

## Gradijenti brzina u molekularnim oblacima L1235, L1251 i L1274

---

*Analizirani su spektri molekula ugljen-monoksida ( $^{13}\text{CO}$ ) i ugljenik-sulfida (CS) tamnih molekularnih oblaka L1235, L1251 i L1274, posmatrani na 20-m teleskopu Onsala Space Observatorije (Švedska). Proučavana je raspodela radijalnih brzina i izračunati su gradijenti brzina po izabranim pravcima. Pravce preseka duž oblaka smo izabrali tako da potvrđuju ili opovrgavaju hipotezu da su ovim molekularni oblaci pretrpeli sudar sa udarnim talasom tokom svojeg života: za L1235 i L1251, to su preseki po konstantnoj Galaktičkoj latitudi i konstantnoj deklinaciji, respektivno. Detektovani su linearni gradijenti od 0.2 km/s/pc (za L1235,  $^{13}\text{CO}$ ) i približno 2-3 i 1-2 km/s/pc (za L1251,  $^{13}\text{CO}$  i CS – deo glava i deo rep respektivno). Zavisnost brzine od položaja (pravac NW-SE) u L1274 ukazala je na rotaciju oblaka oko ose normalne na pravac koji je uzet, što može biti indikacija čeonog sudara oblaka sa udarnim talasom.*

---

Međuzvezdanu materiju (ISM, od engleskog Interstellar Matter) čine međuzvezdani gas i međuzvezdana prašina. Međuzvezdani gas se najvećim delom sastoji od neutralnog vodonika (HI), sa oblastima u kojima dominiraju ili jonizovani vodonik (HII) ili vodonik u obliku molekula ( $\text{H}_2$ ). Takvi regioni sa koncentracijom molekularnog vodonika nazivaju se molekularnim oblacima. U morfološkom pogledu, molekularni oblaci se mogu svrstati u dve kategorije: džinovske molekularne oblake (GMC – Giant Molecular Clouds) sa masom gasa i do reda milion Sunčevih masa, temperature 30–100 K i dimenzijama reda  $10^2$  pc, i tamne molekularne oblake, mase do  $10^3 M_\odot$ , temperature 10–30 K i dimenzija reda 10 pc (vidi npr. Harju 1993). Posmatranja visokih prostornih rezolucija ukazuju na veoma složenu strukturu oba tipa oblaka.

Galaktički molekularni oblaci su mesta gde nastaju nove zvezde i u većini slučajeva imaju efikasnost stvaranja zvezda manju od 5% (efikasnost stvaranja zvezda, SFE – Star Forming Efficiency, predstavlja odnos masa mladih zvezda i ukupne mase (gas) oblaka, uključujući i zvezde). Za

---

*Nenad Božinović  
(1980), Niš, Patrisa  
Lumumbe 4/5, učenik  
3. razreda Gimnazije  
Svetozar Marković  
u Nišu.*

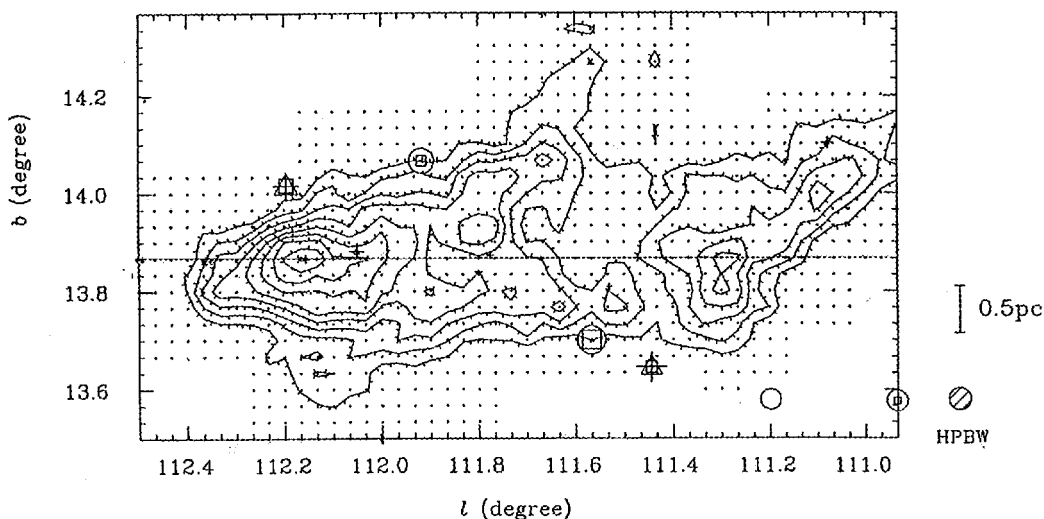
**MENTOR:**

*Mr Silvana Nikolić,  
Eötvös Loránd  
University, Budapest,  
Hungary; i  
Astronomska  
opservatorija Beograd*

nastajanje mlade-nove zvezde prisustvo molekula je presudno: molekuli putem rotacionih (manjim delom i vibracionih) prelaza emituju fotone, čime smanjuju kinetičku energiju gasa u oblaku i omogućuju kolaps gasa na mestima gde je gustina bila veća. Glavni razlog zašto svi molekuli ne disociraju na atome usled spoljašnjeg ultraljubičastog (UV) i kosmičkog zračenja, je činjenica da imaju svojevrsan štit: čestice prašine koje apsorbuju UV zračenje (i ponovo ga emituju u IR delu spektra) i spoljašnji CO omotač oblaka.

Struktura ISM na nivou galaksije veoma podseća na izgled sapunice. Unutrašnjosti mehurova (ono što mi vidimo je 2D projekcija na nebu) su oblasti u kojima ima malo ili nimalo molekulskog i atomskog gasa i prašine. Materije koja nedostaje praktično je uklonjena jakim i kontinuiranim vetrovima mladih (OB) zvezda i asocijacija i/ili eksplozijom supernovih. Preostali gas u unutrašnjosti mehura može se detektovati u X području što ukazuje na visoke temperature. Materija je oduvana na obod mehura, i usled njenog nagomilavanja registrujemo povećanu gustinu zračenja u radio (gas) i infracrvenom području (prašina). U načelu, ukoliko molekularni oblak ima oblik komete (prostiranje oblaka definišemo rasporedom integralnih radio izofota) kao što je slučaj sa L1235 (slika 1), smatra se da je to zaostavština bočnog sudara molekularni oblak – udarni talas (bočni – po pravcu normalnom na našu vizuru). Međutim, sam oblik nije dovoljan dokaz za ovaj scenario. Jedna od stvari koja može podržati ovu hipotezu je postojanje linearnog gradijenta radijalne brzine duž oblaka. (Pošto zračenje molekulskog vodonika nije moguće detektovati u radio području, posmatraju se zračenja drugih molekula, najčešće ugljen-monoksid. Treba imati u vidu da su gustina i pritisak gasa u ISM-u ekstremno niski, pa su čak i gusti regioni (recimo  $n \approx 3 \times 10^6$  atom  $\text{cm}^{-3}$ ) bliži vakuumu od onog koji se može postići u zemaljskim laboratorijama. U kosmičkim uslovima za pobuđenje zračenja, recimo, CO i izomera  $^{13}\text{CO}$ , u načelu je dovoljna i retka sredina od  $10^2$ - $10^3$   $\text{cm}^{-3}$ , dok je za pobuđenje zračenja drugih molekula neophodna sredina veće gustine – CS i  $\text{NH}_3$  obično zahtevaju gustine od  $10^4$ - $10^5$   $\text{cm}^{-3}$ )

Tamni molekularni oblaci L1235, L1251 i L1274 (katalog B.T. Lynds, 1962) nalaze se u Cep-Cas (Cefej-Kasiopeja) oblasti koja, zasad, nije mnogo proučavana. CO pregled Cefejevog kompleksa molekularnih oblaka (Grenier *et al.* 1989) ukazuje na oblast u kojoj, u suštini, nema međuzvezdanog molekularnog gasa. Dok se oblaci L1235 i L1251 nalaze na zapadnoj granici te praznine, L1274 nalazi se usred praznine. Sa ivicom Cefejevog molekularnog kompleksa poklapa se i jedan od detektovanih lukova u infracrvenom području (Kiss 1998 i <http://innin.elte.hu/staff/IRAS Loops.html>). Položaj, udaljenosti do oblaka (Kun&Prusti 1993, Kun 1998, Nikolić 1998) i njihov oblik, uočen na preliminarnim mapama oblaka, na-



vode na hipotezu da su sva tri oblaka u svojoj istoriji preživela dejstvo udarnog talasa. Zbog visokog položaja ( $b = 15^\circ$ ), kao i zbog visokog SFE-a (10%), tamni oblak L1251 je često bio tema za posmatranja u optičkom, radio i infracrvenom području. Sa druge strane, L1235 i L1274 su relativno nepoznati tamni oblaci.

Cilj ovog rada je određivanje gradijenata radialne brzine na odgovarajućim pravcima u tamnim oblacima L1235, L1251 i L1274. Preliminarne mape (u  $^{13}\text{CO}$  molekulu) ukazuju da su L1235 i L1251 pretrpeli bočni udarni talas (morfološki oblik komete) dok je L1274 izgledao kao da je preživio udar sa lica ili straga. Gradijent je računat po pretpostavljenom pravcu udarnog talasa: za L1235 i L1251 uzet je pravac W-E po konstantnoj latitudi odnosno deklinaciji, a za L1274 pravac NW-SE.

## Metod

Radio spektri se dobijaju na način analogan dobijanju optičkih spektara: prijemnik radio-teleskopa podesimo na odgovarajuću frekvenciju, izaberemo opseg posmatranja i centriramo na određenu frekvenciju. U našem primeru, prijemnik je bio podešen na 110.201353 GHz i 97.980958 (za  $^{13}\text{CO}$  i CS, respektivno), opseg od 40 MHz (najfinija frekventna odn. brzinska rezolucija), centriranje je zavisilo od oblaka: na (ekvivalent od)  $-4$  km/s za L1235 i L1251 i  $-3$  km/s za L1274. Iz jednačine Doplerovog efekata imamo linearnu zavisnost između promene frekvencije i radialne brzine (Božinović 1997).

Zbog veće preglednosti, umesto koordinata tačaka uvedena su njihova odastojanja (ofseti) od odabranog centra. Koordinate centara za oblake date su u tabeli 1. Na raspolaganju smo imali  $^{13}\text{CO}(1-0)$  spektre za L1235 i

Slika 1.

Mapa tamnog oblaka L1235 u molekulu  $^{13}\text{CO}$ , dobijena na Nagoya radio teleskopu; razdvojna moć  $4.7''$ ; konture od  $1$  K km/s, sa korakom od  $0.5$  K km/s. Naznačen je pravac po kome je računat gradijent brzine.

(Izvor: Sato, F 1995, privatna komunikacija)

Figure 1.

The  $^{13}\text{CO}(1-0)$  line integrated intensity map obtained on Nagoya Radio Telescope (Japan); HPBW is  $2.7''$ , contours from  $1$  K km/s by  $0.5$  K km/s.

The velocity gradient is calculated by direction indicated on the plot.

(Source: Sato, F 1995, personal communication)

L1274, a za L1251 i  $^{13}\text{CO}$  i CS spektre. Spektri su uzimani sa korakom od  $1'$  za L1235 i L1251, i približno  $0'.7$  za L1274 (dijagonala ćelije  $30'' \times 30''$ ). Gradijent je određivan kao koeficijent pravca prave kojom je aproksimirana zavisnost  $v(\Delta l)$ , izuzmajući dvostruke vrednosti. Računate su apsolutne vrednosti gradijenta (kako je to uobičajeno u literaturi). Obrada je izvršena u programu Origin. Podaci su dobijeni ljubaznošću Silvine Nikolić, na osnovu posmatranja koja su izvršena na 20-metarskom radio-teleskopu Onsala Space Observatorije, januara 1997.

Tabela 1. Koordinate centra za L1235, L1251H, L1251T i L1274

Oblak	Koordinate centra	
L1235	$l = 112^\circ$	$b = 13^\circ 50'$
L1251 head	$\alpha = 22^{\text{h}}36^{\text{m}}30^{\text{s}}$	$\delta = 74^\circ 56'$
L1251 tail	$\alpha = 22^{\text{h}}27^{\text{m}}$	$\delta = 74^\circ 58'$
L1274	$l = 118^\circ 10'$	$b = 8^\circ 50'$

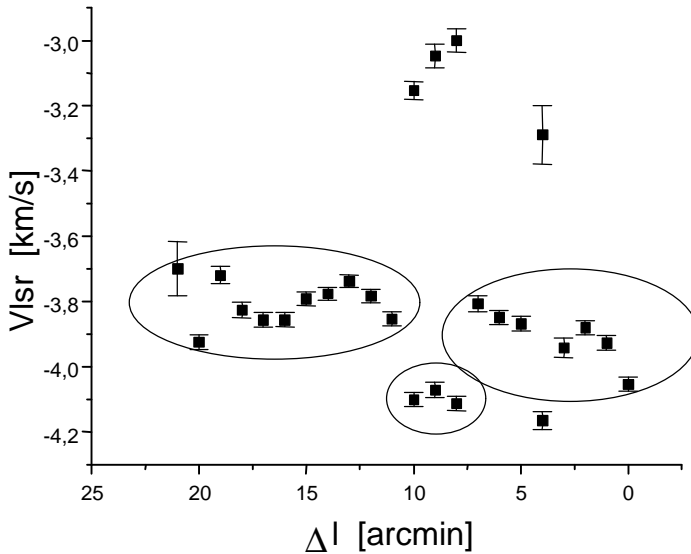
## Rezultati i diskusija

Dobijene vrednosti za gradijente i njihove greške date su u tabeli 2. Gradijenti brzine su detektovani u L1235 i L1251, što možemo protumačiti kao uticaj udarnog talasa. Zavisnost brzine od položaja u L1274 jasno je ukazala na rotaciju oblaka duž ose uzorka uzetih spektara, sto može biti indicacija čeonu interakcije sa udarnim talasom. Kod određenog broja podataka mogu se uočiti dve radijalne brzine na istom ofsetu, što znači da se na tim pozicijama linija zračenja mogla fitovati sa dva gausijana. U tim slučajevima situacija je nejasna, budući da postoje dva moguća objašnjenja: (1) da postoje, u pravcu posmatranja, dva sloja oblaka, bliskih ali različitih brzina, a moguće je i (2) da postoji efekat samo-apsorpcije u kome hladniji gas apsorbuje svoje sopstveno zračenje. Kod dvostrukih vrednosti razmatrane su one tačke koje dobro odgovaraju linearnoj zavisnosti.

Tabela 2. Gradijenti brzine (u  $\text{km s}^{-1}/\text{arcmin}$ ).

Molekul	Oblak			
	L1235	L1251 head	L1251 tail	L1274
$^{13}\text{CO}$	$0.010 \pm 0.004$	$0.082 \pm 0.015$	$0.016 \pm 0.014$	$0.027 \pm 0.011$
CS	–	$0.128 \pm 0.011$	$0.083 \pm 0.015$	–

U daljem tekstu analizirani su gradijenti za svaki oblak posebno. Za L1251 posebno su razmatrani podaci za čeonu (H) i repnu (T) deo.



Slika 2.  
Zavisnost brzine od  
rastojanja kod  
oblaka L1235  
za molekul  $^{13}\text{CO}$ .

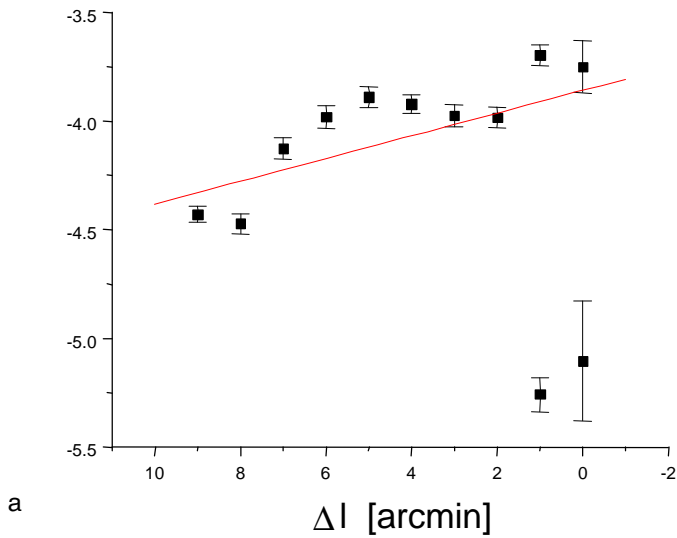
Figure 2.  
L1235:  $^{13}\text{CO}$  velocity  
vs distance graph.

## L1235

U tabeli 2 uočavamo male gradijente brzine. Na osnovu podataka za  $^{13}\text{CO}$  mogu se uočiti tri gušće oblasti: centar (tačke sa ofsetom 8, 9 i 10) i dve oblasti levo i desno od centra (slika 2). Postoji i mogućnost da su posmatranjima u  $^{13}\text{CO}$ , koja detektuju manje guste oblasti, detektovani samo omotači jezgra čiji gradijent (i radijalna brzina uopšte) odstupaju od gradijenta gušćeg jezgra. Takođe postoji i mogućnost da je uzimanje spektrara sa rastojanjem od jednog lučnog minuta (širina glavnog snopa ovog teleskopa na datim frekvencijama je između  $35''$  i  $40''$ ) dovelo do nedovoljne dobre pokrivenosti gasa, i samim tim ostavilo mogućnost da se osobine gasa značajnije promene između dva susedna položaja. Oblak se nalazi na udaljenosti od 300 pc (Kun 1998), što znači da jedan spektar daje zračenje gasa linearne rasprostanjenosti oko 0.05-0.06 pc, dok je oko 0.03 pc do sledećeg spektra nepokriveno .

## L1251H

Prvi grafik (slika 3a) ukazuje na mogućnost da se čeonni deo oblaka sastoji od više jezgara. I zaista, T A2th i Walmsley (1996) su posmatranjima (2,2)-(2,2) prelaza amonijaka ( $\text{NH}_3$ ) definisali tri gusta jezgra u ovom delu oblaka L1251. Sličan trend vrednosti gradijenta za posmatranja u  $^{13}\text{CO}$  i CS molekulu ukazuje na jedinstvene oblasti, a različite vrednosti na detektovanje različitih delova oblaka (spoljašnjeg i unutrašnjeg). Rastojanje do oblaka iznosi 300 pc (Kun i Prusti 1993), iz čega sledi da  $1'$  odgovara rastojanju 0.87 pc. Registrovana jezgra u proseku imaju oko



Slika 3.  
Zavisnost brzine od  
rastojanja kod L1251  
u head oblasti za  
molekule:

a –  $^{13}\text{CO}$   
b – CS.

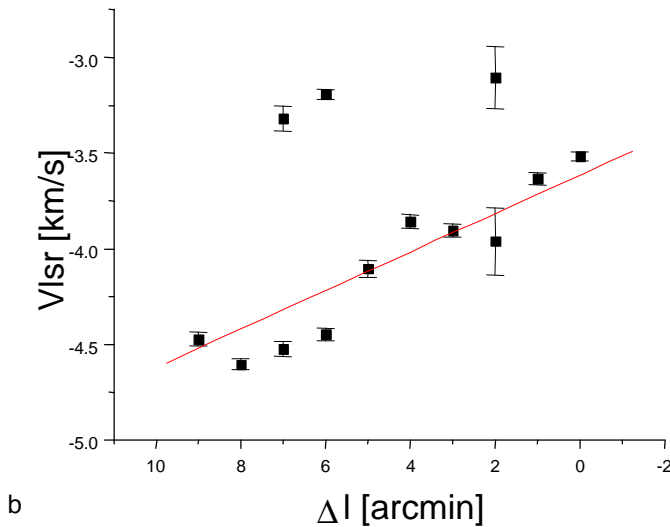


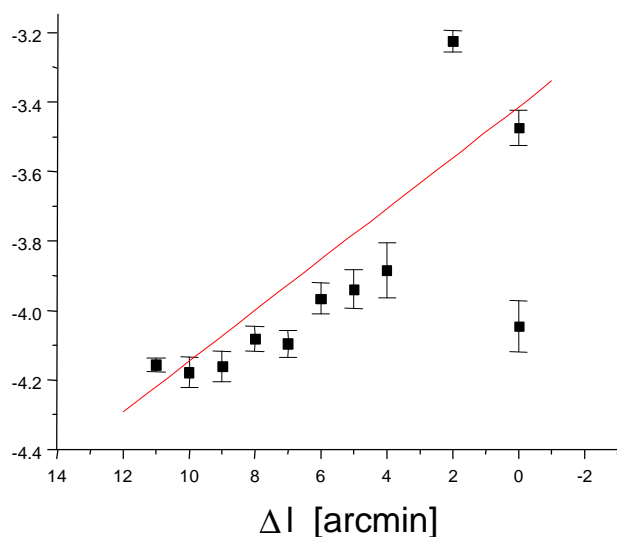
Figure 3.  
L1251H: velocity vs  
distance

a –  $^{13}\text{CO}$   
b – CS molecule.

0.3 pc. Relativno veliki gradijent, u saglasnosti je sa gradijentom detektovanim iz posmatranja amonijaka (T A2th i Walmsley 1996) koji su autori naveli kao jak argument u prilog interakcije oblak – udarni talas.

### L1251T

I ovde se mogu uočiti različite oblasti veće gustine, koje su jasno izražene u  $^{13}\text{CO}$ , a nešto slabije u zračenju CS (slika 4). Na pravcu sa ofsetom 3 nije detektovana linija CS, što navodi na zaključak da možda ne postoji dovoljno gust gas između amonijačnih jezgra T3 i T4 (T A2th i Walmsley 1996). Primećeno je dosta dvostrukih radijalnih brzina u  $^{13}\text{CO}$  duž cele oblasti.



Slika 4.  
Zavisnost brzine od  
rastojanja kod L1251  
u tail oblasti za CS.

Figure 4.  
L1251T: CS velocity  
vs distance.

## L1274

Zavisnost brzine od položaja u L1274 ukazuje na rotaciju oblaka oko ose normalne na pravac koji je uzet, što je indikacija čeone interakcije sa udarnim talasom. Samim tim, dobijene vrednosti gradijenata su reda veličine greške.

Iz table 2 jasno se primećuju takozvani loši gradijenti čije su vrednosti približne vrednostima greške, što ukazuje da nema jasne rotacije tih oblasti. Sa druge strane, kod head i tail oblasti u L1251 jasno se uočava rotacija, pošto su vrednosti gradijenta i do 11 puta veće od greške (na primer CS). Iz Goodman *et al.* (1993) saznajemo da odnos vrednosti i greške, dakle recipročna vrednost relativne greške, može da pređe 20 što bi se moglo nazvati dobrim gradijentom. Najbolji gradijenti dobijeni su u slučaju L1251 što možda može da objasni zašto je u literaturi ovom oblaku poklonjena tolika pažnja (npr. Goodman et al. 1993; T A2th *et al.* 1995; T A2th and Walmsley 1996). Primetimo da kada izračunavamo gradijent za ceo oblak, mi ustvari merimo kretanje jezgara jednih u odnosu na druge, dok pri merenju pojedinačnih gradijenata za svako jezgro, možemo dobiti druge rezultate vezane sa samu rotaciju jezgara.

Dobijeni rezultati za oblak L1251 su u saglasnosti sa iznosima gradijenta brzine objavljenih u literaturi (Goodman *et al.* 1993, T A2th i Walmsley 1996). Svoje rezultate ova dva autora tumače na različite načine: Goodman ih uzima kao dokaz koji ide u prilog tezi o rotaciji oblaka kao celine (aproximacija rotacijom krutog tela), dok T A2th daje tumačenje kojim se podržava hipoteza o oblaku koji je pretrpeo dejstvo udarnog talasa sa boka. Oblaci L1235 i L1274, odnosno detektovani gradijenti

brzine, po našem mišljenju, zahtevaju dodatno istraživanje pre donošenja konačnog zaključka.

**Zahvalnost.** Zahvaljujem se svom mentoru Silvani Nikolić na korisnim savetima kao i zbog toga što mi je omogućila celokupnu literaturu do koje je, inače, teško doći.

---

## Literatura

- Božinović, N. 1997. Određivnje strukture Mlečnog Puta iz posmatranja neutralnog vodonika. *Petničke sveske*, 42/I: 50-4.
- Goodman, A. A., Benson, P.J., Filler, G.A., Myers, P.C. 1993. Dense cores in dark clouds. Velocity gradients. *The Astrophysical Journal*, **406**: 528-47.
- Grenier et al. 1989. CO Observations of the Cepheus Flare. I. Molecular Clouds Associated with a Nearby Bubble. *The Astrophysical Journal*, **347**: 231.
- Lynds, B.T. 1962. Catalog of Dark Nebulae *The Astrophysical Journal Supplement Series*, **7**: 1.
- Harju, J. 1993. Molecular Line Studies of Star Forming Regions, Dense cores and cometary Globules. *Helsinki University Observatory Report*, 2/1993.
- Kun, M., Prusti, T. 1993. Star Formation in L1251: Distance and Members. *Astronomy and Astrophysics*, **272**: 235.
- Kun, M. 1998. Star Formation in the Cepheus Flare Molecular Clouds. I. Distance Determination and the Young Stellar Object Candidates. *The Astrophysical Journal Supplement Series*, **115**: 59.
- Nikolić, S. et al. 1998. L1274: The Case of a Face-on Shocked Cloud? in prep.
- T A2th, L.V., Horv A0th, A.JR., Haikala, L.K. 1995. Low velocity shock-cloud encounters II. *Astrophysics and Space Science*, **233**: 175-9.
- T A2th, L.V., Walmsley, C.M. 1996. Star formation in L1251 II the next generation – NH<sub>3</sub> cores. *Astronomy and Astrophysics*, **311**: 981-8.

---

*Nenad Božinović*

## Velocity Gradients in Dark Clouds L1235, L1251, L1274

Interstellar medium consists of interstellar gas and interstellar dust (fields will be neglected in this paper). Neutral hydrogen (HI) dominates in the interstellar gas, with areas where either ionized hydrogen (HII) or hydrogen in molecular form (H<sub>2</sub>) dominate. Such molecular regions are called molecular clouds and are the sites of star formation. Except hydro-



gen, the molecular ISM contains a lot of other molecules who, in fact, are essential in providing an environment suitable for a new star birth (as late as April, 1978, 118 molecules were detected: from simple 2-atomic as CO, CS, CH, SO, to 13-atoms long molecular chain of HC<sub>11</sub>N).

Structure of interstellar matter on the Galaxy level (and galaxies, in general) essentially determined by violent events: explosions of supernovas, whose frequency is large enough and intensive and continuous stellar winds from young stars (OB associations). Consequently, the ISM in the Galaxy has a bubble-foam structure: interiors of bubbles are areas where ISM is considerably smaller, with the ISM virtually blown up by the shock wave, created by supernova explosion and/or strong stellar wind. On the other hand, the matter collects in such bubbles boundaries in form of density gas and dust enhancements (clouds), and this can be detected in radio (gas) and infra-red (dust) part of the spectrum.

Dark molecular clouds L1235, L1251 and L1274 (catalogue B.T. Lynds, 1962) are positioned in Cep-Cas area that has not been studied so much. The CO observation of Cephei molecular cloud complex (Grenier *et al.* 1989) reveals one area (i.e. void) where no interstellar molecular gas. While the clouds L1235 and L1251 are positioned on the west edge of the void, L1274 is inside the border. One of the detected loops in infrared area (Kiss *et al.*) corresponds to this border-line of Cep complex. The position, the distance to our target clouds (Kun&Prost, Kun, Nikolić 1998) and their shape, observed on preliminary cloud maps, lead us to propose clouds survived a shock (wave)-cloud collision in their history.

In this paper we analyzed spectra and velocity gradients along certain directions of these clouds. The directions were chosen as to test the hypothesis about impact of a shock wave. The high-resolution spectra (35-40") of the <sup>13</sup>CO(1-0) and CS (2-1) rotational have been analyzed. Observations were conducted on 20-meter telescope Onsala Space Observatory (Sweden) and the data was acquired by courtesy of Silvana Nikolić.)

Linear gradients of velocity, obtained in L1235 (0.2 km/s/pc for <sup>13</sup>CO) and L1251, (2-3 km/s/pc in <sup>13</sup>CO and 1-2 km/s/pc in CS for the Head and Tail region, respectively) are in agreement with results of Goodman *et al.* (1993) and T A2th and Walmsley (1996). These authors interpreted such results differently: Goodman *et al.* as a global rotation of the cloud in a rigid body approximation, while T A2th and Walmsley explained this as a consequence of shock-cloud interaction. The <sup>13</sup>CO velocity-position diagram in L1274 implies a rotation of the cloud around axis perpendicular to the taken direction, what is an indication of face-on collision with a shock wave. However, we think that L1274, as well as the L1235 (due to the quite low velocity gradient), needs additional research for final conclusion.

