

Galaktička nastanjiva zona I: uvod i astrohemija

8. II 2013.

Uopštenje koncepta cirkumstelarne nastanjive zone

- Gonzalez, Brownlee & Ward (2001): *Galactic habitable zone* (GHZ)
- Ključna reč: **korelacija** među nastanjivim lokacijama
- Pretpostavke:
 - Nastanjivost je funkcija **lokalnih** veličina.
 - „Ogrublјavanje“ prostora i vremena.
 - Život kakav poznajemo.
 - Neophodni, ali ne i dovoljni uslovi!

Od čega se sastoji svemir?

- Morfološki: od galaksija i drugih nivoa **strukture**
- Hemijski:
 1. **H** (90% po broju)
 2. **He** (9%)
 3. **O**
 4. **C**
 5. **Ne**
 6. **N**
 7. **Fe**
 - ... (svi zajedno < 1%)



„Hablova viljuška“

Hubble's Galaxy Classification Scheme



The Spitzer Infrared Nearby Galaxies Survey (SINGS) Hubble Tuning-Fork

The Spitzer Space Telescope observed 75 galaxies as part of its SINGS (Spitzer Infrared Nearby Galaxies Survey) Legacy Program. The galaxies are presented here in a Hubble Tuning-Fork diagram, which groups galaxies according to the morphology of their nuclei and spiral arms. The designation of these galaxies and their placement in the diagram is based on their visible-light appearance. The main goal of the SINGS program is to characterize the infrared properties of a wide range of galaxy types. The images of the galaxies are composites created from data taken by IRAC (the Infrared Array Camera) at 3.6 and 8.0 μm , and MIPS (the Multiband Imaging Photometer for Spitzer) at 24 μm .

The infrared range probed by these and other observations taken for the SINGS project allows for the detailed study of star formation, dust emission, and the distribution of stars in each galaxy. Light from old stars appears as blue in the images, while the lumpy knots of green and red light are produced by dust clouds surrounding newly born stars. The elliptical galaxies on the left are almost entirely made of old stars, while spiral galaxies like our own Milky Way are rich in young stars and the raw materials for future star formation.

More information can be found at:
<http://sings.stsci.edu/>



Poster and composite images created from
 SINGS observations by Karl D. Gordon (see 2007)
 Blue=IRAC 3.6 μm (stars)
 Green=IRAC 8.0 μm
 (aromatic features from dust/grain molecules)
 Red=MIPS 24 μm (warm dust)

SINGS Team

Robert Kennicutt, Jr. (Principal Investigator), Daniela Calzetti (Deputy Principal Investigator), Charles Engelbracht (Technical Contact), Lee Armus, George Bendo, Garret Ber, Brent Beckwith, John Caron, Daniel Dale, Bruce Draine, Karl Gordon, Albert Gruen, David Hollenbach, Tam Jarvie, Lisa Kewley, Claus Leitherer, Alison Li, Sangeeta Mathur, Martin Meyer, John Moustakas, Eric Murphy, Michael Riege, George Rieke, Heide Roush, Karl Sheth, J.D. Smith, Michele Thornley, Faltan Walter & George Helou

Prava vrsta galaksije?

Whirlpool Galaxy • M51



Hubble
Heritage

NASA and The Hubble Heritage Team (STScI/AURA)
Hubble Space Telescope WFC2 • STScI-PRC01-07

- Spiralne galaksije - visoka metaličnost
- U spiralnim diskovima postoji kontinuirano formiranje zvezda, što omogućuje nastanak Populacije I.
- Eliptične i patuljaste galaksije su niske metaličnosti + potpuno lišene radioaktivnih r -elemenata.

- ~40% ukupne zvezdane populacije kosmosa nenastanjivo!



Šta treba da imamo u vidu?

- Hemijski efekti

- Dinamički efekti

(sporo promenljivi; direktno opservabilni; mogu biti spregnuti u **hemodinamičkoj** evoluciji)

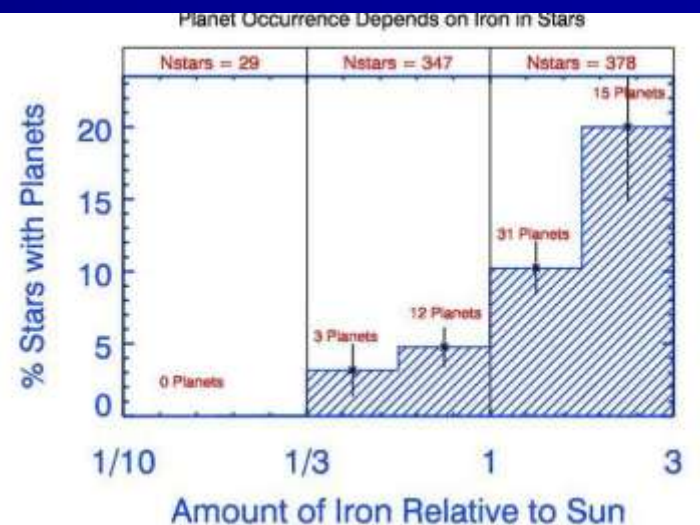
+

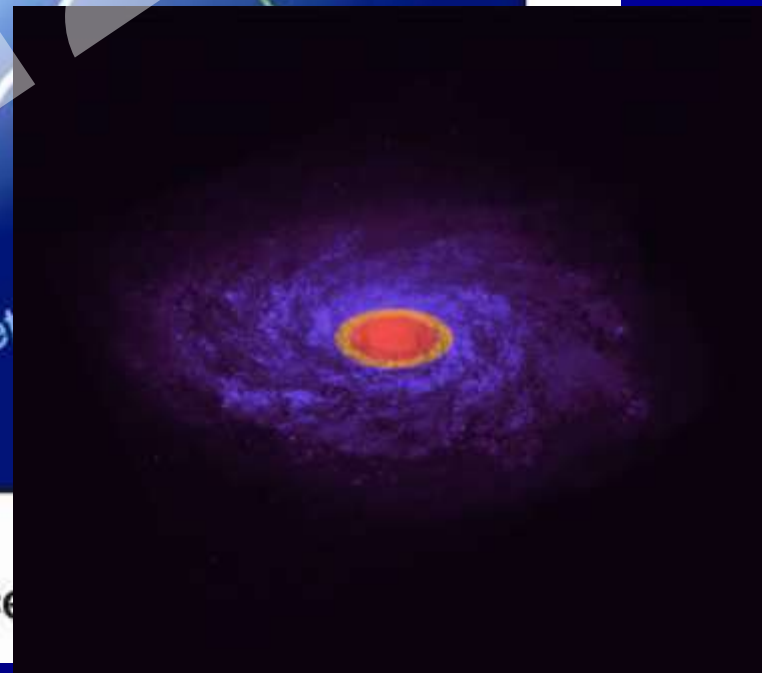
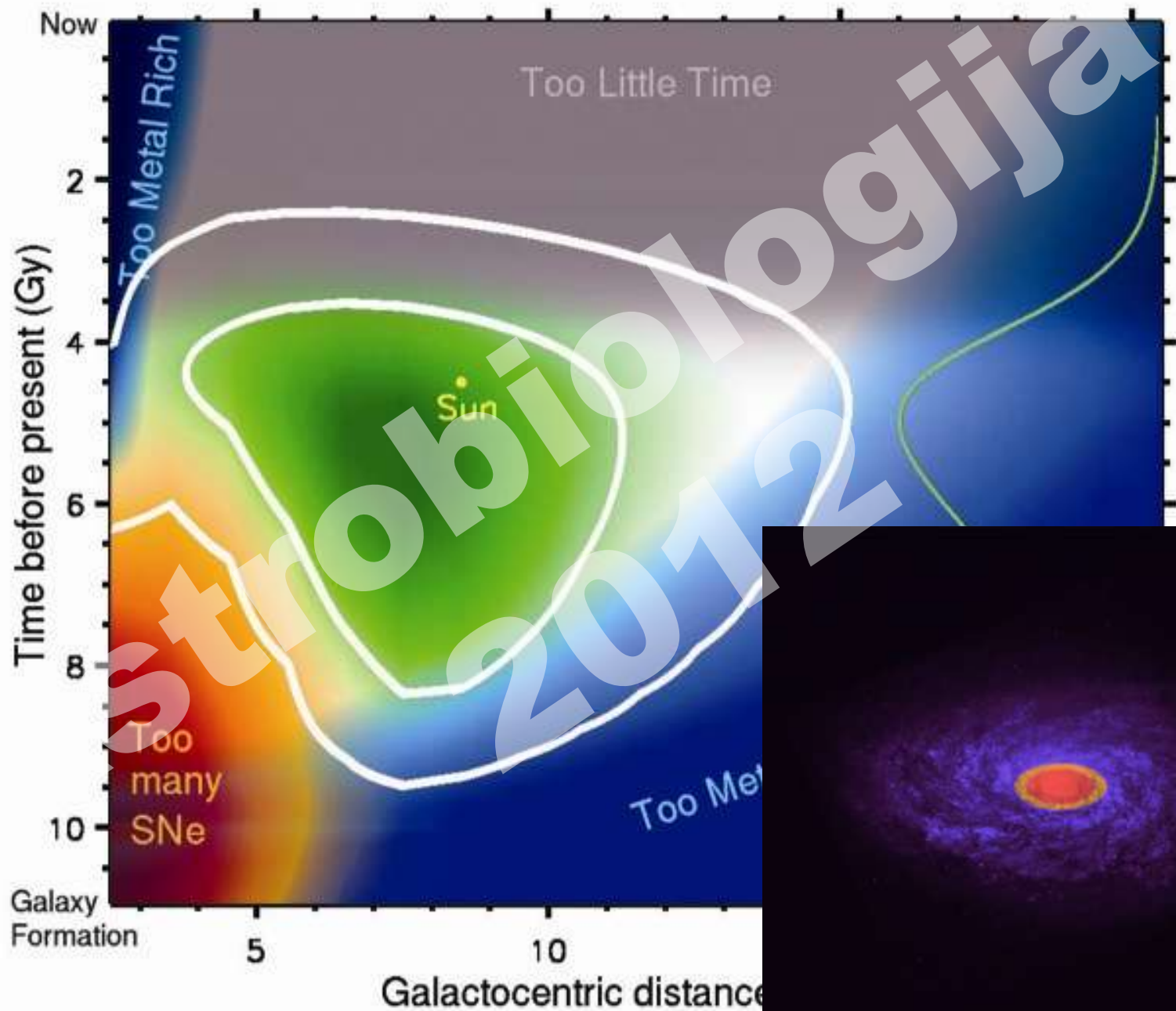
- Radijacioni efekti

(brzo promenljivi; neopservabilni; više oportunistički)

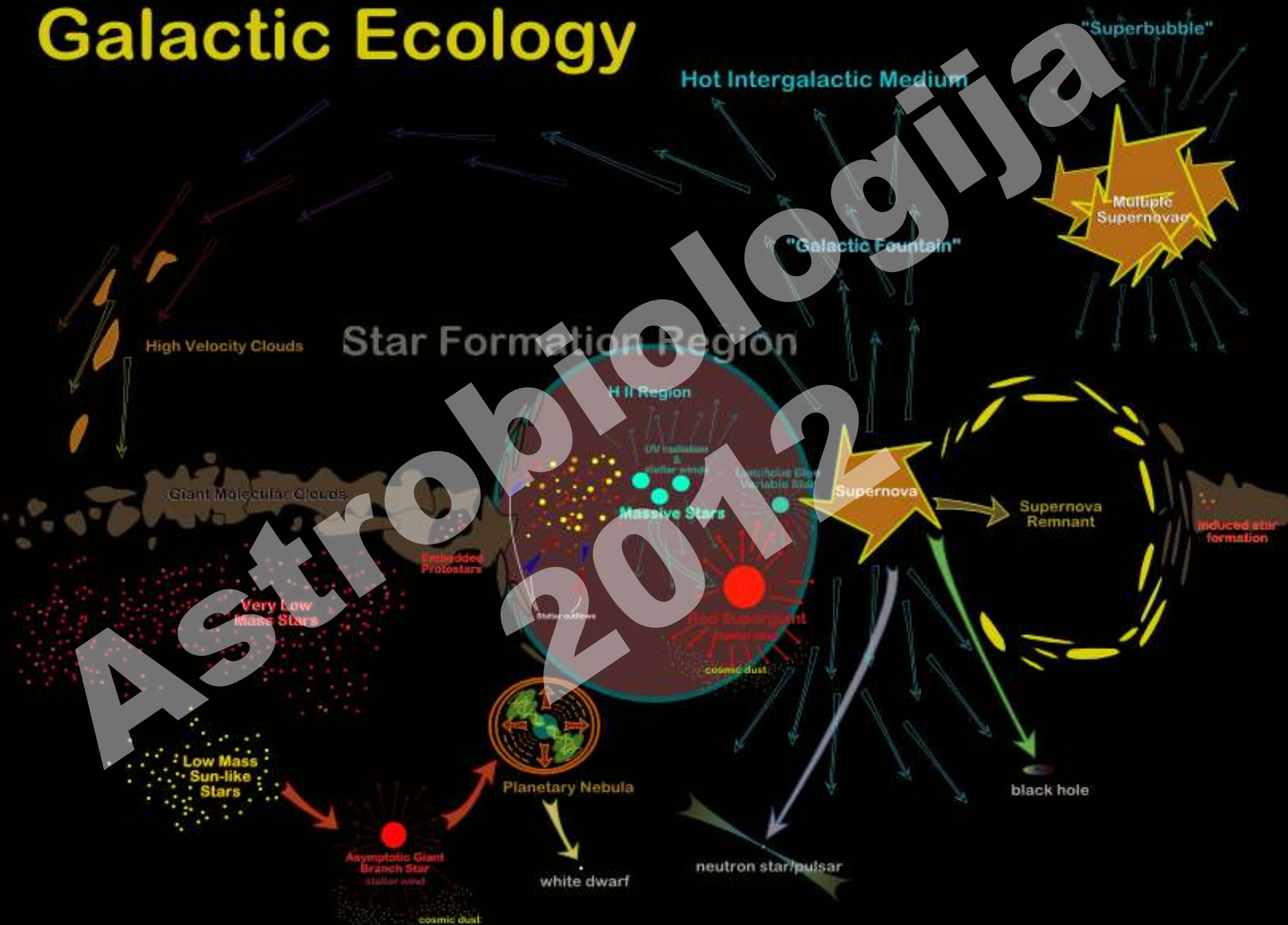
Granice GNZ?

- **Spoljna granica:** gradijent metaličnosti.
- **Unutrašnja granica:** dinamička stabilnost, učestalost supernovih i γ -bleskova.
- Tačne granice GNZ nisu još određene!
- ~20% Mlečnog puta leži u GNZ!





Galactic Ecology

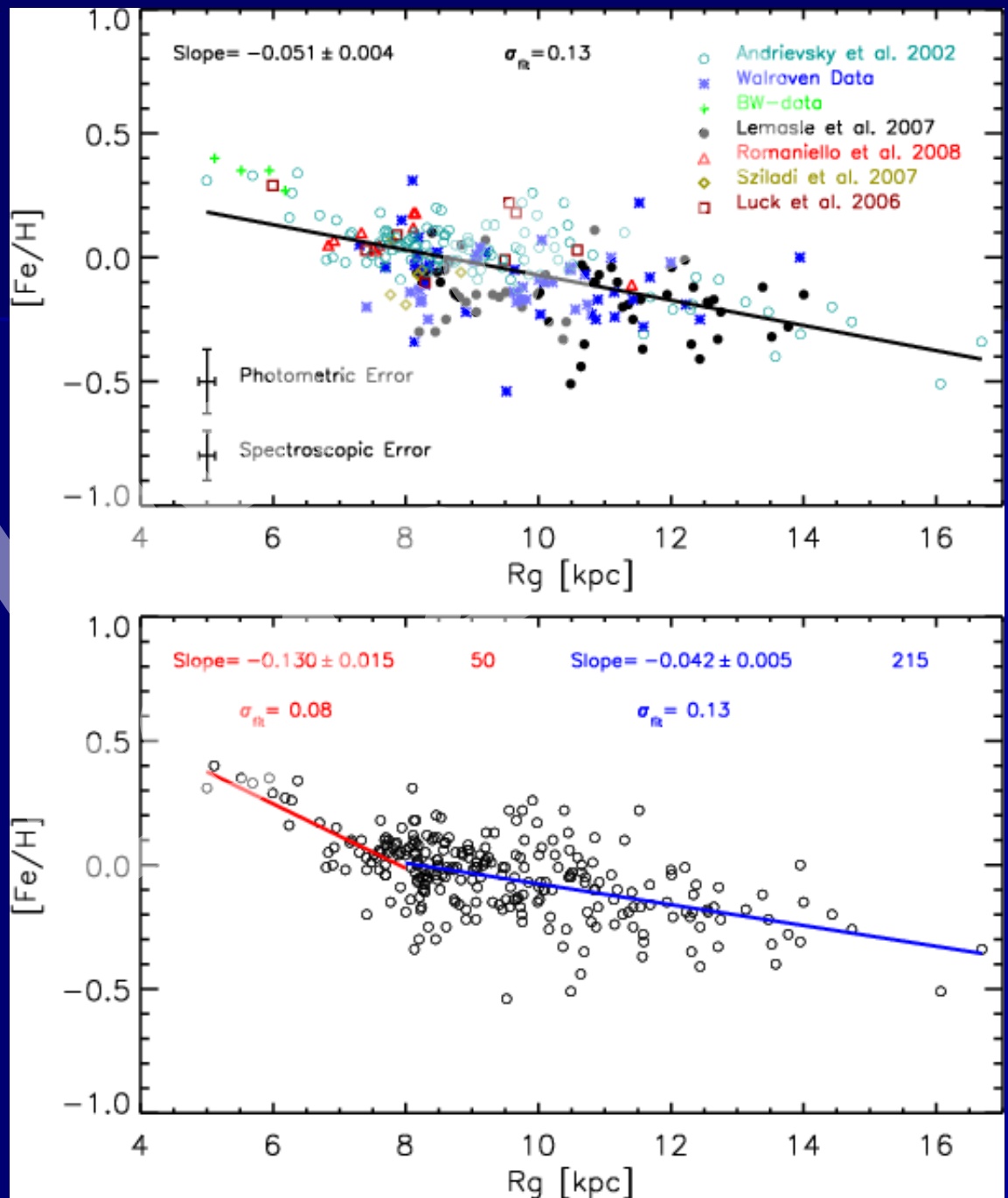


Gradijent metaličnosti

- Posledica **pozitivne povratne sprege**: regioni sa većom stopom formiranja zvezda brže će hemijski evoluirati, što dovodi do veće stope formiranja, itd.
- Schmidt-ov zakon: $\psi \propto \sigma_{\text{ISM}}^n$
- Izmereni gradijent:

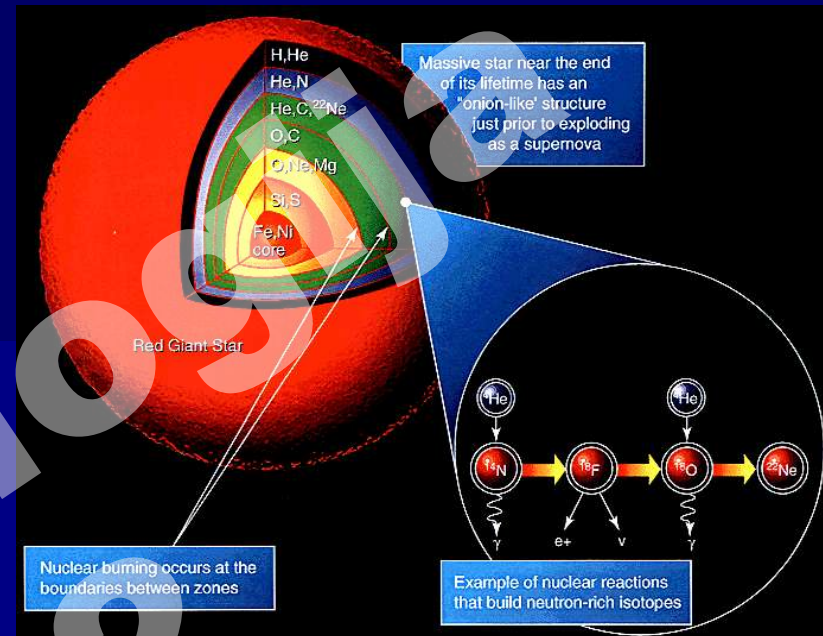
$$\nabla Z \approx -(0.05 - 0.1) \text{ dex kpc}^{-1}$$

Pedicelli et
al. (2009)



Raznoliko poreklo...

- ...različitih elemenata!



H																	He						
Li	Be																	B	C	N	O	F	Ne
Na	Mg																	Al	Si	P	S	Cl	Ar
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr						
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe						
Cs	Ba		Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn						
Fr	Ra																						
			La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu						
			Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr						

Big Bang

Supernovae

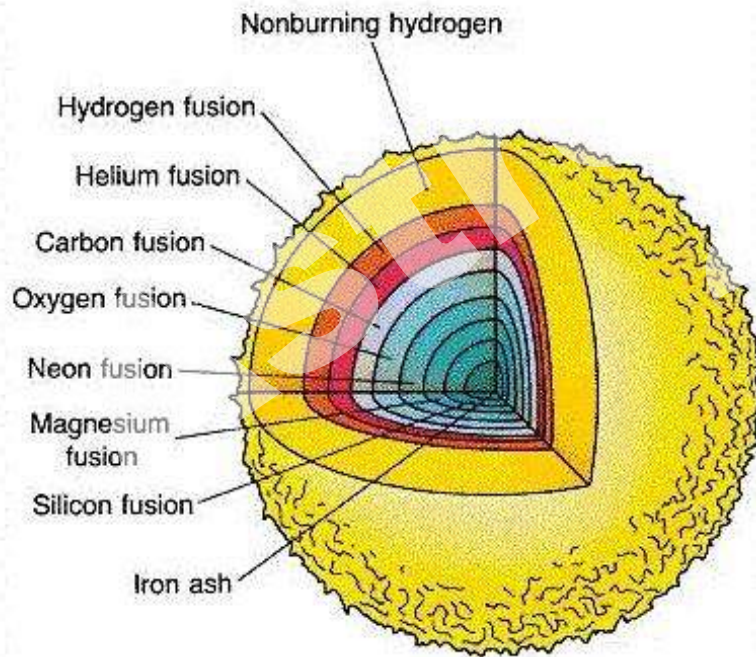
Large Stars

Small Stars

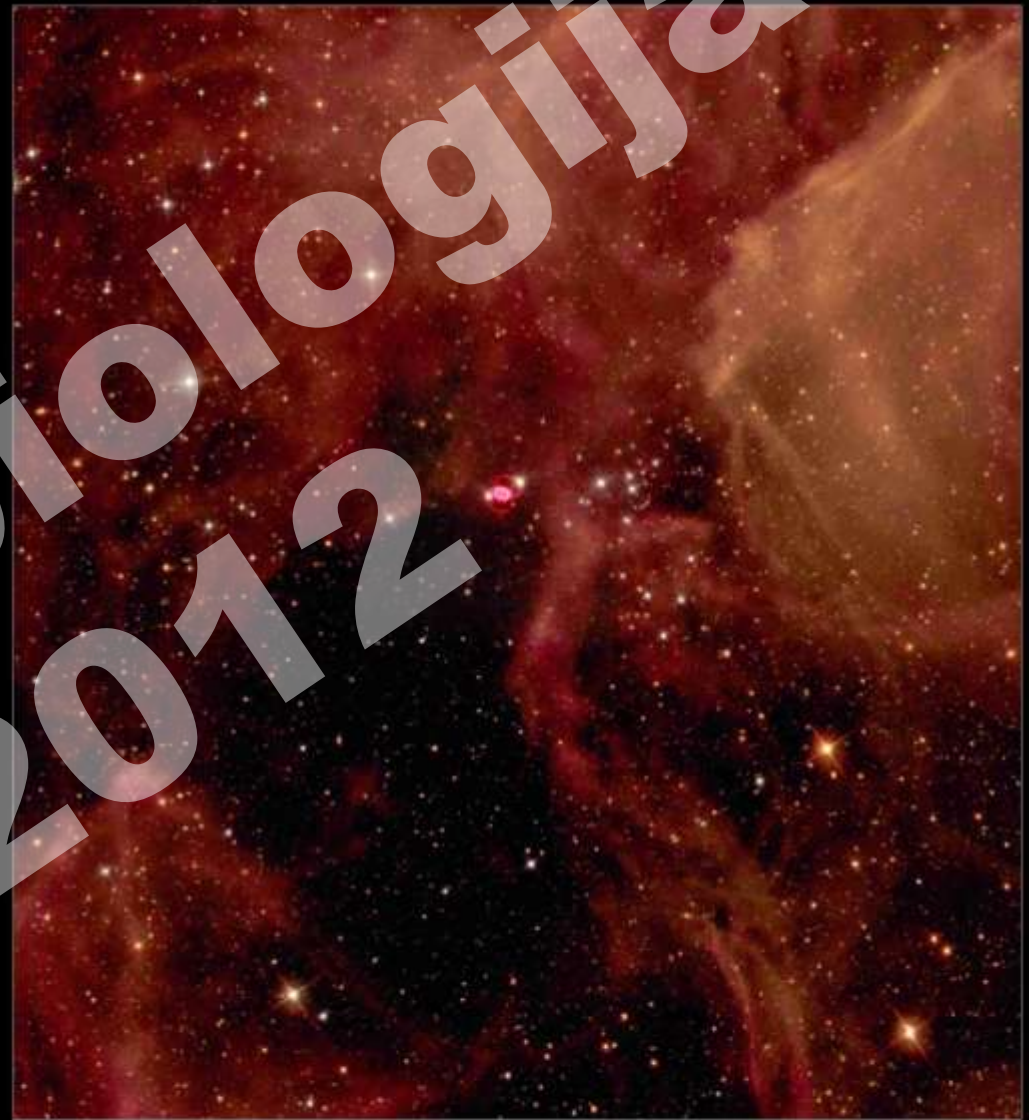
Cosmic Rays

Ključna uloga supernovih

- ...Tipa II!



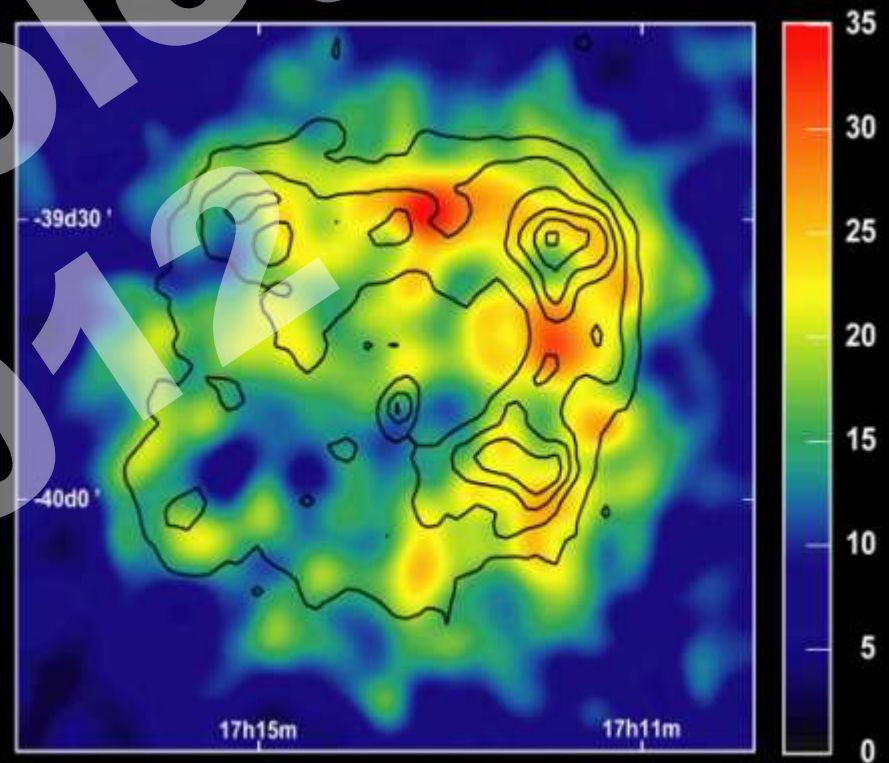
Supernova 1987A



Hubble
Heritage

Ostaci supernovih “mešaju” međuzvezdanu materiju

- **Hemijsko obogaćivanje**
materije kroz nove
generacije zvezda



Dve zvezdane populacije

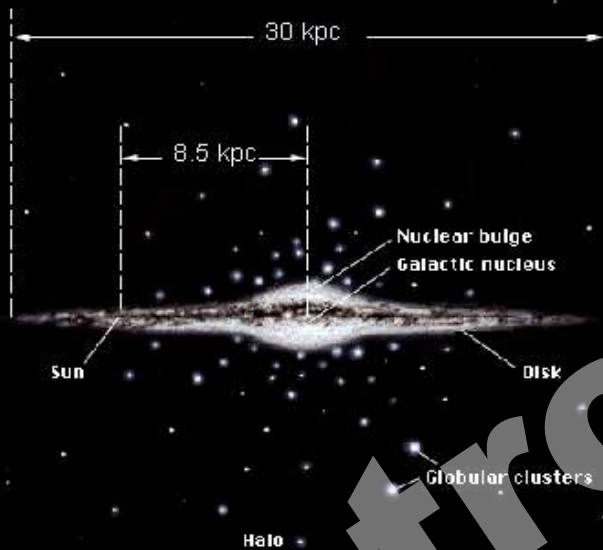


- Populacija II (stare zvezde, niska metaličnost, lokacija: halo)



- ◆ Populacija I (mlade zvezde, visoka metaličnost, lokacija: disk)

Primeri Pop I sistema



Sagittarius Dwarf Irregular Galaxy



Vreme za pauzu!

Astrobiologija
2012

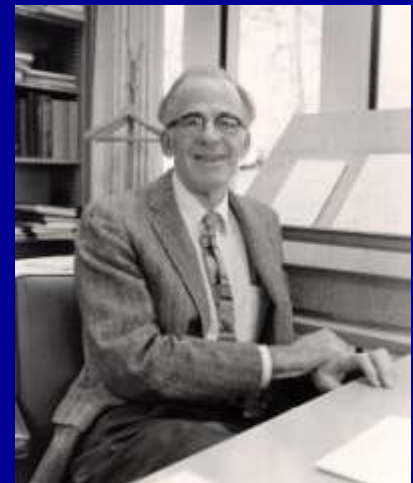
Astrohemija – mini uvod

- Testiramo uslove nedostupne na Zemlji
 - Ekstremni uslovi (nizak pritisak, visok intenzitet zračenja, itd.)
- Daleko veća "laboratorija" – daleko veća raznovrsnost reakcija
- U astrohemiju formalno ulaze i hemijski procesi na drugim telima Sunčevog sistema (npr. komete)



Međuzvezdana materija (ISM)

- Gas – 99%, međuzvezdana prašina – 1%
- Ukupna masa u disku Mlečnog puta oko 6×10^9 Sunčevih masa
- Iz međuzvezdane materije rađaju se i u nju se (najvećim delom) vraćaju zvezde!
- Fizika međuzvezdane materije otpočela sa Lajmanom Spicerom u 1940-tim godinama...



Zabranjeni procesi

- Nebulijum?
- Zabranjeni prelazi:
narušavaju selekciona
pravila $\Rightarrow$ ekstremno
niska verovatnoća
- Ako postoji drugi put de-ekscitacije, on
će se sigurno dogoditi (u laboratoriji)!
- U astrofizici uobičajene linije!
- Nomenklatura: [O II], [O III], [N II]...



Faze međuzvezdane materije

- “Trofazni model” (Ostriker & McKee 1977) – 4 faze (!?)
- Koronalni gas ($T \sim 10^6$ K)
- Jonizovani gas ($T \sim 10^4$ K)
- Difuzni atomski gas ($T \sim 10^2$ K)
- **Molekularni gas** ($T \sim 10$ K)
- Hemija je moguća u najjednostavnijoj verziji u difuznom gasu, a u punoj kompleksnosti samo u molekularnoj fazi!

Glavne "laboratorije": džinovski molekularni oblaci

- Početkom 1970-tih godina: mm, sub-mm astronomija - Herberg, Klamperer, Solomon...
- 1973: *Copernicus* otkriva H₂ u **apsorpciji**
- Sredino 70-tih: Filip Solomon otkriva **džinovske molekularne oblake** (engl. GMC)
- Najbliži džinovski MO nalazi se u Orionu **iza** slavne Orionove magline (M42)
- Džinovski molekularni oblaci su najmasivniji objekti u Galaksiji (i do 10⁷ Sunčevih masa)
- Mesta rađanja zvezda visoke mase

M 42

Astrobiologia
2012

The Orion Nebula



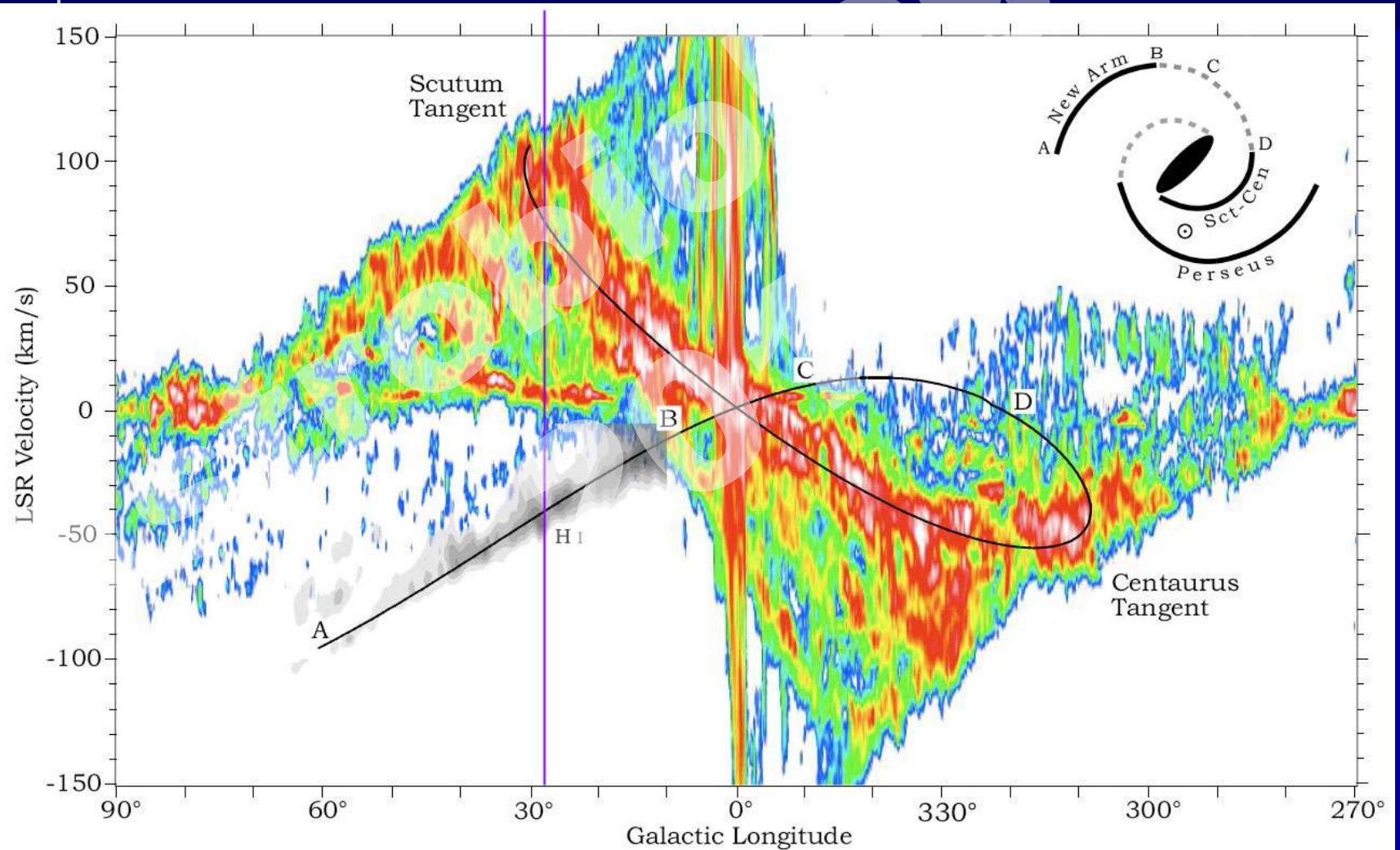
HUBBLESITE.org

<http://www.3rf.org>

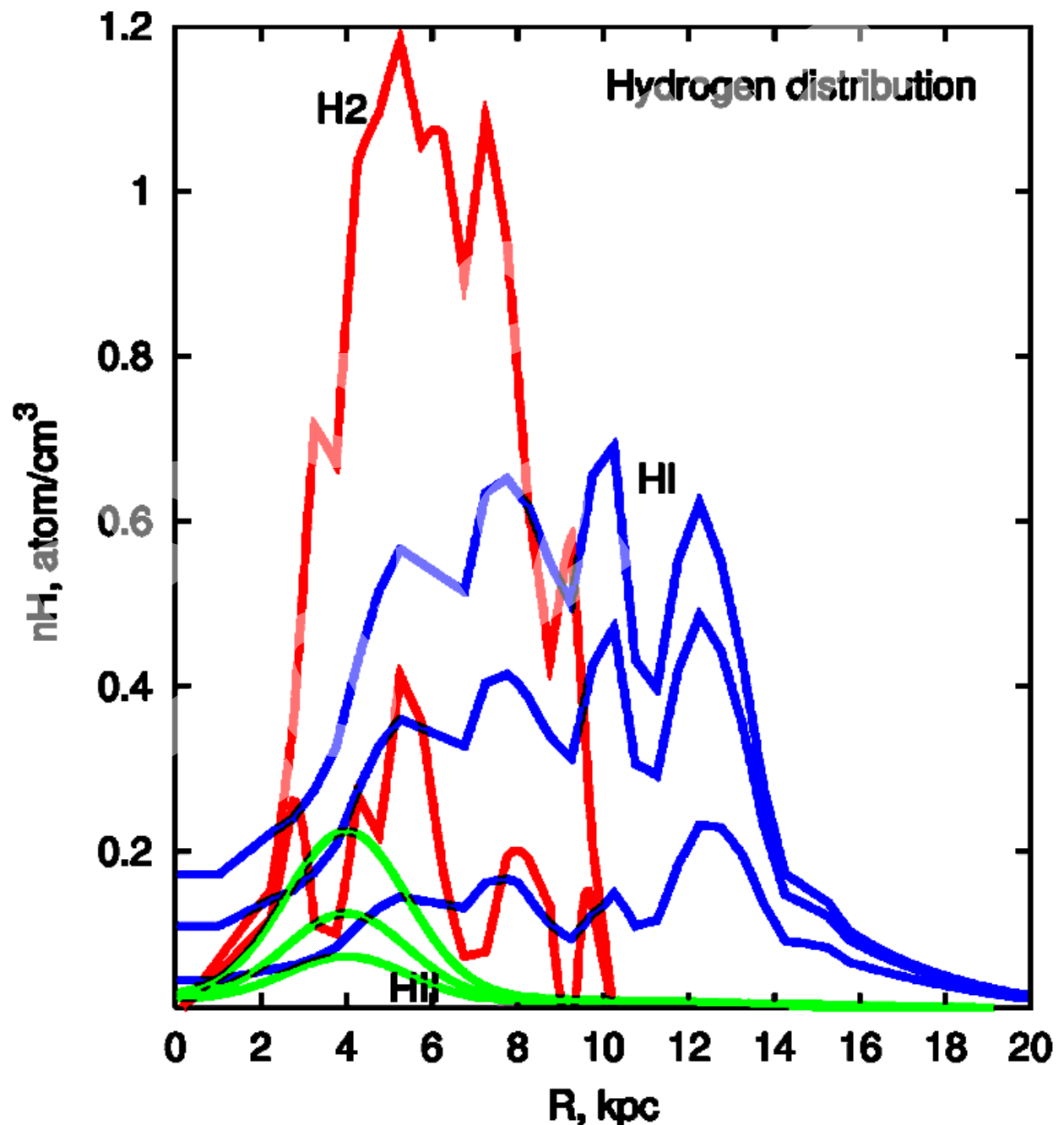
Molekularni gas

- Džinovski molekularni oblaci (GMCs)
- Tamni oblačići (Bok-ove globule)
- Najsnažnije koncentrisan u Molekularnom prstenu i u Galaktičkoj ravni.
- Glavna posmatračka oruđa: molekularne linije (CO, CHN, OH, itd.)

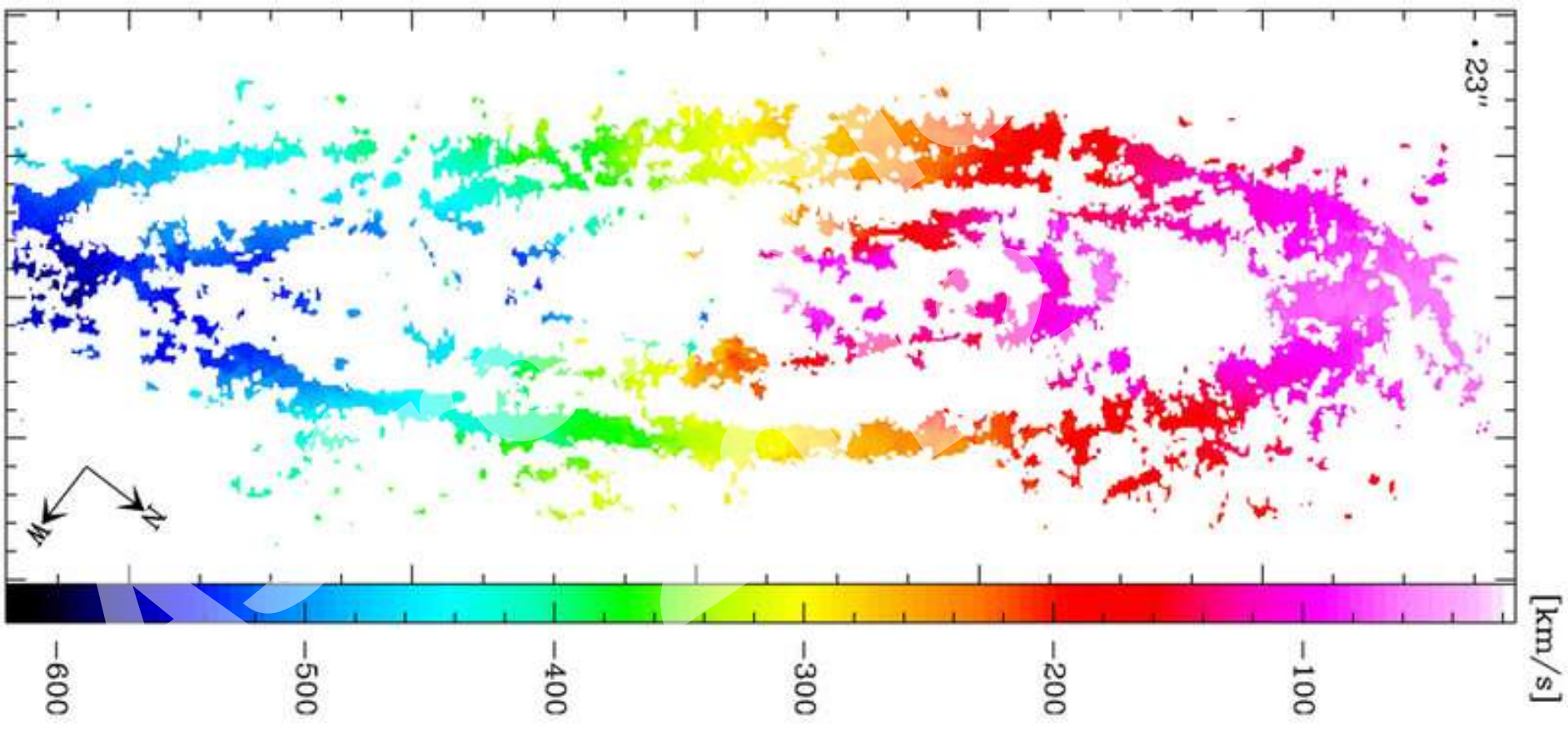
CO mapiranje



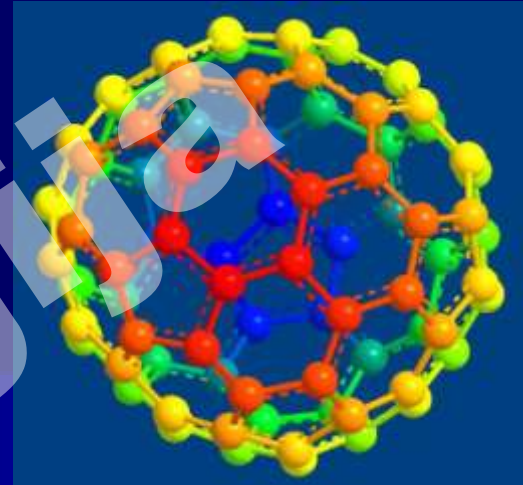
Molekularni
prsten –
neobičnost
Mlečnog
puta?



dija



Tek smo na početku!



- U svemiru identifikovano
 - 151 jedinjenje
 - 229 ukoliko uključimo i izotopomere
 - 50 jedinjenja u kometama
- Najsloženiji molekul do danas otkriven je cijanodekapenten (HC_{10}CN) sa 13 atoma...
- ...ukoliko ne računamo fuleren (C_{60}), za koji postoje brojne indicije!

Detekcija?

- Prvi međuzvezdani molekuli (1930-te) otkriveni u optičkim apsorpcionim linijama – CH i CN
- Današnje tehnike: milimetarska i submilimetarska astronomija







Tipični međuzvezdani molekuli

- Dvoatomski: H_2 , CO , OH , CN ,...
- Troatomski: H_2O , HDO , CO_2 , HCN , H_3^+ , NH_2 ,...
- Složeniji: NH_3 , CH_4 , CH_3OH , CH_3COOH , $\text{H}_2\text{NH}_2\text{CCOOH}$,...
- Jedinjenja u čvrstom stanju (prašina): C_{60} (?), PAH-ovi (?), ...

M 16 – maglina Orao

- Prisutne
sve četiri
faze!



Temelj astrohemije: stvaranje H_2

- Veliko čudo: kako H_2 opstaje, uprkos veoma efikasnoj UV disocijaciji?
- Tri osnovna procesa nastanka:
 - Radijaciono spajanje: $H^+ + H \rightarrow H_2^+ + h\nu$
 - Asocijativno razdvajanje: $H^- + H \rightarrow H_2 + e$
 - Formiranje na zrnima prašine: $H + H + \text{zrnice} \rightarrow H_2 + \text{zrnice}$ (ubedljivo **najefikasnije!**)
- Oblasti visoke koncentracije prašine ("tamni oblaci") odgovaraju oblastima najbogatijim molekularnim vodonikom!

Astrobiologia 2012

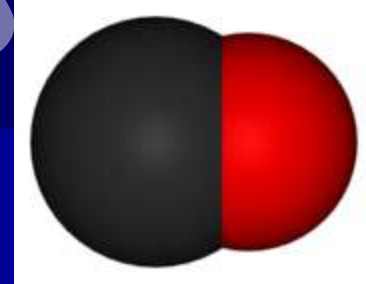
© 1998 Jerry Lodriguss



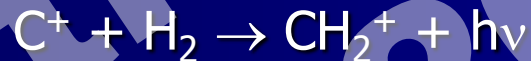
(Courtesy of Canada-France-Hawaii Telescope/J.-C. Cuillandre/Coelum.)

- I zvezde i molekuli nastaju u **najhladnijim** i **najtamnijim** delovima međuzvezdanog prostora!

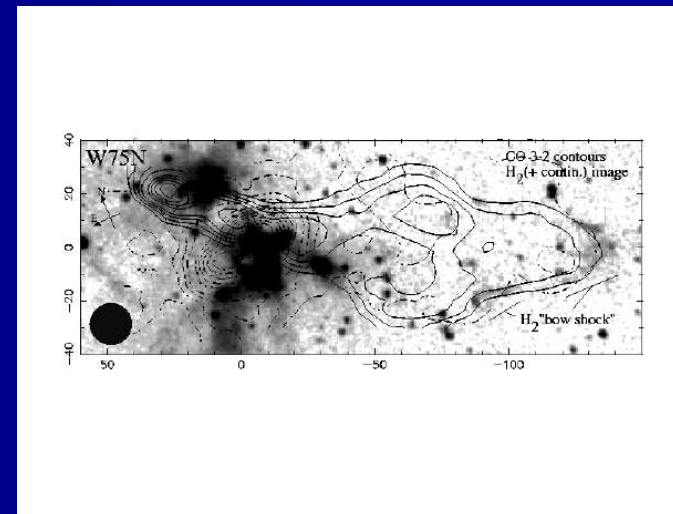
Najvažniji dijagnostički molekul: CO



- Zbog veoma velikog dipolnog momenta, CO prelazi su vidljivi i uprkos maloj koncentraciji (najviše $2 \rightarrow 1$, $3 \rightarrow 2$...)
- Reakcije koje dovode do nastajanja CO su



■ Ili



Veoma kompleksni molekuli...



- ...nastaju u unutrašnjostima džinovskih molekularnih oblaka
- Zato ih je teško otkriti!
- Često se u oblastima jako visoke gustine ($n \sim 10^5 \text{ cm}^{-3}$ ili više) kao *tracer* koristi HCN.
- Kontroverza oko glicina?
- Hojlov *Crni oblak* ?

Astrobiologija
2012

Zagrevanje molekularnog gasa

- Jonizacija kosmičkim zracima
- Sprega gas-prašina
- Rasipanje turbulencija (uklj. one nastale formiranjem zvezda)
- Granične zone molekularnih oblaka su oblasti foto-disocijacije (PDRs).

Zagrevanje je...

- ...deponovanje energije u ISM (uključujući redistribuciju!)
- Može biti
 - kontinuirano
 - povremeno
- Samo kontinuirano zagrevan gas može biti **termalno stabilan** (striktno govoreći)
- = može imati stacionarna rešenja jednačine

$$\Gamma(n) = \Lambda(n, T)$$

Kosmički zraci u GMC

- Glavni proces:



- H jonizacija proizvodi primarne elektrone sa $\langle E \rangle \sim 35$ eV. Brojeći sekundarne, $\langle E_e \rangle = 7$ eV.

$$\Gamma_{CR} = \zeta_{CR} \langle E_e \rangle n$$

- Field, Goldsmith, & Habing (1969): $\zeta_{CR} = 4 \times 10^{-16} \text{ s}^{-1}$
- Posmatranja sada sugerišu $\zeta_{CR} = 2 \times 10^{-17} \text{ s}^{-1}$
 - jonizaciono-osetljivi molekuli (HD, OH, H_3^+)

$$\Gamma_{CR} = \left(1.1 \times 10^{-28} \text{ erg cm}^{-3} \text{ s}^{-1} \right) \left(\frac{\zeta_{CR}}{2 \times 10^{-17}} \right) n$$

- Temperature unutar molekularnih oblaka su vrlo niske (~ 10 K)
- Kosmički zraci iniciraju **SVU** kompleksnu hemiju u molekularnim oblacima.
- Nestabilnosti → formiranje zvezda → fragmentacija i disocijacija džinovskih molekularnih oblaka

Umesto zaključka

- Mnoštvo otvorenih pitanja:
 - Koliko daleko ide složenost međuzvezdanih molekula?
 - Kakav je mehanizam transporta ovih molekula do novoformiranih planeta?
 - Kolika je uloga međuzvezdanih jedinjenja u nastanku života na Zemlji?
- Astrohemija je mlada disciplina! Valja očekivati nova i dramatična otkrića.

Dinamička ograničenja: korotacija?

- Marochnik (1983): "On the origin of the solar system and the exceptional position of the Sun in the Galaxy"
- Sistem spiralnih grana ima samo jedan **radijus korotacije**.
- Odstupanje Sunčevog kruga od radijusa korotacije svega oko 3%.
- Minimum presecanja spiralnih grana.
- Atipičnost Sunčevog sistema?

