



UNIVERZITET U NOVOM SADU
PRIRODNO-MATEMATIČKI
FAKULTET
DEPARTMAN ZA FIZIKU



УНИВЕРЗИТЕТ У НОВОМ САДУ
ПРИРОДНО-МАТЕМАТИЧКИ ФАКУЛТЕТ

ПРИМЉЕНО:	6-07-2010
ОРГАНИЗАЦИЈА:	3/903
0603	3/903

Ispitivanje korelacije deuterijuma sa elementima međuzvezdane prašine

- diplomski rad -

Mentor: Tijana Prodanović

Kandidat: Kristina Kačanski

Novi Sad, 2010.

UVOD

U ovom radu polazimo od generalno prihvaćenog stanovišta da je deuterijum nastao tokom nukleosinteze Velikog Praska. Takođe poznato je da se deuterijum konstantno uništava unutar zvezda te je stoga pogodan za proučavanje primordijalne nukleosinteze i međuzvezdanog prostora. Iako se pretpostavljalo da je materija homogeno raspoređena, to ipak nije slučaj što je potvrđeno sa posmatranjima unutar lokalne međuzvezdane sredine. Naime, uočene su velike varijacije D/H zastupljenosti kao i varijacije u zastupljenostima elemenata poput gvožđa i silicijuma. Trenutno najbolje objašnjenje za primećene varijacije nam nudi uvođenje prašine kao mogućeg faktora koji utiče na ove zastupljenosti tako što u sebi „sakriva“ neku količinu elemenata. Na osnovu korelacije deuterijuma sa glavnim konstituentima prašine – Fe i Si, kao i njihovom međusobnom korelacijom, smo pokušali da utvrdimo da li zaista možemo varijacije pripisati prašini ili su prisutni neki drugi faktori.

Rad je izdelfjen u tri celine. U prvom delu rada se bavimo problematikom vezanom za deuterijum, drugi deo teksta je posvećen prašini i u trećem delu je data analiza podataka sa kojima smo raspolagali dobijenih sa HST, FUSE, IUE i Copernicus satelita (Linsky et al. 2006). Cilj je bio da se ustanovi nivo korelacije između Fe, Si i D/H i time utvrdi da li prašina može da objasni lokalne varijacije merenih zastupljenosti deuterijuma.

Nukleosinteza Velikog Praska

Dok se razvijao od svog ranog, gustog početka ("Veliki Prask") do današnjeg, hladnog i razređenog stanja, Univerzum je prošao kroz kratku epohu gde su temperatura (prosečna toplotna energija) i gustina komponenata u njemu bile takve da su omogućile nuklearnim reakcijama da izgrade kompleksna jezgra. S obzirom da je nukleonski sadržaj Univerzuma mali i zato što je Univerzum prošao kroz ovu fazu veoma brzo, samo najlakša jezgra (D, ^3He , ^4He , i ^7Li) su mogla biti sintetisana u količinama interesanim sa astrofizičkog aspekta. Preostali tragovi ovih jezgara nam pružaju uvid u stanje i sadržaj Univerzuma u veoma ranoj epohi njegove evolucije (prvih nekoliko minuta) koji su inače sakriveni od našeg gledišta. Standardni Kosmološki model obuhvata u sebi standardni čestični model (npr. tri porodice veoma laganih neutrina i antineutrina) i koristi opštu relativnost da istraži evoluciju brzine sveopšteg širenja kao i količine materije i radijacije. Kako se nuklearne reakcije među nukleonima javljaju u ranom Univerzumu, nukleosinteza Velikog Praska (eng. *Big Bang Nucleosynthesis* – *BBN*) uzima maha kada je Univerzum svega par minuta star i ubrzo se završava kada nuklearne reakcije bivaju suzbijene niskim temperaturama i gustinama. BBN zastupljenosti zavise od različitih uslova (temperatura, gustina, brzina širenja, sadržaj neutrina, asimetrija neutrina i antineutrina, itd.). Kao posledica, BBN može testirati i kontrolisati parametre standardnog modela (SBBN) i proveriti bilo koje nestandardne fizičke ili kosmološke modele koji menjaju te uslove.

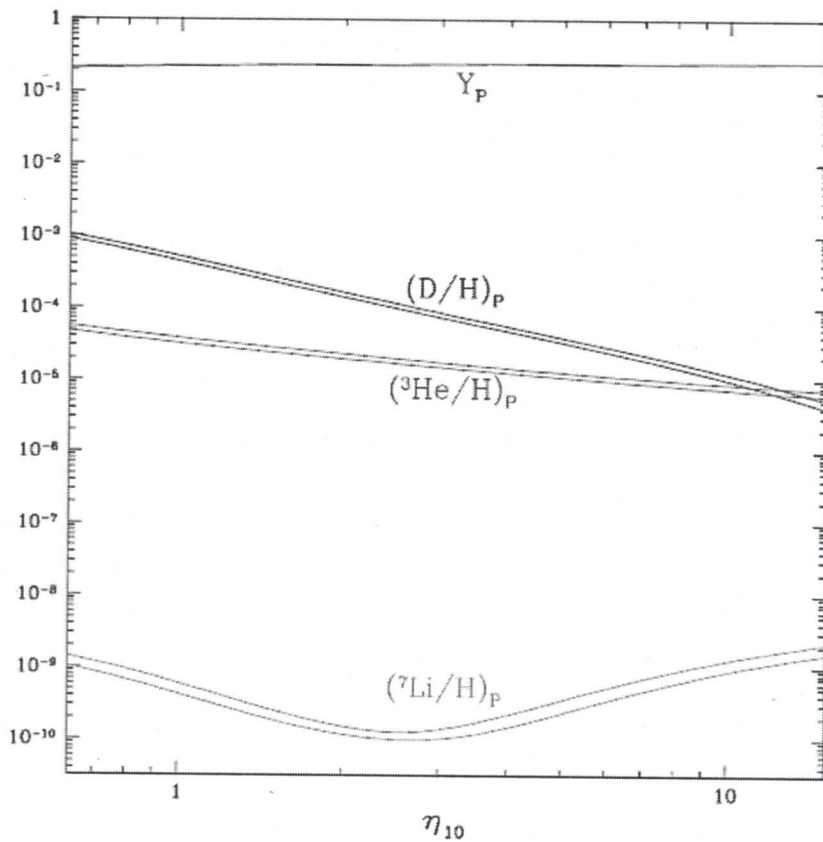
Tragovi zastupljenosti lakih jezgara sintetisanih u nukleosintezi Velikog Praska zavise od odnosa stope nuklearnih reakcija jezgra zavisnih od gustine i stope univerzalnog širenja. Ukratko, u svom najprostijem obliku, nukleosinteza Velikog Praska zavisi od tri nepoznata parametra: barionske asimetrije, leptonske asimetrije i stope univerzalnog širenja.

Standardni model nukleosinteze Velikog Praska predviđa početnu zastupljenost lakih elemenata koja zavisi samo od jednog kosmološkog parametra η_B – što predstavlja odnos nukleona i fotona (eng. *baryon density parameter*) koji nam daje univerzalnu gustinu bariona:

$$\eta_B \equiv n_B / n_\gamma \equiv 10^{-10} \eta_{10}$$

U datoj jednačini n_B predstavlja koncentraciju bariona (protoni i neutroni), a n_γ predstavlja koncentraciju fotona. Primordijalna zastupljenost dobijena iz posmatranja treba da bude u skladu sa parametrom η_B .

Ono što SBBN model predviđa je to da količina bariona u univerzumu slabo utiče na zastupljenost ^4He (slika 1.). U slučaju D i ^3He možemo uočiti da dolazi do vidnog pada zastupljenosti sa porastom η_B . Dalje uočavamo da za vrednosti $\eta_B < 3$, zastupljenosti ^7Li je mala jer se lako uništava pri sudarima sa protonima. Proces formiranja se sporije odvijaju od procesa uništenja uzrokovanih porastom η_B i stoga beležimo pad $^7\text{Li}/\text{H}$ vrednosti.



Slika 1. – Vrednosti predviđene standardnim modelom za D, He, Li (u odnosu na H) i na maseni udeo ${}^4\text{He}$ (Y_p) u funkciji od η_B . [1]

Od već spomenutih lakih jezgara stvorenih u astrofizički interesantnim zastupljenostima, D, ${}^3\text{He}$, ${}^4\text{He}$, ${}^7\text{Li}$, tokom nukleosinteze Velikog Praska, deuterijum predstavlja najpogodniji barion i to iz nekoliko razloga. Na primer, BBN predviđena primordijalna zastupljenost deuterijuma je osetljiva na barionsku (nukleonsku) gustinu [$Y_{DP} \equiv 10^5(D/H)_p \sim \eta_{10}^{-1,6}$] i post BBN evolucija deuterijuma je jednostavna i monotona - kako gas kruži kroz zvezde, deuterijum biva uništen. Posledica ove jednostavne evolucije je ta da je post BBN zastupljenost uzeta kao šablon onog delića međuzvezdanog gasa koji nikad nije prošao kroz zvezde. Modeli hemijske evolucije Galaksije (eng. *Galactic Chemical Evolution - GCE*), dobijeni posmatranjima zastupljenosti metala u zvezdama i gasu, prate istoriju gasa. Uz to, oni predviđaju i evoluciju zastupljenosti deuterijuma. [2]

Do nedavno su merenja deuterijuma u Univerzumu bila limitirana na međuzvezdani prostor u Galaksiji, tako da su dokazi primordijalnog deuterijuma zahtevali učešće hemijskog evolutivnog modela i stoga su i bila zavisna od njih. Ovo se promenilo pojavom velikih zemljanih teleskopa i sa pojavljivanjem Habi Svemirskog Teleskopa (eng. *Hubble Space Telescope* - HST), koji su omogućili određivanje zastupljenosti deuterijuma duž linija vizure do nekoliko (trenutno šest) visokih crvenih pomaka, niske metaličnosti apsorpcionog linijskog sistema QSOALS¹ što je dalo zastupljenosti deuterijuma koje su najbliže primordijalnoj, te su zbog jednostavne evolucije deuterijuma mogle biti korišćene za određivanje parametra η_B koji nam dalje iz SBBN modela omogućava određivanje ostalih primordijalnih zastupljenosti. Nešto kasnija posmatranja ugaonih distribucija temperaturih fluktuacija u kosmičkom pozadinskom zračenju (eng. *Cosmic Background Radiation* - CBR), u kombinaciji sa novim podacima na velikoj skali Univerzuma, su dala barionsku zastupljenost do $\sim 3\%$, $\eta_{10} = 6.08 \pm 0.19$, vodeći ka primordijalnoj zastupljenosti deuterijuma predviđenom nukleosintezom Velikog Praska preciznosti $\sim 5 - 6\%$, $y_{DP} = 2.61 \pm 0.15$ koja je u skladu sa QSOALS merenjima. [3]

¹ Eng. *QSO Absorption Line Systems* - Izvan naše galaksije imamo oblake gasa u čijoj pozadini se nalaze kvazari. Svetlost koja prolazi kroz oblake gasa biva apsorbovana i ostavlja linije u spektru (Lyman- α šuma).

Zastupljenost deuterijuma

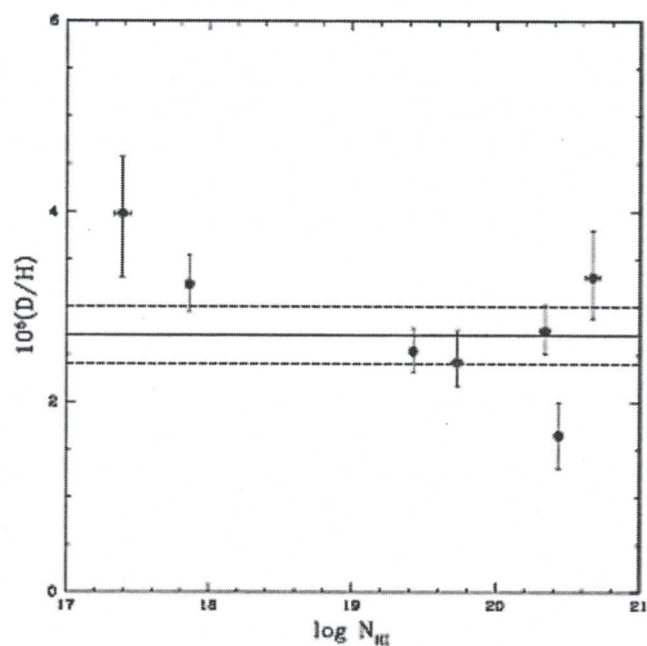
Kako gas kruži kroz zvezde, deuterijum biva uništen i zastupljenosti „metala“, naročito kiseonika se povećavaju. Tokom formiranja zvezda, protok gasa igra fundamentalnu ulogu u određivanju hemijskog sastava gasa i zvezda u galaksijama. Priliv primordijalnog, ili skoro primordijalnog gasa pod uticajem gravitacionih sila (eng. "infall") iz haloa galaksije ili iz galaksija najbližih našoj poput Velikog Magelanovog Oblaka, igra važnu ulogu u hemijskoj evoluciji naše Galaksije, pospešujući zastupljenosti deuterijuma u međuzvezdanom prostoru, obnavljajući prvobitnu primordijalnu vrednost. Kao rezultat očekujemo da zastupljenosti deuterijuma u međuzvezdanom prostoru (eng. *Interstellar Medium* - ISM) neće odstupati od svoje primordijalne vrednosti dok se ne poveća ISM metaličnost do ≥ 0.1 solarne vrednosti.

Modeli hemijske evolucije Galaksije generalno pretpostavljaju da je ISM hemijski homogen, tj. da je vremenski period za mešanje u lokalnom ISM mnogo kraći od vremenskog perioda zvezdane-hemijske evolucije. GCE modeli takođe predviđaju srednje vrednosti zastupljenosti deuterijuma i metala u neposrednoj blizini Sunca. Podaci dobijeni od Far Ultraviolet Satellite Explorer (FUSE), međutim, otkrivaju varijacije faktora ~ 4 ($0.5 \leq y_{D,ISM} \equiv 10^5 (D/H)_{ISM} \leq 2.2$) za zastupljenosti deuterijuma i čak i veći opseg za zastupljenosti kiseonika, što je očito u konfliktu sa ovom pojednostavljenom pretpostavkom. Trenutna situacije je ta da zastupljenosti deuterijuma i kiseonika trenutno nisu jednako rasprostranjene u lokalnom međuzvezdanom prostoru. [4]

Primordijalna zastupljenost deuterijuma

Poređenjem $N(H\ I)$ i $N(D\ I)$ linijskih gustina dobijenih iz posmatranja pozadinskog UV zračenja koje prolazi kroz gas, možemo odrediti primordijalnu zastupljenost deuterijuma. Posmatranjem kvazara male metaličnosti koji su na velikim udaljenostima (izvan naše galaksije), svetlost koja sa njih putuje prolazi kroz oblake gasa, biva apsorbovana zahvaljujući Lajman- α seriji i otuda dobijamo podatke za $N(H\ I)$ i $N(D\ I)$.

Na slici 2. su date zastupljenosti deuterijuma u sedam QSOALS sa velikim crvenim pomakom, niske metaličnosti. Prosečna vrednost tih zastupljenosti nam pruža mogućnost da odredimo primordijalnu zastupljenost deuterijuma, $y_{DP} \equiv 10^5 (D/H)_p = 2.7 \pm 0.2$. Za ovu vrednost y_{DP} , zastupljenost bariona se procenjuje na $\eta_{10} = 6.0 \pm 0.3$. Ova procena zastupljenosti se odlično slaže sa vrednošću koja je nezavisno određena iz CMB, i koja iznosi $\eta_{10} = 6.1 \pm 0.2$. Ako uzmemo vrednosti barionske zastupljenosti predviđene od strane CMB da bi predvideli primordijalnu zastupljenost deuterijuma, dobijamo rezultat za $y_{DP} = 2.6 \pm 0.1$, što nam se savršeno poklapa sa vrednostima dobijenih od QSOALS. [3]

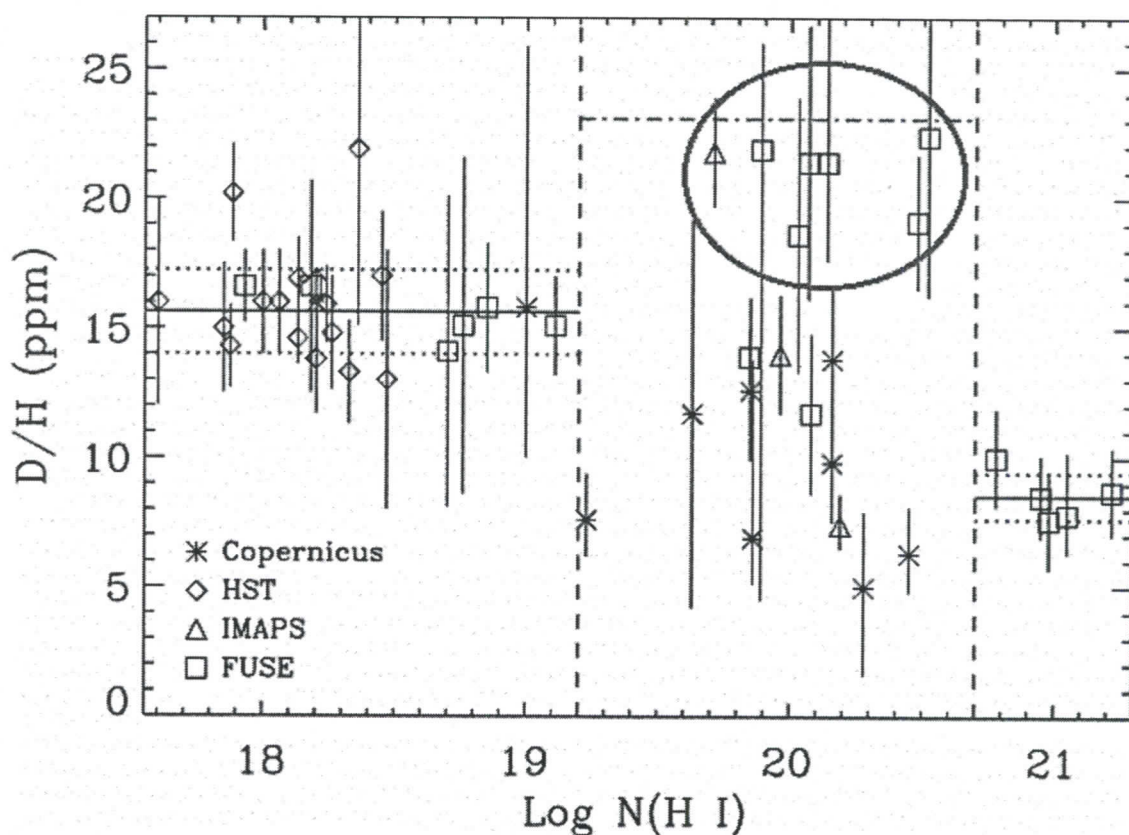


Slika 2. – Zastupljenost deuterijuma u odnosu na H, određena na osnovu posmatranja QSOALS na velikim crvenim pomacima, male metaličnosti, u funkciji od odgovarajućeg neutralnog vodonika H I linijske gustine. Puna linija ukazuje na srednju vrednost D/H odnosa, a isprekidana linija ukazuje na procenjenu grešku od $\pm 1\sigma$. [3]

Zastupljenost deuterijuma u lokalnoj međuzvezdanoj sredini

Zastupljenosti deuterijuma u lokalnoj međuzvezdanoj sredini, u granicama od 1 do 2 kpc od Sunca, se istražuju već više od 30 godina počevši sa posmatranjima uz pomoć *Copernicus* satelita i nastavljaju se sa serijom različitih UV detektora smeštenih u orbitu (npr. IUE, GHRS, HST) pa sve do IMAPS spektrografa na FUSE satelitu. Najjasnija analiza zastupljenosti se zasniva na podacima dobijenih od FUSE satelita.

Na slici 3. su nam prikazane vrednosti za odnos D/H u funkciji od H I linijske gustine merene za 47 posmatranih linija polja u krugu od 2 kpc [Linsky et al 2006]. Prema ovim podacima rezultate posmatranja unutar oblasti Lokalnog Mehura (eng. *Local Bubble* - LB) možemo podeliti na dva regiona, region gde su vrednosti $\log N(\text{H I}) < 19.2$ cm^{-2} , dok bi za drugi region uzeli opseg od $\log N(\text{H I}) = 19.2 - 20.7$ cm^{-2} . iz ovih podataka takođe vidimo i postojanje trećeg regiona, ali on izlazi iz granica LB, i reč je o lokalnom galaktičkom disku čija je granica na $\log N(\text{H I}) > 20.7$ cm^{-2} . [5]



Slika 3. – D/H vrednosti i $N(\text{H I})$ linijska gustina. Vertikalne isprekidane linije čine granicu između objekata koji se nalaze unutar Lokalnog Mehura i objekata koji se nalaze u graničnim oblastima. Pune horizontalne linije označavaju srednje D/H vrednosti za datu oblast, a isprekidane linije označavaju grešku u vrednosti od $\pm 1\sigma$ oko srednje vrednosti. [5]

Razmatrajući dobijene rezultate, uviđamo da su u regionima gde su vrednosti $\log N(\text{H I}) < 19.2 \text{ cm}^{-2}$, što odgovara udaljenostima od oko 100 pc, vrednosti za D/H su konstantne i iznose $15.6 \pm 0.4 \text{ ppm}^2$. Drugi region, tj. onaj region gde su vrednosti $\log N(\text{H I}) = 19.2 - 20.7 \text{ cm}^{-2}$, karakterišu uočljive varijacije u zastupljenostima deuterijuma, gde u pravcima pet zvezda zastupljenosti za D/H iznose oko 6 ppm, u pravcu pet zvezda imaju visoke vrednosti od oko 22 ppm i u pravcu preostalih devet imaju srednje vrednosti. Za visoke vrednosti $\log N(\text{H I})$ uočavamo da su vrednosti D/H veoma male. Tako da za $\log N(\text{H I}) > 20.7 \text{ cm}^{-2}$, imamo D/H vrednosti od oko $8.6 \pm 0.8 \text{ ppm}$. [5]

Ako se pretpostavljalo da je materija u lokalnoj sredini homogena, ove varijacije u zastupljenostima nam upravo tvrde suprotno. Stoga ćemo pokušati da ih objasnimo ako pretpostavimo da određena količina elemenata ulazi u sastav prašine koja se nalazi u međuzvezdanom prostoru.

² ppm – eng. *parts per million*

Prašina u međuzvezdanoj sredini

Pre nego što krenemo u detaljniju analizu zastupljenosti deuterijuma u lokalnom međuzvezdanom prostoru, pozabavićemo se prašinom, njenim sastavom, poreklom kao i uticajem prilikom određivanja zastupljenosti elemenata u Univerzumu.

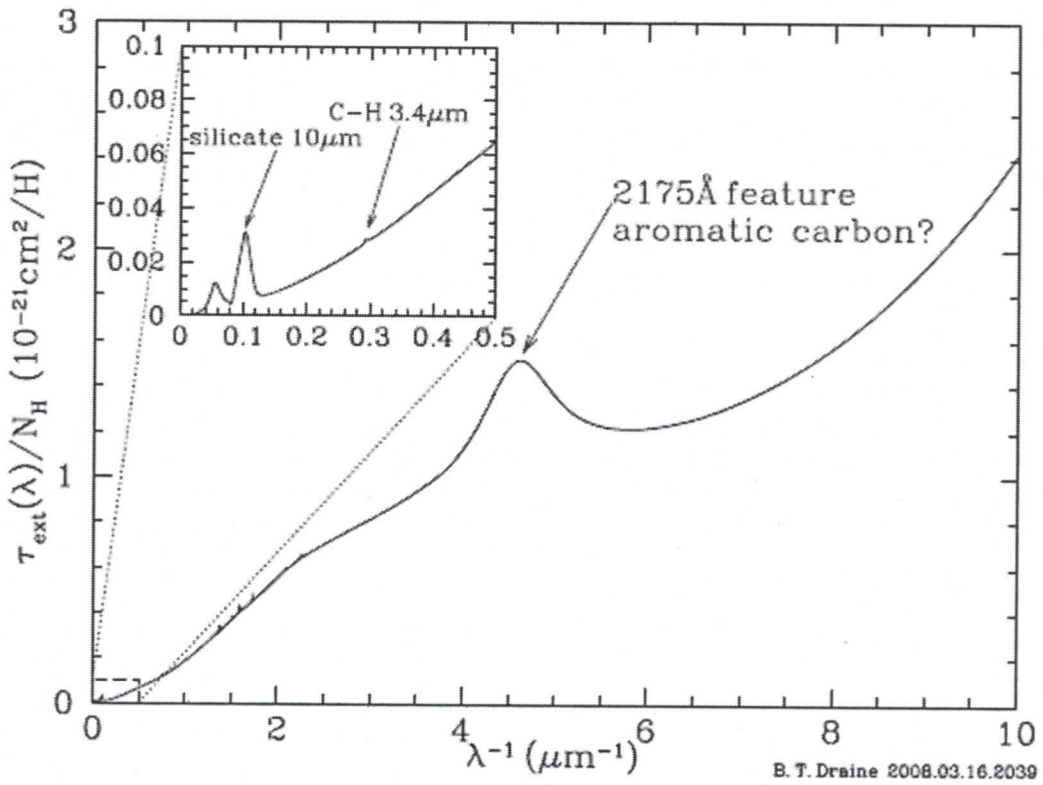
R. J. Trumpler je još 1930. godine je uočio da je crvenilo dalekih zvezda prouzrokovano mikročesticama prisutnim u međuzvezdanom prostoru, ali i posle 80 godina od tog otkrića mi nastavljamo da ispitujeemo sastav, oblik, veličinu i rasprostranjenost međuzvezdane prašine. Naše znanje o međuzvezdanoj prašini što se tiče njene veličine, oblika i sastava je uglavnom dobijeno iz njene interakcije sa elektromagnetnim zračenjem – atenuacija (apsorbicija i rasejanje), polarizacija zvezdane svetlosti i emisija infracrvenog i dalekog infracrvenog zračenja. Zrna koja su otkrivena u meteoritima i u česticama međuplanetrane prašine poreklom sa kometa takođe sadrže korisne informacije što se tiče prirode međuzvezdanih zrna prašine.

Pored atenuacije kao prvog konkretnog dokaza za postojanje prašine, kao dokaz imamo i zavisnost prigušenja od talasne dužine (ekstinkcije) zvezdane svetlosti. Kriva ekstinkcije ostaje glavni izvor informacija o međuzvezdanoj prašini (slika 4.). Međuzvezdana ekstinkcija je proučavana na talasnim dužinama između 2 μm i 0.1 μm . Kriva ekstinkcije ima kao najuočljiviju karakteristiku jaku izbočinu na 217.5 nm, gde da bi se ona stvorila mora postojati supstanca u kojoj je zastupljenost elemenata poput C, Mg, Si ili Fe jako visoka. Pretpostavlja se da ovu izbočinu stvaraju elektronski prelazi u aromatičnim ugljenicima, poput ugljenika u grafitu ili u policikličnim aromatičnim ugljovodonicima (eng. *polycyclic aromatic hydrocarbons* - PAH). Ovde takođe imamo i dve spektroskopske odlike u infracrvenom – jake apsorbcione linije na 9.7 μm i 18 μm karakteristične za silikate. Odsustvo fine strukture u profilu ukazuje na amorfnu strukturu silikatnog materijala. Primećuje se da kriva ekstinkcije sadrži oko 200 slabih ali uočljivih spektralnih linija tzv. „difuzne međuzvezdane linije“ (eng. *diffuse interstellar bands* - DIBs) gde čak ni posle 86 godina od kako je prva DIBs linija primećena, nisu uspeali da identifikuju ni jednu. [6]

U prilog ekstinkciji koja zavisi od talasne dužine, savremeni modeli prašine moraju biti u saglasnosti sa ostalim posmatranjima elektromagnetnog zračenja apsorbovanog, rasejanog ili izračenog od strane prašine. Tako imamo polarizaciju zvezdane svetlosti od strane međuzvezdanih čestica, rasejavanje zvezdane svetlosti od strane prašine u refleksionim maglinama tako da oblake prašine koji su u blizini sjajnih zvezda čine vidljivim, infracrvena i submilimateraska emisija zrna prašine koje bivaju zagrejane od strane zvezdane svetlosti i mikrotalasna emisija sa prašine.

Ako uzmemo u obzir da se količina koja nedostaje nalazi u sklopu čestica, onda se ove varijacije u zastupljenosti elemenata lako mogu time objasniti. Posmatranja elemenata koji su „iscrpljeni“ iz gasne faze međuzvezdanog oblaka nam ukazuju na to koji su elementi ostali zarobljeni u česticama. Određivanjem zastupljenosti tih elemenata (Fe,

Mg, Si i C) u međuzvezdanom prostoru i određivanjem onog dela koji se nalazi u gasu, možemo proceniti koliki će deo svakog elementa biti zarobljen u česticama.



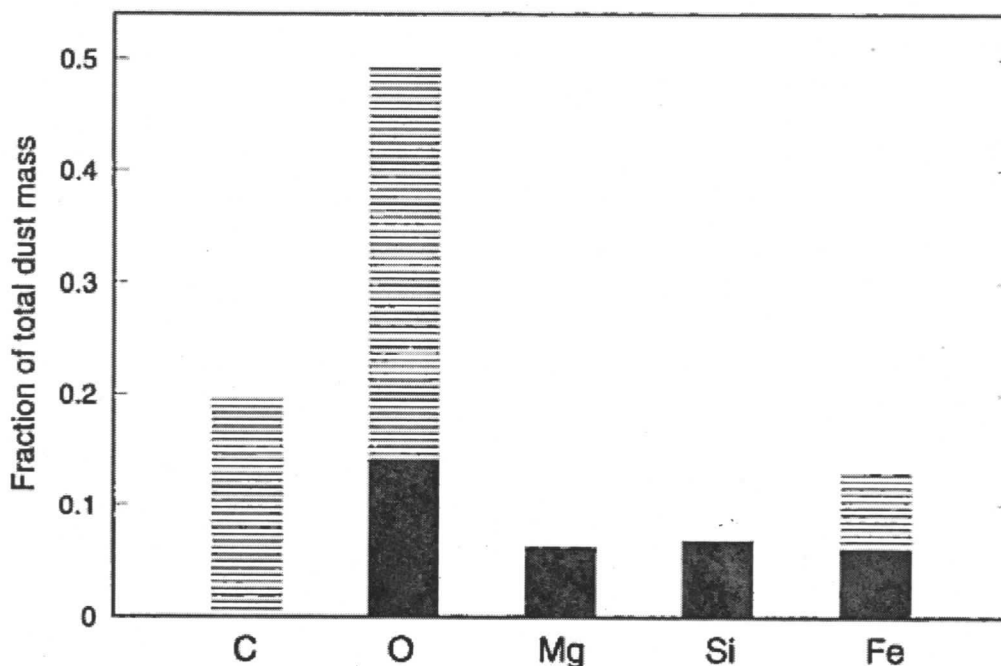
B. T. Draine 2008.03.16.2039

Slika 4. – Kriva ekstinkcije – slaba apsorbciona linija na 3.4 μm kod difuznih oblaka se pripisuje C-H istezanjima u alifatičnim ugljovodonicima. [6]

Sastav međuzvezdane prašine

Kada je reč o sastavu međuzvezdane prašine i dalje ne možemo biti toliko precizni i predstaviti samo jedan model kojim bi obuhvatili sve njene karakteristike. Informacije o njenom sastavu dobijamo iz spektralnih karakteristika kod ekstinkcije, rasejanja ili emisije. Podaci na koje najčešće nailazimo nam govore da u sastav prašine najčešće ulaze elementi kao što su Fe, Si, Mg, C i O. Fe, Mg i Si ulaze i do 99% od ukupne količine u gasu, C je zarobljen do 2/3 od njegove ukupne količine, i kiseonik oko 20%. Do ovih podataka o zastupljenosti se došlo zahvaljujući jakim apsorpcionim linijama na 9.7 μm i 18 μm karakterističnim za silikate, na osnovu uočljive izbočine na krivoj ekstinkcije na 217.5nm koja je pripisana ugljeničnim materijalima, kao i na osnovu temperature kondenzacije.

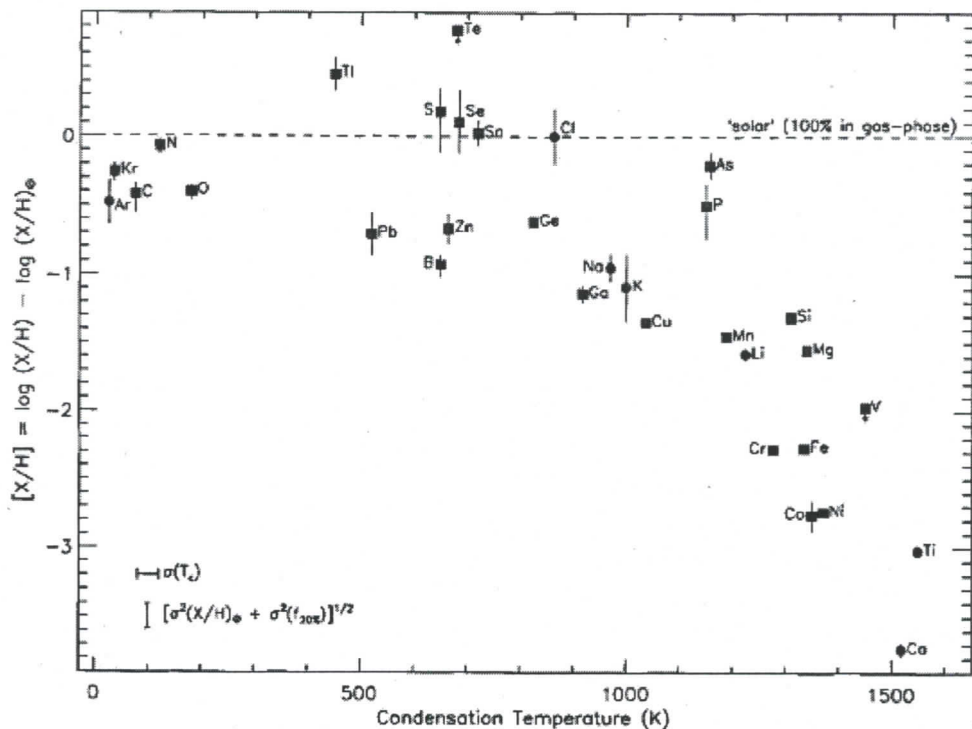
Elemente koji ulaze u sastav prašine možemo razvrstati po količini zastupljenosti u odnosu na broj H atoma. Tako su elementi poput C i O najzastupljeniji (≥ 300 ppm), znatno manje ima elemenata poput Fe, Mg i Si (~ 30 ppm), elemenata poput Na, Al, Ca i Ni ima još manje (~ 3 ppm) i na kraju elementi koji se pronalaze tek u tragovima su K, Ti, Cr, Mn i Co ($\sim 0.1 - 0.3$ ppm). (Slika 5.) [7]



Slika 5. - Udeo mase pet glavnih elemenata zastupljenih u prašini u difuznom zvezdanom oblaku u odnosu na ukupnu masu. Ovi elementi imaju solarne zastupljenosti iznad 10^{-6} ppm u odnosu na H i čine oko 95% mase koja je ušla u sastav prašine. Crnom bojom je obeležen udeo svakog elementa koji je možda vezan u olivinu $(\text{Mg,Fe})_2\text{SiO}_4$ ili piroksenu $(\text{Mg,Fe})\text{SiO}_3$ sa odnosom Mg:Fe od 5:2. [7]

Zastupljenost nekog elementa u prašini i gasu će zavistiti i od njegove temperature kondenzacije T_c (slika 6.) koja je definisana kao temperatura na kojoj 50% nekog elementa prelazi iz gasovite u čvrstu fazu (zrna prašine). Elementi koji se nalaze u međuzvezdanoj prašini mogu biti otporni na visoke temperature (eng. *refractory elements*) i isto tako postoje oni elementi koji nisu otporni na visoke temperature, tj elementi sa niskom T_c .

Na slici 6. vidimo zastupljenosti u gasovitoj fazi u funkciji od temperature kondenzacije u hladnom difuznom oblaku ζ Oph. Kvadratićima su obeleženi podaci sa GHRS³, a kružićima su obeleženi podaci dobijeni sa Copernicus satelita. Ovo predstavlja najkompletniji nama dostupan set zastupljenosti elemenata za bilo koji međuzvezdani oblak. U modelu zastupljenosti koji nam daje ovaj oblak vidimo da nedostatak zastupljenosti ima korelaciju sa temperaturama. Ekstremna umanjena zastupljenosti elemenata u gasu i prašini stvorenih eksplozijama supernovih (Ca, Ti, Fe itd.) mogu biti objašnjena kondenzacijom elemenata unutar molekularnih oblaka osim ako manje od 99.9% gasa nije prošlo kroz atmosferu hladne zvezde ili kroz obližnju maglinu.



Slika 6. – Zastupljenost u gasovitoj fazi u funkciji od T_c za međuzvezdani oblak ζ Oph. Podaci sa GHRS i Copernicus satelita. [9]

³ *The Goddard High-Resolution Spectrograph*

Odakle potiče međuzvezdana prašina?

Materija koja se oslobađa iz crvenih džinova bogatih kiseonikom u sebi ima silikate koji dospevaju u međuzvezdani prostor uz pomoć eksplozivnih aktivnosti koje se dešavaju na njihovoj površini. Ugljenične čestice i SiC dospevaju sa hladnih ugljeničnih zvezda. Planetarne magline takođe sadrže prašinu u sebi. Doprinos nova je jako mali, ali opet nije loše i njih spomenuti.

Iako znamo da eksplozije supernovih uništavaju prašinu, one joj isto tako i doprinose. Do tih informacija se došlo otkrićem čestica u nekim meteoritima kao i činjenica da infracrveni spektri ostataka supernovih ukazuju na formiranje prašine. Ovim putem se ne stvara mnogo prašine. Kao jedan od razloga ćemo uzeti i to da čestice prašine prilikom eksplozije supernovih idu jako velikom brzinom ($\sim 10^3 \text{ km s}^{-1}$) pri čemu dolazi do sudaranja sa drugim česticama i to dovodi do njihovog uništavanja.

Pored navedenih faktora koji dovode do stvaranja prašine, postoje i oni koji još uvek nisu dovoljno proučeni ili otkriveni. Zaključak je da je većina prašine nastala u međuzvezdanom prostoru, ali svega mali deo prašine je zvezdanog porekla nastao tokom evolucije zvezda.

Mehanizmi uništavanja prašine

Prašina se transformiše u gas prilikom sudara sa drugim objektima – fotonima, gasom, kosmičkim zracima, sa drugim česticama, ali ne rezultuju uništenjem prašine sve ove interakcije. Zanimljivi su oni mehanizmi koji vraćaju materiju iz prašine u gasovito stanje.

Fotoni i kosmičko zračenje. – Interakcije između fotona i čestica prašine daju različite ishode u zavisnosti od energije fotona i karakteristika površine čestice. Fotoni slabe energije (radio i IC) se slabo apsorbuju u prašinu kada im je talasna dužina veća od same čestice prašine. Fotoni iz vidljivog i UV dela spektra mogu biti apsorbovani ili rasejani. Energija reda nekoliko eV nije dovoljna da oslobodi atome sa površine, a isparljivi materijali poput leda imaju vezivne energije ispod jednog eV, stoga fotoni iz vidljivog i UV dela su i učinkoviti prilikom uništavanja prašine sačinjene od ovih materijala. Fotoni sa energijama većim od 5 eV mogu lako da odstrane atome sa površine kod većine čestica prašine.

Kosmički zraci predstavljaju još jedan faktor koji utiče na uništavanje prašine. Raderfordovo rasejanje je proporcionalno sa $(v_{cr}^{-3})^4$ tako da kosmički zraci sa najnižim energijama imaju najveći uticaj na čestice prašine. S obzirom da nas Sunce bombarduje kosmičkim zracima u ovom opsegu, nemamo predstavu kako vansolarni spektar kosmičkih zraka izgleda na ovim niskim energijama. Njihov udeo prilikom uništenja prašine i dalje ostaje otvorena tema za proučavanje.

⁴ Brzina udarnog talasa kosmičkih zraka

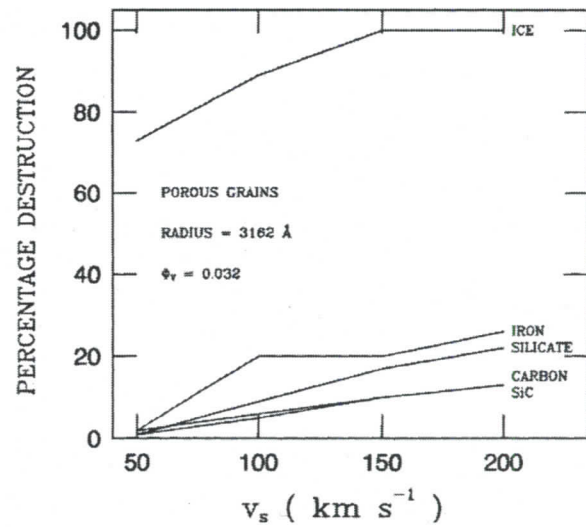
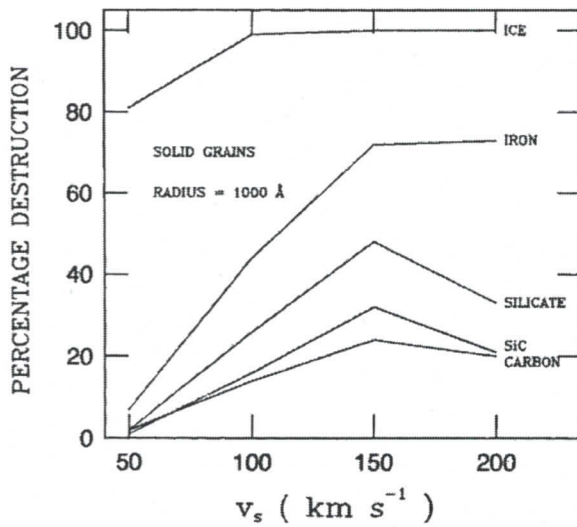


Raspršivanje - sudari gasa i čestice (eng. *sputtering*) – Primarni mehanizam za uništenje prašine su sudari čestica prašine sa jonima velike brzine ($v \geq 50 \text{ km/s}$) u sredinama sa velikom gustinom. Ovakvi uslovi se obično javljaju u oblastima koje su bile izložene udarnim talasima supernovih. Za silikate, grafit i gvožđe vezivna energija je $\sim 5 \text{ eV}$, a da bi raspršivanje bilo efikasno, brzina udarnog talasa mora biti $\geq 30 \text{ km/s}$. Ovaj mehanizam delimo u dve vrste: termalno i ne-termalno raspršivanje. Termalno raspršivanje se odnosi na slučaj kada je $v_{\text{gas}} \gg v_{\text{prašina}}$ stoga pretpostavljamo da prašina ima nultu brzinu u odnosu na gas pa su ove interakcije izotropne. Ne-termalno raspršivanje se odnosi na slučaj kada je $v_{\text{gas}} \ll v_{\text{prašina}}$ gde se pretpostavlja da se prašina kreće u fiksiranom oblaku gasa. Kombinacijom ova dva ograničena slučaja dobijamo ukupni doprinos raspršivanja na uništenje prašine.

Međusobni sudari čestica (eng. *shattering*) – Iako sudari čestica sa gasom imaju primarnu ulogu prilikom uništavanja prašine, međusobni sudari čestica su takođe veoma bitni. Zrna prašine mogu biti uništena sudarima sa drugim zrnima što dovodi do isparavanja prašine. Zrna prašine takođe mogu biti razorena u međusobnim sudarima ali ovo nije mehanizam uništavanja već prosta preraspodela mase prašine na manja zrna. U zavisnosti od relativne brzine zrna prašine može se desiti da pri brzini od $\sim 1 \text{ m/s}$ zrna mogu da se „slepe“ u veće čestice (međutim ovaj proces stvara zrna sa vrlo nekompaktnom površinom i lako se razgrađuju). Pri brzinama od $\sim 20 \text{ m/s}$ zrna prašine se jednostavno odbijaju jedna od drugih, ali zrna mogu biti uništena gde jedino projektil biva uništen osim ako zrna nisu sličnih masa. Sudari pri brzinama od $\sim 100 \text{ m/s}$ mogu da razore zrna koja su bila slabo povezana, a sudari pri brzinama od 1 km/s mogu da razore i zrna homogene građe.

Termalno raspršivanje, ne-termalno raspršivanje i isparavanje zrna prašine predstavljaju efikasne mehanizme koji metale vraćaju u gasovito stanje. Međusobni sudari čestica uništavaju veća zrna, ali zapravo pomažu pri očuvanju metala u prašini i time redukuju uticaj raspršivanja prilikom sudara čestica sa gasom. Već smo spomenuli da je proces uništavanja prašine mnogo kraći od procesa stvaranja prašine što nam sugerira da postoji efikasan mehanizam koji transformiše gas u prašinu ali koji nije još uvek dovoljno shvaćen.

Međutim, sastav prašine i brzina udarnog talasa utiču na to koji će proces dominirati prilikom uništavanja prašine. Za slabe udarne talase $\sim 50 \text{ km/s}$ međusobni sudari čestica će biti dominantan proces. Za jake udarne talase $> 200 \text{ km/s}$ će dominirati raspršivanje u kombinaciji sa termalnim raspršivanjem koje efikasno uništava manje čestice. Količina uništenih čestica u ovim procesima iznosi preko 50%. (slika 8.)



Slika 8. – Čestice koje su testirane svrstane su u dve grupe: čvrste i porozne u čiji sastav ulaze silikatni ugljenični materijali, gvožđe i led. U slučaju čvrstih čestica rezultati ukazuju na to da se čestice leda veoma lako razaraju i pri najslabijim udarnim talasima. Znatan procenat razaranja > 70% je primećen kod čestica gvožđa. Ovo se može objasniti velikom masenom gustinom gvožđa kao i time da su im brzine veće za 15% - 30% u odnosu na druge čestice. U slučaju poroznih čestica, čestice leda su se pokazale kao najmanje otporne na udarne talase. [11]

Analiza podataka i rezultati

Vrednosti za $(D/H)_{\text{gas}}$, $D(\text{Fe})$ i $D(\text{Si})$ korišćene u ovom radu su dobijene pomoću FUSE, HST, IUE⁵ i Copernicus satelita. Vrednost za $D(\text{Fe})$ i $D(\text{Si})$ se uzima kao zastupljenost elementa u gasu koja fali do solarne vrednosti, tj kao veličina koja je ostala vezana u prašini. Nazovimo to „osiromašenjem“ elementa, gde je za $D(\text{Fe}) = \log [(Fe/H)_{\text{gas}} - (Fe/H)_{\text{solarno}}]$ ⁶ i $D(\text{Si}) = \log [(Si/H)_{\text{gas}} - (Si/H)_{\text{solarno}}]$ ⁷. Svi posmatrani objekti se nalaze unutar 2kpc od Sunca osim objekata HD 191877 (2200 ± 550 pc) i HD 90087 (2740 ± 800 pc).

Podaci sa kojima smo raspolagali u ovom radu su statistički obrađivani u programu OriginPro 8. Pošli smo od pretpostavke da deuterijum ulazi u istu vrstu prašine kao i gvožđe i silicijum za koje znamo da su glavni konstituenti prašine, i da bivaju oslobođeni iz nje prilikom istih spoljnih uticaja, stoga je očekivano da postoji neka linearna korelacija između $(D/H)_{\text{gas}}$ vs $D(\text{Fe})$, $(D/H)_{\text{gas}}$ vs $D(\text{Si})$ i $D(\text{Fe})$ vs $D(\text{Si})$. Pošto smo odredili linearni fit za ove elemente u već spomenutom programu izračunali smo i koeficijent korelacije (r). U ovom radu smo tražili jednostavniju metodu računanja fita i koeficijenta korelacije (r), s obzirom da je ovaj metod sa obe greške po x i y osi dosta komplikovaniji i zahteva numeričko rešavanje. Koristili smo formulu za kombinovanje grešaka sa nezavisnim vrednostima:

$$\sigma(Y) = \sqrt{\left(\frac{\partial Y}{\partial x}\right)^2 \sigma^2(x) + \left(\frac{\partial Y}{\partial y}\right)^2 \sigma^2(y)}$$

Pošto je očekivana linearna veza među podacima koji se ispituju, imamo:

$$y = bx + a$$

Greške za y su uvećane za vrednosti x grešaka tako što smo računali novu ukupnu y grešku (σ_y):

$$\sigma_{yx}^2 = b^2 \sigma_{xm}^2$$

$$\sigma_y = \sqrt{\sigma_{yx}^2 + \sigma_{ym}^2} = \sqrt{b^2 \sigma_{xm}^2 + \sigma_{ym}^2}$$

gde je σ_{yx} grešaka y zbog greške x , σ_{ym} i σ_{xm} predstavljaju greške dobijene usled merenja, a b je nagib linearnog fita.

⁵ eng. *The International Ultraviolet Explorer*

⁶ $\log (Fe/H)_{\text{solarno}} = -4.55 \pm 0.05$

⁷ $\log (Si/H)_{\text{solarno}} = -4.49 \pm 0.04$

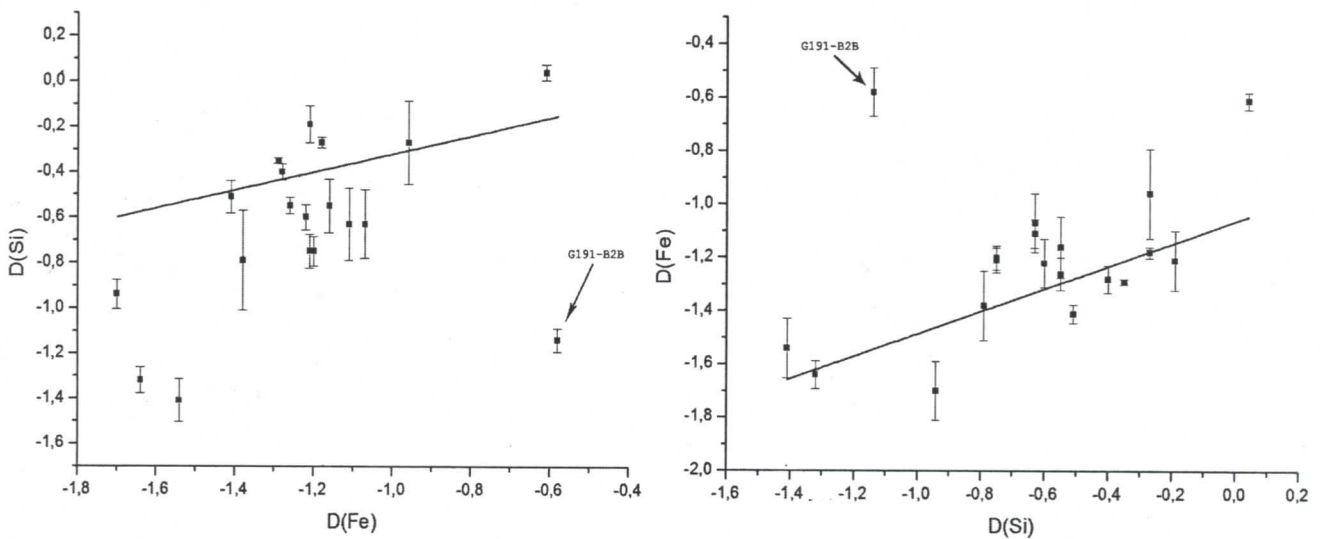
Nakon što smo našli način kako da tretiramo greške, koeficijent korelacije za vrednosti X i Y smo odredili u tri koraka:

1. prvo smo uradili linearni fit ali nismo uzeli u obzir greške za x i y , odakle smo dobili parametar b ,
2. zatim smo našli ukupnu grešku σ_y ,
3. na kraju smo fitovali x , y i σ_y i odredili r_{xy} koeficijent. Isti postupak ponovimo samo što sada vrednosti za X stavljamo na y osu, a Y vrednosti na x osu. Tako smo dobili dva koeficijenta korelacije r_{xy} i r_{yx} čijim smo usrednjavanjem dobili krajnju vrednost r .

Rezultati

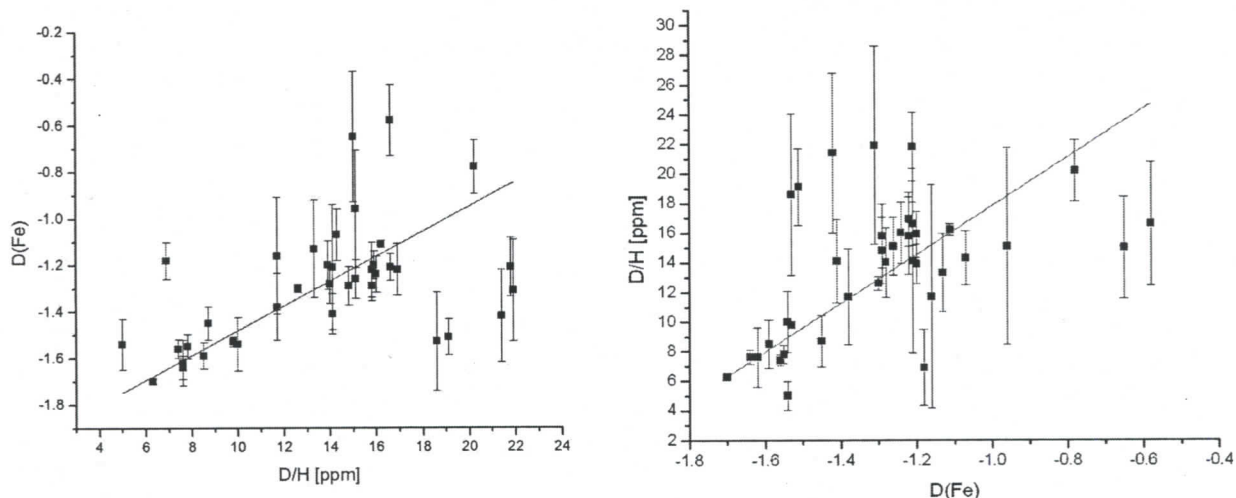
U ranijem tekstu smo već razmatrali činjenice da se izvesna količina elemenata nalazi u prašini te stoga tragamo za izvesnim korelacijama u zastupljenostima pojedinih elemenata. Ako deuterijum ulazi u sastav prašine isto kao i silicijum, prilikom mehanizama koji dovode do uništavanja prašine, očekivaćemo pozitivnu korelaciju (povećanjem količine deuterijuma u gasu povećaće se i količina silicijuma, što bi isto važno i za gvožđe). Iz (Linsky et al. 2006) nalazimo da je oblast Lokalnog Mehura poslednji put bila pod udarom talasa supernove pre otprilike 1-2 miliona godina i logično je očekivati da će se određena količina D, Si i Fe koja je bila zarobljena u prašini, osloboditi u vidu gasa. Ono što je interesantno je da je količina deuterijuma u Lokalnom Mehuru konstantna i iznosi 15.6 ± 0.4 ppm, što nije slučaj i sa Fe i Si. Pošto znamo da Fe i Si ulaze u sastav prašine, u pitanje dovodimo da li i D ulazi u prašinu i ako ulazi, u koji tip. Ono što je ovde možda slučaj je da Fe i Si nisu bili skroz oslobođeni iz prašine jer čine jezgra prašine, koja bivaju uništena pod jakim udarnim talasom. Nas interesuje zastupljenost deuterijuma u međuzvezdanoj sredini i u ovom radu nam je bio cilj da ustanovimo koji od ova dva elementa treba koristiti kao bolji indikator zastupljenosti deuterijuma u prašini.

Za početak ćemo uzeti korelaciju gvožđa i silicijuma za primer pošto već znamo da su ova dva elementa glavni konstituenti prašine. Poređenjem merenja D(Fe) i D(Si) dobijen je koeficijent korelacije $r = 0.42$ koji predstavlja slabiju korelaciju. Ovakva dobijena vrednost nam ukazuje na to da možda ova dva elementa ne ulaze u isti tip prašine kao što smo očekivali. Na osnovu ovoga dalje pretpostavljamo da će jedan od ova dva elementa imati bolju korelaciju sa deuterijumom tj. da će češće ulaziti u sastav prašine u čijem sklopu je deuterijum. Na slici 9. možemo videti kako je Si skoro u celosti izašao iz prašine a da je znatna količina Fe ostala zarobljena u prašini. Razlog tome je što silicijum mnogo brže izlazi iz prašine nego gvožđe.



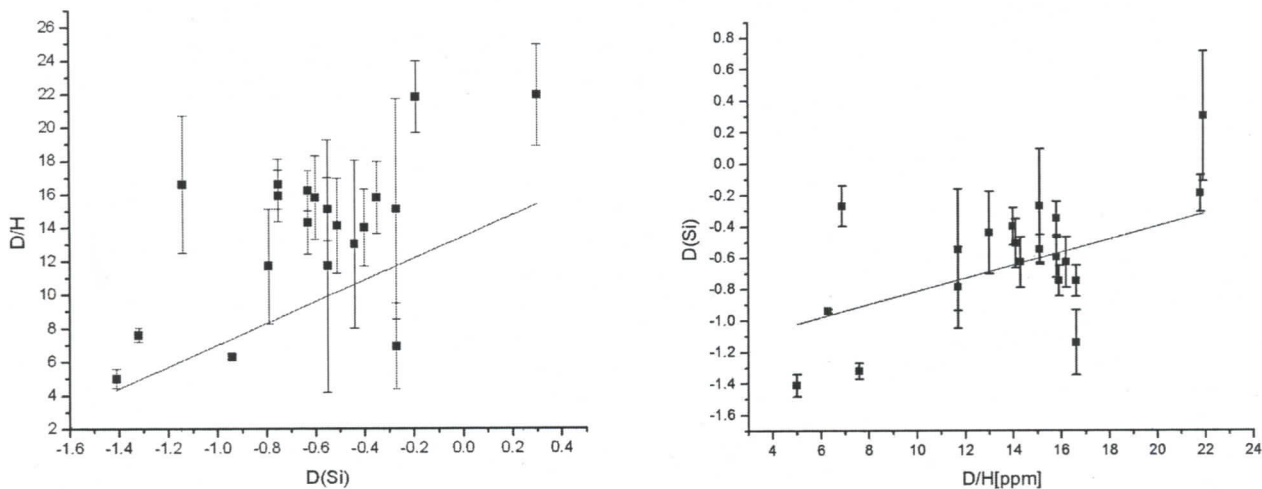
Slika 9. – Vrednosti $D(\text{Si})$ u funkciji od $D(\text{Fe})$ i obrnuto. U većini slučajeva Fe mnogo sporije izlazi iz prašine nego Si. Izuzetak je objekat G191-B2B gde je silicijum uglavnom ostao u prašini dok se veliki deo gvožđa vratio u gasovito stanje.

U radu Linsky et al. (2006.) se ukazalo da u regionu $\log N(\text{H I}) = 19.2 - 20.7 \text{ cm}^{-2}$ velike varijacije u odnosu D/H ne treba povezivati sa mogućim greškama nastalim usled merenja već ih treba objasniti na neki drugi način. Na slici 3. na strani 9 je uokvireno sedam objekata koji imaju povišenu količinu deuterijuma u gasu, oko 21 ppm, gde se može očekivati da će i vrednosti za $D(\text{Fe})$ i $D(\text{Si})$ biti visoke ako uzmemo u razmatranje da su ove oblasti bile pod uticajem eksplozije supernove koja je dovela do uništavanja prašine. Međutim, slučaj je da su vrednosti za $D(\text{Fe})$ jako niske i kreću se u rasponu od -1.21 do -1.53, što nam ukazuje da je Fe ostalo zarobljeno u prašini. Ovi podaci opravdavaju pretpostavke o prilivu materije male metaličnosti iz haloa galaksije ili iz galaksija blizu našoj, poput Velikog Magelanovog Oblaka (Prodanović & Fields, 2008). Uzmemo li sada vrednosti za $D(\text{Si})$ nailazimo na drugi problem – nedovoljan broj podataka. Izmerenih vrednosti za Si imamo samo za jedan objekat i on iznosi -0.19 što se veoma dobro uklapa u predviđanja da su objekti bili pod uticajem supernove (ovo nam ne daje puno informacija pošto je samo jedan objekat u pitanju pa nećemo donositi nikakve preuranjenje zaključke). Iz tih razloga smo se usresredili na druge objekte u ovom regionu za koje imamo izmerene vrednosti za Fe i Si. Primećeno je da se vrednosti $D(\text{Si})$ smanjuju (Si ulazi u prašinu) sve više kako se količina D smanjuje u gasu, a sa druge strane $D(\text{Fe})$ vrednosti su se kretale u opsegu od -1.16 do -1.7, što navodi na zaključak da gvožđe biva teže izbačeno iz prašine nego silicijum.



Slika 10. – Grafički prikazi korelacije D(Fe) u odnosu na D/H.

Na slici 10. je dat grafički prikaz korelacije D(Fe) u odnosu na D/H gde uočavamo pozitivnu korelaciju sa dobijenom vrednosti za koeficijent korelacije $r = 0.93$ što predstavlja vrlo jaku korelaciju, a to nam je bila prvobitna pretpostavka da je gvožđe više favorizovano od strane deuterijuma tj. da ova dva elementa češće ulaze u sastav prašine istog tipa. Međutim, kad malo bolje pogledamo grafike, uočavamo neka odstupanja koja mogu biti posledica velikih grešaka u merenju D(Fe).



Slika 11. – Grafički prikaz korelacije D(Si) u odnosu na D/H

Sada pogledajmo kakva je situacija sa silicijumom. Na slici 11. je prikazan odnos D(Si) u odnosu na D/H i možemo primetiti znatnu razliku u poredjenju sa graficima na slici 10. Naime, koeficijent korelacije koji smo dobili iznosi $r = 0.59$ što takođe predstavlja pozitivnu korelaciju ali ipak znatno slabiju kada uporedimo sa korelacijom

koju smo dobili za Fe u odnosu na D/H. Treba imati na umu da broj podataka koji su dostupni za Si je znatno manji nego za Fe ali i da su greške prilikom merenja manje, tako da je upitno koliko precizne zaključke možemo da donesemo na osnovu tako malog broja posmatranih objekata.

U diplomskom radu Uroša Meštrića je urađena detaljna analiza D(Fe) u odnosu na O/H koji je sličan konstituent prašine kao i deuterijum, gde je za srednji koeficijent korelacije dobijeno $r = - 0.48$ što predstavlja negativnu korelaciju. Na osnovu toga je zaključeno da kako se količina kiseonika u gasu povećava tako količina Fe u gasu opada tj. sve više ulazi u sastav prašine. Podaci za D(Si) u odnosu na zastupljenost kiseonika u gasu O/H su analizirani po istom principu. Koeficijent korelacije je i u ovom slučaju negativan, $r = - 0.32$, tj. korelacija između Si u prašini i O u gasu nije uočena. U oba slučaja nije dobijena očekivana korelacija između kiseonika sa Fe i Si, naprotiv, dobijena je antikorelacija što ne ide u prilog postojećim modelima.

Poređenjem O/H sa D/H su takođe dobijene negativne korelacije iz čega zaključujemo da sa povećanjem koncentracije kiseonika u gasu dolazi do opadanja koncentracije deuterijuma u gasu, što ne bi trebalo da je slučaj.

Na osnovu vrednosti D(Fe) i D(Si) u funkciji od linijske gustine vodonika N(H I) se vidi da zastupljenost oba elementa raste kako se udaljavamo od Sunca, odnosno kako idemo ka periferiji lokalnog mehura. Detaljnija analiza se može naći u radu.

Po svemu sudeći, iz ovih ispitivanja možemo da zaključimo da procesi koji su doveli do oslobađanja ispitivanih elemenata iz prašine ne utiču podjednako, odnosno da neki elementi brže prelaze u gasovito stanje. Što se tiče uočenih antikorelacija u odnosima kiseonika sa gvoždem i silicijumom možemo pretpostaviti postojanje nekih drugih procesa koji imaju ulogu u izgradnji prašine.

Zaključak

Ono što smo pokušali u ovom radu da ispitamo je da li prašina sama može da objasni nehomogenosti međuzvezdane sredine, i da li možemo sa sigurnošću da tvrdimo da ih možemo opravdati prisustvom prašine. Međutim, prašina ipak ne može biti tretirana kao jedini uzročnik ovoga. Pored prašine treba uzeti u razmatranje i priliv materijala iz oblasti haloa kao i iz manjih galaksija koje su u neposrednoj blizini naše Galaksije.

Dakle, da zaključimo:

- Prašinu zvanično ne uzimamo kao glavni i jedini faktor za varijacije deuterijuma, ali za sada jeste najbolje objašnjenje.
- Nehomogenost međuzvezdanog prostora se pripisuje postojanju čestica prašine i prilivu materije usled gravitacionih sila.
- Količina gvožđa u gasu opada kako idemo dalje od Sunca tj kako se bližimo krajevima Lokalnog Mehura, dok za deuterijum to ne možemo da tvrdimo.
- U slučaju silicijuma postoji problem malog broja podataka ali i mnogo manje greške nego za gvožđe.
- Iz dobijenih korelacija gvožđe mnogo bolje prati zastupljenosti deuterijuma od silicijuma, ali ovde se javlja problem manjka podataka za Si kao i problem velikih grešaka prilikom merenja Fe, tako da je poređenje nemoguće u tom slučaju.
- Korelacija između Fe i Si postoji, što je bilo i očekivano za konstituente prašine ali nedovoljno jaka te stoga pretpostavljamo da ulaze u različite tipove prašine. Pitanje koje ostaje otvoreno je da li D ulazi u obe vrste prašine.
- Korelacija između deuterijuma sa Fe i Si takođe postoji i pozitivna je što ide u prilog prisustva prašine, ali nam to i dalje ne potvrđuje da li je prašina jedini faktor koji utiče na zastupljenost elemenata u međuzvezdanoj sredini (gasna zastupljenost) jer se vide odstupanja.
- Podaci sa kojima smo raspolagali su i dalje kvantitativno nedovoljni za donošenje ozbiljnih zaključaka. Čeka se na nova istraživanja i merenja.

Literatura

- [1] Gary Steigman, "Primordial Nucleosynthesis : Successes and Challenges", *International Journal of Modern Physics E, Volume 15, Issue 01, pp. 1-35 (2006)*
- [2] Gary Steigman, "BBN and the Primordial Abundances", *Chemical Abundances and Mixing in Stars in the Milky Way and its Satellites, ESO ASTROPHYSICS SYMPOSIA. ISBN 978-3-540-34135-2. Springer-Verlag, 2006, p. 331*
- [3] Gary Steigman, "Tracking The Post-BBN Evolution of Deuterium", *FUTURE DIRECTIONS IN ULTRAVIOLET SPECTROSCOPY: A Conference Inspired by the Accomplishments of the Far Ultraviolet Spectroscopic Explorer Mission. AIP Conference Proceedings, Volume 1135, pp. 94-101 (2009)*
- [4] Gary Steigman "Connecting the Primordial and Galactic Deuterium Abundances", *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, Volume 378, Issue 2, pp. 576-580.*
- [5] Jeffrey L. Linsky et al. "What is the Total Deuterium Abundance in the Local Galactic Disk", *The Astrophysical Journal, Volume 647, Issue 2, pp. 1106-1124.*
- [6] B.T. Draine, "Perspectives on interstellar Dust Inside and Outside of the Heliosphere", *Space Science Reviews, Volume 143, Issue 1-4, pp. 333-345*
- [7] Doug C. B. Whittet "Dust in the Galactic Environment", *IOP Publishing Ltd 2003, ISBN 0 7503 0624 6*
- [8] Ulysses J. Sofia, "Interstellar Abundances and Depletions", *Astrophysics of Dust, ASP Conference Series, Vol. 309, Proceedings of the conference held 26-30 May, 2003 in Estes Park, Colorado. Edited by Adolf N. Witt, Geoffrey C. Clayton and Bruce T. Draine., p.393*
- [9] Blair D. Savage & Kenneth R. Sembach, "Interstellar Abundances From Absorption-Line Observations With The Hubble Space Telescope", *Annu. Rev. Astron. Astrophys. 1996. 34:279 – 323*
- [10] Bruce. T. Draine, "Interstellar Dust Models and Evolutionary Implications", *Cosmic Dust - Near and Far ASP Conference Series, Vol. 414, proceedings of a conference held 8-12 September 2008 in Heidelberg, Germany. Edited by Thomas Henning, Eberhard Grün, and Jürgen Steinacker. San Francisco: Astronomical Society of the Pacific, 2009, p.453*
- [11] Jones et al. "Grain Destruction in Shocks in the Interstellar Medium", *The Astrophysical Journal, 433:797-810, 1994 October 1*
- [12] Uroš Meštrić, "Uticaj Prašine na Zastupljenost Deuterijuma u Međuzvezdanoj Sredini" diplomski rad, 2010.
- [13] Prodanović & Fields, "FUSE Deuterium Observations: A Strong Case For Galactic Infall", *Journal of Cosmology and Astroparticle Physics, Issue 09, pp. 003 (2008).*

Biografija



Kristina Kaćanski je rođena 07.09.1984. godine u Novom Sadu. Po završetku osnovne škole „Sonja Marinković“ upisuje društveno-jezički smer Gimnazije „Isidora Sekulić“. 2003. godine upisuje studije Astronomije sa Atofizikom na Departmanu za Fiziku na Prirodno-Matematičkom Fakultetu u Novom Sadu.

Od 2007. do 2009. godine je bila aktivan član studentske neprofitne organizacije BEST Novi Sad. 2009. godine postaje volonter Muzeja Vojvodine i Muzeja Savremene Umetnosti Vojvodine u Novom Sadu.

Svoje obrazovanje bi volela da nastavi u oblasti muzejskih nauka u cilju osavremenjivanja metoda rada muzeja, a naročito u polju prirodnih nauka.

SADRŽAJ

I	Uvod	3
	1. Nukleosinteza Velikog Praska	4
	2. Zastupljenost deuterijuma	7
	3. Primordijalna zastupljenost deuterijuma.....	7
	4. Zastupljenost deuterijuma u lokalnoj međuzvezdnoj sredini	9
II	Prašina	11
	5. Prašina u međuzvezdnoj sredini	11
	5.1 <i>Sastav međuzvezdane prašine</i>	13
	5.2 <i>Odakle potiče međuzvezdana prašina?</i>	15
	5.3 <i>Mehanizmi uništavanja prašine</i>	17
III	Analiza podataka i rezultati	18
	6. Rezultati	19
	7. <i>Zaključak</i>	23
	<i>LITERATURA</i>	24
	Biografija	25

UNIVERZITET U NOVOM SADU
PRIRODNO-MATEMATIČKI FAKULTET

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

Redni broj:
RBR

Identifikacioni broj:
IBR

Tip dokumentacije:
TD Monografska dokumentacija

Tip zapisa:
TZ Tekstualni štampani materijal

Vrsta rada:
VR Diplomski rad

Autor:
AU Kristina Kačanski

Mentor:
MN Dr. Tijana Prodanović

Naslov rada:
NR Ispitivanje korelacije deuterijuma sa elementima međuzvezdane prašine

Jezik publikacije:
JP srpski (latinica)

Jezik izvoda:
JI srpski/engleski

Zemlja publikovanja:
ZP Srbija i Crna Gora

Uže geografsko područje:
UGP Vojvodina

Godina:
GO 2010

Izdavač:
IZ Autorski reprint

Mesto i adresa:
MA Prirodno-matematički fakultet, Trg Dositeja Obradovića 4, Novi Sad

Fizički opis rada:
FO 5/182/32/0/71/0/3

Naučna oblast:
NO **ASTROFIZIKA**

Naučna disciplina:
ND

Predmetna odrednica/ ključne reči:
PO Deuterijum, prašina, međuzvezdana sredina

UDK

Čuva se:
ČU Biblioteka departmana za fiziku, PMF-a u Novom Sadu

Važna napomena:
VN nema

Izvod:
IZ

Datum prihvatanja teme od NN veća:
DP 30. 06. 2010.

Datum odbrane:

DO

07. 07. 2010.

Članovi komisije:

KO

Predsednik:

Dr. Milan Pantić

član:

Dr. Tijana Prodanović

član:

Dr. Dušan Mrda

UNIVERSITY OF NOVI SAD
FACULTY OF SCIENCE AND MATHEMATICS

KEY WORDS DOCUMENTATION

Accession number:
ANO

Identification number:
INO

Document type: Monograph publication
DT

Type of record: Textual printed material
TR

Content code: Final paper
CC

Author: Kristina Kačanski
AU

Mentor/comentor: Dr. Tijana Prodanović
MN

Title: Exploring the Correlation Between Deuterium and Interstellar Dust
TI
Constituents

Language of text: Serbian (Latin)
LT

Language of abstract: English
LA

Country of publication: Serbia and Montenegro
CP

Locality of publication: Vojvodina
LP

Publication year: 2010
PY

Publisher: Author's reprint
PU

Publication place: Faculty of Science and Mathematics, Trg Dositeja Obradovića 4, Novi Sad
PP

Physical description: 5/182/32/0/71/0/3
PD

Scientific field: Astrophysics
SF

Scientific discipline:
SD

Subject/ Key words: Deuterium, dust, Interstellar medium
SKW

UC

Holding data: Library of Department of Physics, Trg Dositeja Obradovića 4
HD

Note: None
N

Abstract:
AB

Accepted by the Scientific Board: 30. 06. 2010.
ASB

Defended on:

07. 07. 2010.

DE

Thesis defend board:

DB

President:

Dr. Milan Pantić

Member:

Dr. Tijana Prodanović

Member:

Dr. Dušan Mrđa

