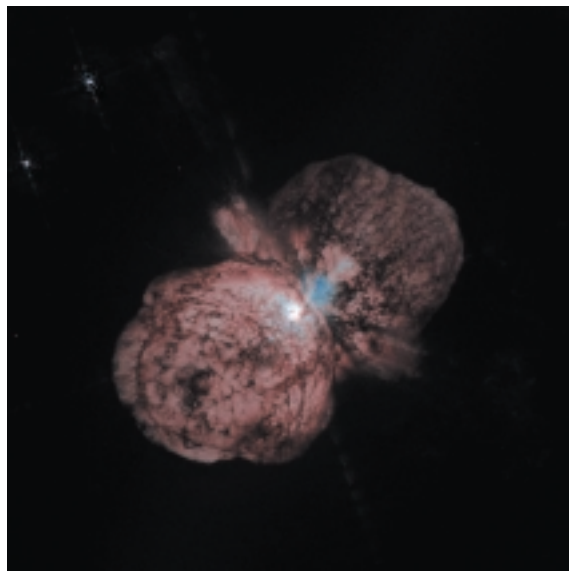


ZVIJEZDA LASER

Dr. sc. Goran Pichler i Darije Maričić, dipl. ing.

Koherentna emisija svjetlosti je od nedavno poznata pojava. Einstein je 1917. godine pretpostavio da mora postojati jedan novi proces kojeg je nazvao stimulirana emisija, kako bi na vrlo jednostavan način izveo Planckov zakon zračenja apsolutno crnog tijela. Čitajući njegov originalni članak čovjek

se ne može načuditi njegovoj dubokoumnosti i dalekosežnosti njegovih zaključaka. Tehnološko ostvarenje lasera učinjeno je 1960. godine, kada je američki fizičar Theodor Maiman napravio rubinski laser na valnoj duljini od 694 nm. Nobelovac Art Schawlow objašnjava tako veliki vremenski razmak za svladavanje velikog raspona od teorijskog predskazivanja osnovnog procesa koji vlada u laseru do fizikalne i tehničke izvedbe, jednostavnom činjenicom. On tvrdi kako se tek krajem pedesetih godina dvadesetog sto-



Maglica Carinae (lijevo) i zvijezda η Carinae (desno) snimljeni Hubbleovim svemirskim teleskopom. Godine 1843. Eta Carinae doživjela je "veliku eksploziju" kada je zasjala više nego bilo koja zvijezda na noćnom nebu osim Siriusa, dosežući maksimum magnituda do $-0,8$. Ova eksplozija stvorila je dva polarna izbačaja i veliku tanku ekvatorijalnu ploču. Izbačena tvar se giba prema van brzinom od oko 2,4 milijuna km/h.

ljeća pojavilo nekoliko tehnoloških i tehničkih inovacija koje su omogućile izradu prvih lasera. Da bi se stimulirana emisija mogla pojačati unutar malih dimenzija laboratorija potrebno je bilo izmisliti odgovarajući rezonator, koji bi bio u stanju snop svjetlosti zadržati unutar ograđenog prostora što duže. To zadržavanje omogućeno je mnogobrojnim odbijanjem snopa fotona od pogodno razmještenih zrcala. Najjednostavniji sistem je linearni rezonator što se sastoji od dva paralelna zrcala, što vraćaju fotone natrag u rezonator.

Takav jedan idealni rezonator je zapravo Fabry-Perot interferometar, ali sa zrcalima što reflektiraju više od 99 %. To je bilo moguće ostvariti tek modernim višeslojnim naparavanjem zrcala. Danas je postupak naparavanja zrcala usavršen do fantastičnih 99,999 %. Ukoliko dimenzije lasera nisu ograničene laboratorijskom prostorijom, možemo se zapitati, koji je preostao uvjet da bi se pojačao proces stimulirane emisije. Teorija lasera kaže da je za to nužno da postoji inverzija naseljenosti između dva odabrana energetska nivoa. To proizlazi i iz osnovne Einsteinove pretpostavke o postojanju procesa stimulirane emisije. Ukoliko negdje u prirodi postoji inverzija naseljenosti tada bi se možda mogao opaziti i laserski efekt, naravno čak i onda kada ne bi imali na raspolaganju zrcala rezonatora, jer bi pojačanje stimuliranom emisijom moglo biti enormno zbog ogromnih dimenzija objekta. Očito tako nešto moramo potražiti u astronomskim prostorima, gdje se dimenzije astrofizičkih objekata mjere u svjetlosnim godinama, a fizikalni uvjeti možda mogu u nekim slučajevima uzrokovati inverziju naseljenosti.

Zaista, još od sredine šestdesetih godina poznati su kozmički maseri, kod kojih se mikrovalno zračenje pojačava u oblaku oko centralne zvijezde i ima izrazito usmjere-

no djelovanje. Mikrovalno zračenje potiče od kvantnih prijelaza unutar rotacijske strukture molekula što se nalaze u molekularnim oblacima oko zvijezda. Slično tome, početkom 1998. godine pronađen je prirodni infra-crveni laser oko mlade zvijezde MWC 349.

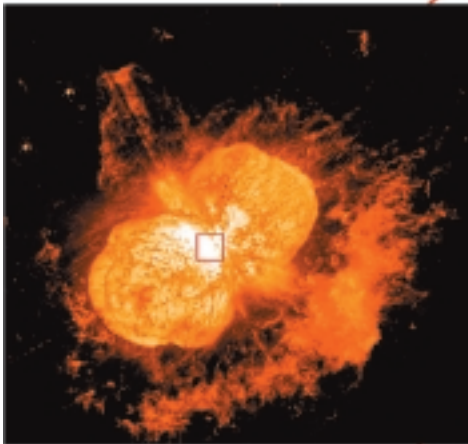
U slučaju zvijezde η Carinae (poznate kao laserska zvijezda), smatra se da je prije oko 100 godina snažan mlaz plina izbačen uzduž ekvatorijalne ravnine. Gibajući se prema van brzinom od 160 tisuća kilometara na sat, taj izbačaj je sada na oko 100 milijardi kilometara od središta zvijezde. Čini se da pri ovoj snažnoj ekspanziji može doći, uslijed posebnih uvjeta pobude, do inverzije naseljenosti između dva energetska nivoa iona željeza. Po svemu sudeći ultraljubičasto zračenje atoma vodika i dušika igra istaknutu ulogu u foto-pobuđenju atoma željeza u izbačenom plinu. Atomi vodika i dušika se pobuđuju na visoke energetske razine zahvaljujući burnim sudarnim procesima u zvijezdi.

Timovi znanstvenika pod vodstvom K. Davidsona (Michigan), S. Johanssona (Lund) i V.S. Letokhova (Moskva) zaključili su da izbačeni plin, smješten svega 0,2" daleko od jezgre kaotične promjenjive zvijezde η Carinae, emitira ultraljubičastu svjetlost u tako uskom području valnih duljina da se najvjerojatnije radi o dikromatskom UV laseru (laserski učinak na dvije valne duljine). Zaključak se temelji na izrazito visokim intenzitetima dva para Fe II linija valne duljine oko 251,0 nm koji se mogu vidjeti u spektrima nedavno snimljenim pomoću Hubbleova svemirskog teleskopa (HST).

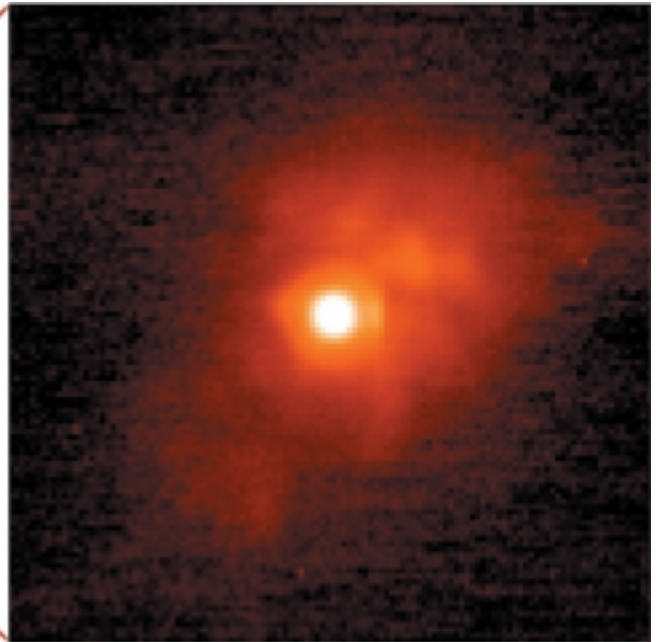
Opažanja Hubbleova svemirskog teleskopa 1991. i 1995. godine sa instrumentima Faint Object Spectrograph (FOS) i Goddard High Resolution Spectrograph (GHRS) bila su usmjerena prema snimanju različitih područja središnje jezgre koja se sastoji od četiri zasebna objekta udaljena

svega nekoliko desetaka lučnih sekundi. Objekti se na snimkama obično označavaju slovima A, B, C i D, gdje je A središnja jezgra a B, C i D izbačeni materijal. Opažanja su dala spektre dva različita područja u intervalu valnih duljina od 120 nm - 550 nm, ali spektri izbačene tvari nisu mogli biti odvojeno snimljeni od spektra zvijezde. Uz izvjesne pretpostavke o izbačenoj tvari, opaženi spektar je tretiran kao linearna kombinacija spektra zvijezde (A) i kombiniranog spektra izbačaja (BCD). Iz ove linearne kombinacije odvojen je spektar zvijezde od spektra izbačene tvari i pronađene su značajne razlike. Spektar zvijezde (komponenta A) sadržavao je emisijske linije koje dolaze od Fe II prijelaza u rezonantnom području (200 nm - 300 nm) i području Balmerova niza. Spektar izbačaja (komponente B, C i D) pokazuje

snažne zabranjene Fe II linije i dominantnu emisiju na oko 250,8 nm. Emisija na 250,8 nm kasnije je identificirana kao dva visoko pobuđena odvojena prijelaza na 250,6 nm i 250,8 nm. Linije na 250,6 nm i 250,8 nm pojačane su zbog stimulirane emisije. Mala vjerojatnost za stimuliranu emisiju u UV području najvjerojatnije je kompenzirana izuzetno velikom inverzijom naseljenosti. Gornji nivoi mogu biti naseljeni fotopobuđenjem donjih nivoa - pumpanjem. Slučajna koincidencija u valnim duljinama između dva spektralna prijelaza u ionu željeza i Ly_{α} linije vodika ukazuje da bi glavni izvor pobuđivanja moglo biti upravo Ly_{α} linije vodika na 121,5 nm. Međutim, veliki intenzitet dviju fluorescentnih linija ukazuje na moguće postojanje još jednog izvora pobuđivanja, koji je pronađen u dušikovoj liniji na oko 113 nm. Takav



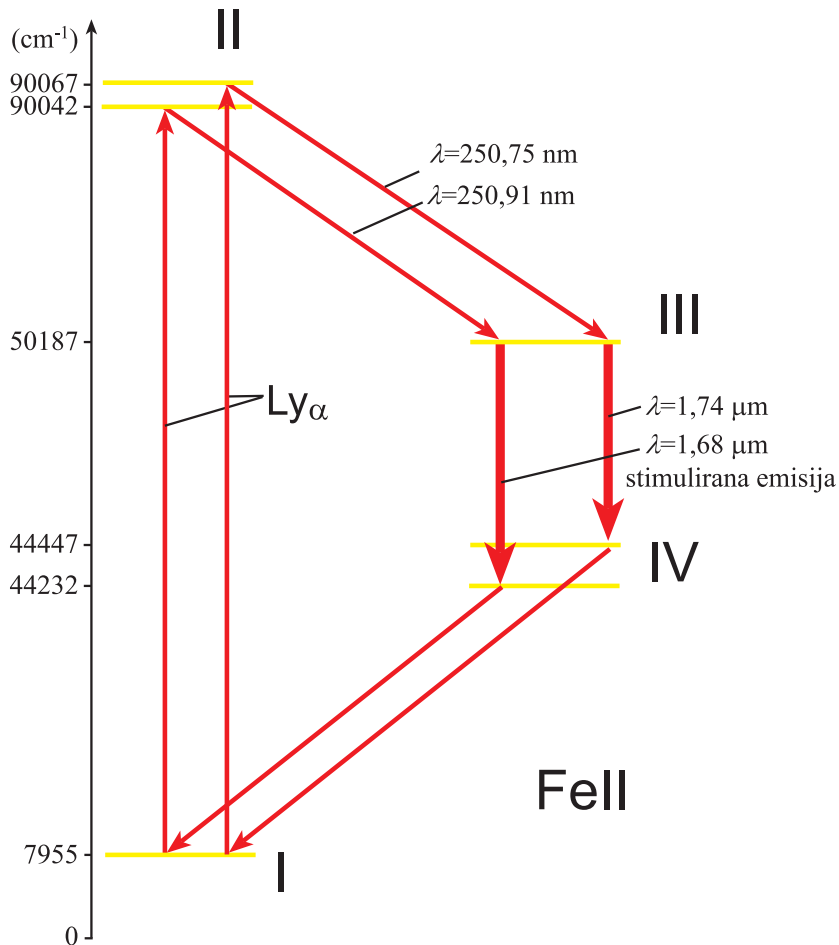
Hubble Space Telescope



VLT YEPUN + NAOS-CONICA

Središnja jezgra zvijezde η Carinae sastoji se od više objekata (A, B, C i D). Oznaka A označava središnju zvijezdu, a oznake B, C i D su grude izbačenog plina iz jezgre η Carinae (lijevo). Na slici 1'' odgovara nešto manje od 4×10^{16} cm). Kompletna strukturu koju vidimo na slici lijevo najčešće se naziva homonukleus. Na slici desno prikazan je detaljni prikaz središnjeg dijela maglice gdje su označeni položaji gruda plina i jezgra snimljene s VLT Yupen teleskopom.

Složeni dijagram jednostruko ioniziranog željeza Fe II s velikim brojem nivoa. Pomoću ovog dijagrama možemo objasniti moguće nastajanje zatvorenog ciklusa zračenja, kod kojeg je uključeno selektivno fotopobuđenje nivoa s intenzivnim zračenjem na Ly_{α} liniji (121,5 nm). Elektroni na nivou I bivaju pobuđeni Ly_{α} zračenjem i podignuti na nivo II, nakon čega se spontanom emisijom spuštaju na nivo III. Nivo III je dugoživuci, pa dolazi do velike inverzije naseľjenosti. Prijelaz između nivoa III i IV događa se stimulanom



emisijom, što povlači i stimulanu emisiju između nivoa II i III. Ta emisija je u ultraljubičastom spektralnom području, što ukazuje na moguće postojanje UV lasera.

zaključak podupire i postojanje drugih snažnih dušikovih linija u spektru η Carinae. One su posljedica velikog udjela atoma dušika u zvijezdi. Fotoni na 250 nm imaju oko 700 puta veću energiju nego fotoni infracrvenog lasera mlade zvijezde MWC 349. Infracrveni LASER-i i mikrovalni MASER-i su izuzetno rijetki astrofizički fenomeni, ali ovaj prirodni ultraljubičasti LASER je prvi takve vrste koji je do sada otkriven.

Astronomi su zapanjeni ovim otkrićem, koje još čeka daljnje potvrde, jer se zna da se laserska akcija odnosno inverzija naseľjenosti to teže postiže što su fotoni veće energije.

Znanstvenici planiraju nova mjerenja s modernijim spektrografom za slabo sjajne objekte, koji ima slabije spektralno razlučivanje ali će moći otkriti anomalije intenziteta spektralnih linija u znatno širem spektralnom području. Možda nas rezultati tih budućih istraživanja približe boljem razumijevanju ovog divovskog prirodnog lasera. Laserske zvijezde dakle najvjerojatnije postoje. Treba ih samo još pomnije potražiti naročito oko mladih zvijezda, karakteriziranih simetričnim (bipolarnim) izbačajima materije iz svog središta, gdje brzine čestica dostižu nekoliko stotina kilometara u sekundi.