi imenujemo tip laserske fuzije. To sta direktna in indirektna fuzija.

Pri indirektni vstavimo kapsulo v posebno komoro imenovano tudi Hohlraum. Ta je z notranje strani obložena z snovjo velike atomske mase (zlato). Snop laserskih žarkov pošljemo skozi majhno odprtino, ki se v notranjosti odbijajo in segrevajo hohlraum.

Absorpcija povzroči segrevanje stene komore, ki se segreje toliko, da povzroči emisijo rentgenskih žarkov. Ti potem prodirajo v ablator, ga stiskajo in segrevajo do želenih parametrov.

Drug tip fuzije naj bi dosegli z laserji, ki bi vpadali direktno na površino kapsule, ti bi jo potem kompresirali na enak način. Izbera ustreznega ablatorja je seveda odvisna od tipa laserske fuzije.



Slika 2) Primer dveh tipov laserske fuzije direktna in indirektna. Na desni strani je podrobna zgradba fuzijske kapsule med obstreljevanjem. (Del goriva se je že vplinila.)

Kratek povzetek delovanja inercialnega fuzijskega sistema lahko strnemo v štiri točke.

- segrevanje ablatorja na temperaturo več 10 milijonov stopinj
- pomikanje DT goriva proti središču (Implozija)
- v centru pride pri ugodnih pogojih do fuzije
- fuzija se nato iz centra razširi po vsem gorivu in produkte z visoko kinetično energijo pošlje v posebno snov, (moderator) ki le te zaustavlja in se na račun tega segreje. Odvedena toplota pa predstavlja pridobljeno energijo.

Izkazalo se je, da do želenega četrtega koraka ne pride, saj konstantno sevanje ni kos na novo nastalemu pritisku v centru, ki večino nereagirane goriva prehitro potisne ven iz sredine.

Leta 1987 je bil prvič predlagan koncept povečanja intenzitete laserske svetlobe na neverjetni 10^{20} W/cm^2 . V zelo kratkem sunku trajanja nekaj 100 fs.



Tarča med obstreljevanjem z laserji na univerzi Rochester.

S pomočjo takih sunkov naj bi izvedli tako imenovan hitri vžig. Konstantni laserski snopi bi stiskali gorivo tik do temperatur fuzije. Potem bi v središče poslali dva sunka visoke intenzitete. (Eden da se prebije čim bližje središču in drugi še krajši in močnejši, ki po tako formiranem kanalu v centru povzroči masovno fuzijo.) Energija naj bi v dovolj kratkem času dosegla vrednost za popoln vžig goriva, še predno bi ta "ušel" iz kapsule.

Koncept se zdi preprost, pa vendar do revolucionarnih premikov še ni prišlo. V zadnjem času potekajo raziskave predvsem v smeri odkrivanja novih materialov, izboljšanju laserskih sistemov in preizkušanju tudi nekaterih drugih tehnik, ki pa delujejo praktično na enaki osnovi.

ZAKLJUČEK

Prednost fuzijskih elektrarn bi bila poleg večje proizvedene energije tudi v tem, da ne bi proizvajali stranskih produktov, kot na primer radioaktivnih izotopov in drugih odpadkov.

Pet takih milimetrskih kapsul na sekundo, ki bi izgorele popolnoma, bi proizvajalo približno 1GW moči. To pa bi bilo več kot dovolj za naše glavno mesto in vso njegovo industrijo. Tega naj bi bil sposoben le en reaktor. Ker bi jih bilo v elektrarni lahko več, so potrebe in želje po taki fuzijski elektrarni upravičene.

Ljubljana 7.7.2003

Damjan Vengust