

Piena Ceļa galaktika

Astronomija un astrofizika, kurss 3F studentiem, 2009

Ilgonis Vilks un Dmitrijs Docenko

December 9, 2009

Lekcijas plāns

- 1 Zvaigžņu kopas, miglāji
 - Valējās kopas
 - Lodveida kopas
 - Miglāji: emisijas, absorbcijas, atstarošanas
- 2 Starpzvaigžņu vide
 - Elementārie procesi un difūzās vides spektroskopija
 - Starpzvaigžņu vides komponentes
 - Atsevišķo fāzu apskats
- 3 Galaktikas uzbūve
 - Galaktikas izskats un evolūcija
 - Galaktikas centrs
 - Galaktikas apkārtne

Outline

- 1 Zvaigžņu kopas, miglāji
 - Valējās kopas
 - Lodveida kopas
 - Miglāji: emisijas, absorbcijas, atstarošanas
- 2 Starpzvaigžņu vide
 - Elementārie procesi un difūzās vides spektroskopija
 - Starpzvaigžņu vides komponentes
 - Atsevišķo fāzu apskats
- 3 Galaktikas uzbūve
 - Galaktikas izskats un evolūcija
 - Galaktikas centrs
 - Galaktikas apkārtnē

Valējās zvaigžņu kopas

- Kā zinām, zvaigznes bieži piedzimst kopās. Tādas jaunās zvaigznes izveido tā sauktās **valējās zvaigžņu kopas** (*open star cluster*, *рассеянное звездное скопление*)
- Tipiskie parametri
 - Daži desmiti līdz simti zvaigžņu
 - Izmērs 2-20 pc
- Jaunās zvaigznes, kas dzimušās kopā un lēni izklīst telpā
- Valējās kopas pastāv līdz 10^8 gadu
- Zināmas ap 1500 valējām kopām
- Tuvas kopas var tikt izmantoti attāluma skalas noteikšanā (H-R diagrammas saikne ar paralaksi)

Zvaigžņu kopas, miglāji
Starpzvaigžņu vide
Galaktikas uzbūve

Valējās kopas
Lodveida kopas
Miglāji: emisijas, absorbcijas, atstarošanas

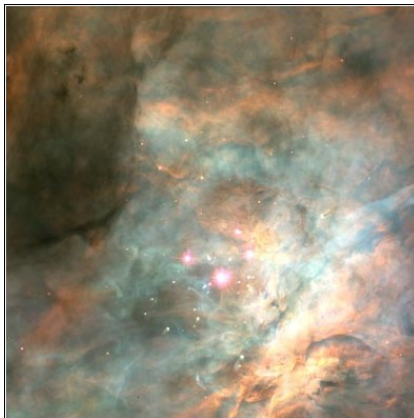
Piemērs: Sietiņš (Plejādes)



Zvaigžņu kopas, miglāji
Starpzvaigžņu vide
Galaktikas uzbūve

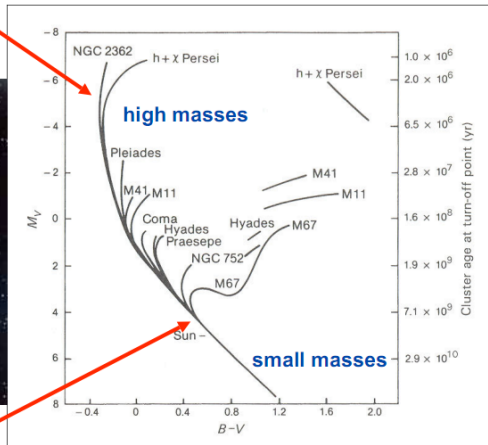
Valējās kopas
Lodveida kopas
Miglāji: emisijas, absorbcijas, atstarošanas

Piemērs: Trapeces kopa redzamā un IS gaismā



Hercšprunga-Rasela diagramma valējām kopām

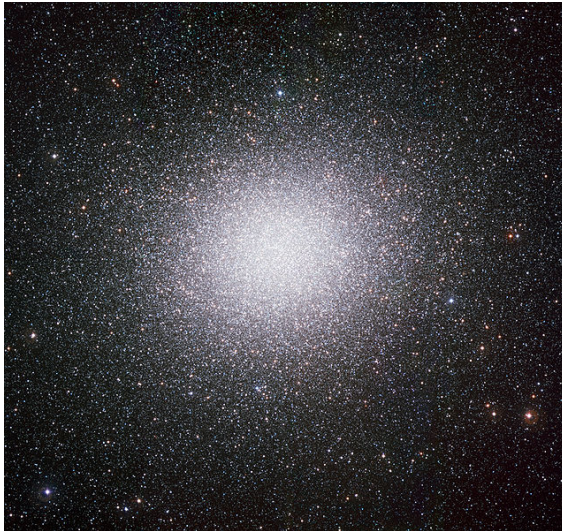
Zero Age Main
Sequence (ZAMS)



Lodveida zvaigžņu kopas

- Cits kopu tips: **lodveida zvaigžņu kopas** (*globular star cluster*, *шаровое звездное скопление*)
 - Izmērs 20-100 pc
 - Satur $10^4 - 10^6$ zvaigznes
 - Zvaigžņu vecums ap 10^{10} gadu
- Gravitatīvi saistītas sistēmas, zvaigžņu kustības ātrums ap 2 km/s
- Negatīvās siltumietilpības dēļ iet kopu evolūcija: centrā ir "lielāka temperatūra" un zvaigžņu blīvums, tur iet smagākie objekti; apkārtne "svīst", zaudējot zvaigznes.
- Centros palielināts ciešo dubultsistēmu skaits, arī rentgena dubultsistēmas. iespējamās zvaigžņu sadursmes.
- Lodveida kopas var tikt izmantotas attāluma skalas noteikšanā (H-R diagramma ar cefeīdām)

Piemērs: Centaura ω



Zvaigžņu kopas, miglāji
Starpzvaigžņu vide
Galaktikas uzbūve

Valējās kopas

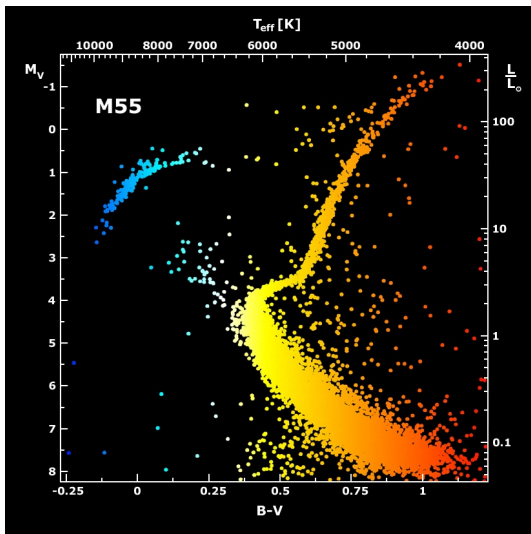
Lodveida kopas

Miglāji: emisijas, absorbcijas, atstarošanas

Piemērs: M80



Hercšprunga-Rasela diagramma lodveida kopām



Miglāju tipu salīdzinājums

- Miglāji: redzamā gaismā novērojamās parādības. Tās neatspoguļo visus starpzvaigžņu vidē notiekošus procesus.

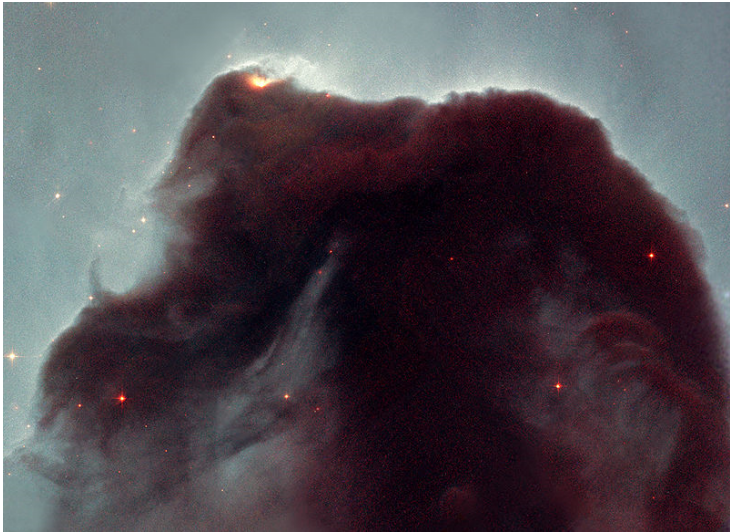
Tips	T, K	d, pc	Starojums
Tumšais	10-20	10	Tālais IS; starojuma absorbcija
Atstarojošais	–	1	Atspīd zvaigznes starojumu
Emisijas	10^4	10-100	Udeņraža emisijas līnijas
Planetārais	$10^4 - 10^5$	0.1-0.3	Emisijas līnijas: H, [O], ...
Pārnavas	$10^4 - 10^7$	0.1-50	Rentgenst. – radiostarojums

Zvaigžņu kopas, miglāji
Starpzvaigžņu vide
Galaktikas uzbūve

Vaļējās kopas
Lodveida kopas

Miglāji: emisijas, absorbcijas, atstarošanas

Tumšie miglāji



Atstarojošie miglāji



Zvaigžņu kopas, miglāji
Starpzvaigžņu vide
Galaktikas uzbūve

Vajējās kopas
Lodveida kopas

Miglāji: emisijas, absorbcijas, atstarošanas

Emisijas miglāji



Miglāju tipu kombinācijas



- Bieži vien ir novērojami miglāju tipu kombinācijas:

Zvaigžņu kopas, miglāji
Starpzvaigžņu vide
Galaktikas uzbūve

Valējās kopas
Lodveida kopas

Miglāji: emisijas, absorbcijas, atstarošanas

Planetārais miglājs

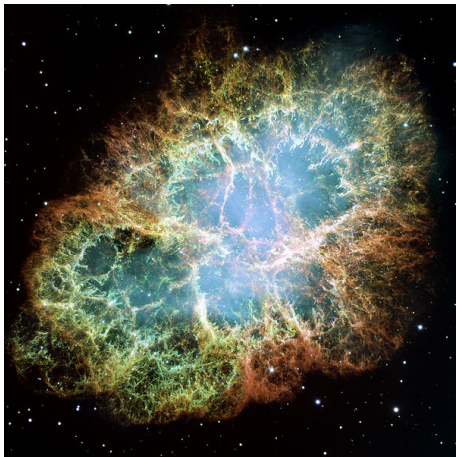


Zvaigžņu kopas, miglāji
Starpzvaigžņu vide
Galaktikas uzbūve

Valējās kopas
Lodveida kopas

Miglāji: emisijas, absorbcijas, atstarošanas

Pārnavas miglāji: jauni



Zvaigžņu kopas, miglāji
Starpzvaigžņu vide
Galaktikas uzbūve

Vajējās kopas
Lodveida kopas

Miglāji: emisijas, absorbcijas, atstarošanas

Pārnovas miglāji: veci



Outline

- 1 Zvaigžņu kopas, miglāji
 - Valējās kopas
 - Lodveida kopas
 - Miglāji: emisijas, absorbcijas, atstarošanas
- 2 Starpzvaigžņu vide
 - Elementārie procesi un difūzās vides spektroskopija
 - Starpzvaigžņu vides komponentes
 - Atsevišķo fāzu apskats
- 3 Galaktikas uzbūve
 - Galaktikas izskats un evolūcija
 - Galaktikas centrs
 - Galaktikas apkārtne

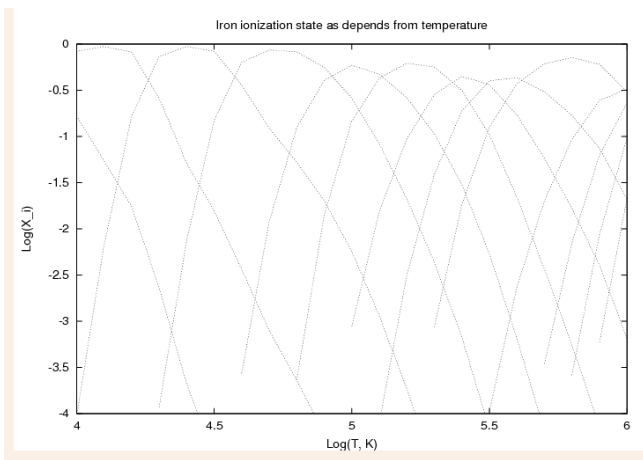
Termodinamiskais līdzsvars?

- Novērtēsim, vai difūzā starpzvaigžņu vidē (SZV) pastāv termodinamiskais līdzsvars (TDL):
 - Maksvela sadalījums pa brīvo daļiņu ātrumiem
 - Bolcmana sadalījums pa ierosināto līmeņu enerģijām
 - Sahā sadalījums pa jonizācijas pakāpēm
 - Planka sadalījums pa fotonu enerģijām
- Ja ir TDL, tad visi aprēķini vienkāršojas: visus sadalījumus raksturo viena temperatūra
- Novērtēsim laiku starp daļiņu sadursmēm: $\tau = (nv\sigma)^{-1}$.
Paņemsim $n = 1 \text{ cm}^{-3}$, $T = 10^4 \text{ K}$, $v_e = \sqrt{2kT/m_e} \approx 500 \text{ km/s}$, $\sigma = 10^{-20} \text{ m}^2$. Tad $\tau = 2 \times 10^6 \left(\frac{n}{1 \text{ cm}^{-3}}\right)^{-1} \left(\frac{T}{10^4 \text{ K}}\right)^{-1/2}$ sek, jeb 20 dienas

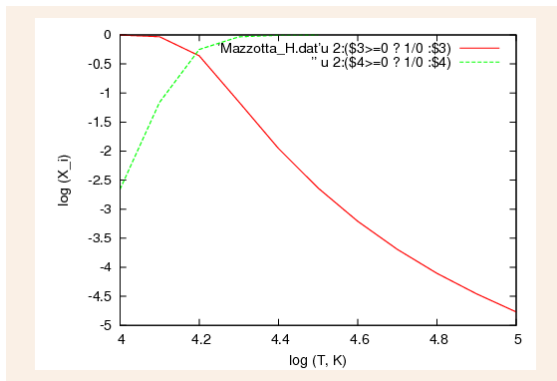
Sadursmju jonizācijas līdzsvars

- Maksvela sadalījums tiek sasniegts dažu sadursmju laikā: gandrīz vienmēr pastāv
- Sahā sadalījums (jonizācijas līdzsvars) tiek sasniegts dažu desmitu sadursmju laikā: arī bieži vien izpildās
- Planka sadalījums pastāv tikai optiski blīvā vidē (taču SZV vide nav optiski blīva, citādi mēs neredzētu zvaigznes)
- Bolcmana sadalījums nav spēkā, jo tas pieņem, ka sadursmju procesi ir daudz ātrāki par atomāriem procesiem. SZV tas tā nav: spontānās pārejas ($\tau \approx 10^{-8}$ sek) ir daudz ātrākās.
- Tāpēc difūzās vides aprakstam TDL vietā lieto **sadursmju jonizācijas līdzsvaru** (*collisional ionization equilibrium*, CIE)
 - Maksvela un Sahā sadalījumi ir spēkā
 - Visi atomi un joni atrodas savos pamatstāvokļos
 - Viela ir optiski plāna; ārējais starojuma lauks ir vājš
- CIE gadījumā jonizācija nav atkarīga no daļiņu koncentrācijas!

Dzelzs jonizācijas pakāpes



Ūdeņraža jonizācijas pakāpes



- NB! Saules fotosfērā ($T < 6000$ K) ūdeņradis ir jonizēts, bet CIE tādos pašos apstākļos tas ir pilnīgi neitrāls!

Fotojonizācijas līdzsvars

- Bieži vien (zvaigžņu tuvumā: to atmosfērās, planetāros miglājos, emisijas miglājos) ārējā starojuma lauks ir pietiekami stiprs, lai ietekmētu jonizācijas līdzsvaru
- Tādos gadījumos par pamatu ņem **fotojonizācijas līdzsvaru** (*photoionization equilibrium*)
 - Tas pats kā CIE, bet ar ārējo starojuma lauku
- Abos gadījumos, lai izrēķinātu retinātās plazmas spektru, ir jāseko daudziem individuāliem elementāriem procesiem
 - Spektrs tiek noteikts ar ierosināto līmeņu apdzīvotību
 - Bolcmana sadalījums nav spēkā
 - Ierosme var notikt vairākos veidos

Elementārie procesi

Process	Reakcija
Gaismas absorbcija	$\gamma + A \rightarrow A^*$
Spontānā emisija	$A^* \rightarrow \gamma + A$
Inducētā emisija	$A^* + \gamma \rightarrow 2\gamma + A$
Bremzes starojums	$A^+ + e \rightarrow A^+ + e + \gamma$
Fotojonizācija	$A + \gamma \rightarrow A^+ + e + \gamma$
(Foto)rekombinācija	$A^+ + e \rightarrow A + \gamma$
Trieciena jonizācija	$A + e \rightarrow A^+ + 2e$
Divelektronu rekombinācija	$A^+ + e \rightarrow A^{**} \rightarrow A + \gamma$
Pirmā vieda sadursmes	$A + e \rightarrow A^* + e$
Otrā veida sadursmes	$A^* + e \rightarrow A + e$

- NB! Retinātā vidē trīs ķermeņu sadursmes faktiski nenotiek!

Atdzišanas līkne

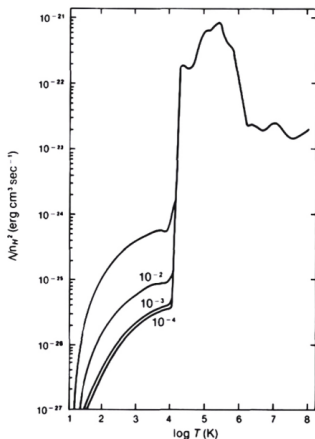


Figure 18.4. Cooling function for interstellar gas. For $T < 10^4$ K, different curves correspond to different values of n_e/n_H . For $T > 10^4$, collisional ionization is assumed for all elements.

- Lai vienkāršotu plazmas temperatūras evolūcijas aprakstu, tiek ieviesta **atdzišanas funkcija** Λ , kas rāda, cik ātri viela atdziest pie dotās temperatūras paša starojuma rezultāta
 - Λ tiek rēķināta no elementāro procesu ātrumiem
- Atdzišanas laiks ir $\tau_{cool} = \frac{3}{2} \frac{NkT}{\Lambda - \Gamma}$, kur Γ ir sildīšanas temps
- Uz attēla ir parādīta atdzišanas funkcija tipiskai (pēc sastāva) kosmiskai plazmai, kas ir CIE.

Atdzišanas līkne: mehānismi un secinājumi

- Mehānismi:
 - Pie $10^4 - 10^7$ K viela zaudē enerģiju starojot rezonanses līnijas atbilstošos jonos.
 - Pie zemākās temperatūras tas nav iespējams, jo elektronu enerģijas ir pārāk mazas un ierosme nenotiek.
 - Pie augstākām temperatūrām tas nav iespējams, jo visi atomi ir pilnībā jonizēti: atdzišana ar bremzes starojumu
- Secinājumi
 - Plašā Γ diapazonā kosmiskās plazmas līdzsvara temperatūra ir tuva 10^4 K
 - Temperatūras intervālā $10^4 - 10^6$ K ir tikai neliels vielas daudzums, jo atdzišanas temps tajā ir augsts

Starpzvaigžņu vide no jaunā skatu punkta

- Pirmajā tuvinājumā starpzvaigžņu vide atrodas spiediena līdzsvarā
- Tā ir dzudzfāzu vide: rajoni ar temperatūru ap 10^2 K, 10^4 K un 10^6 K
- Fāzes ir diezgan asi atdalītas: to nosaka atdziešanas līknes forma
 - Ja vielā pastāv magnētiskie lauki, tad tie samazina difūziju, pastiprinot temperatūras kontrastu
- Enerģijas pievadīšanas veidi
 - Triecienviļņi no pārnovas paliekām
 - Kosmiskie stari
 - Starojums no tuvu esošām zvaigznēm

Daudzfāzu starpzvaigžņu vide (1977)

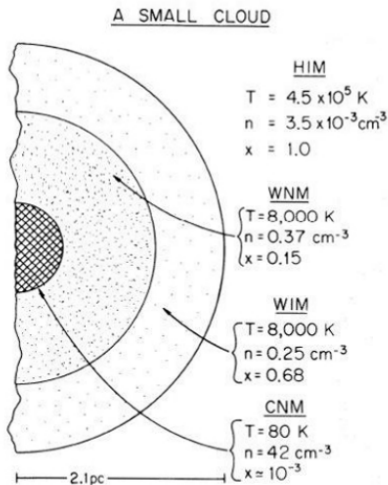
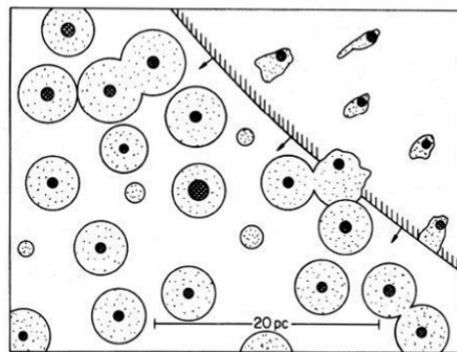


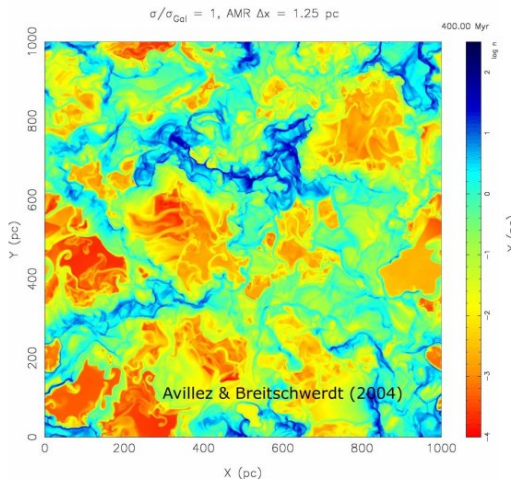
Fig. 1



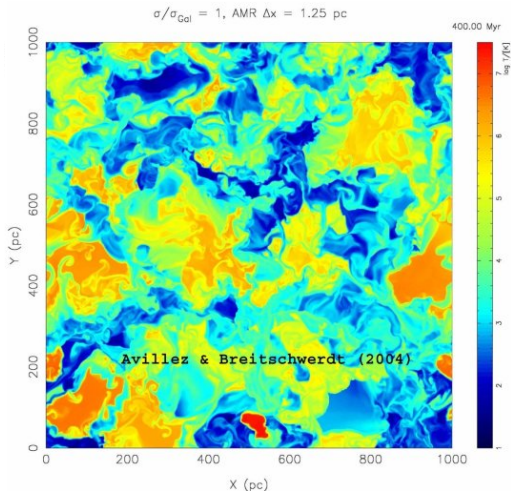
A CLOSE UP VIEW

Fig. 2

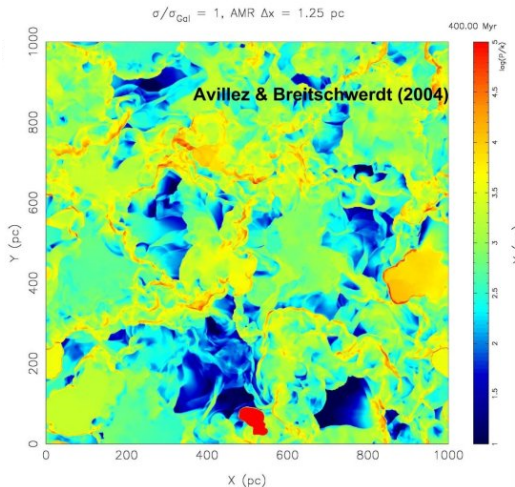
Daudzfāzu starpzvaigžņu vide (2004): blīvums



Daudzfāzu starpzvaigžņu vide (2004): temperatūra



Daudzfāzu starpzvaigžņu vide (2004): spiediens



Starpzvaigžņu vides komponentes

- Mūsu Galaktikas starpzvaigžņu videi izdala trīs galvenās fāzes
 - Piena Ceļš = Galaktika (ar lielo burtu) = mūsu galaktika
 - galaktika (ar mazo) = kāda cita galaktika
- **Auksta starpzvaigžņu vide:** temperatūra ap $10 - 100$ K, daļiņu koncentrācija ap $10^3 - 10^5 \text{ cm}^{-3}$
 - Veido aukstus molekulāros mākoņus; tumšie vai atstarojošie miglāji
- **Silta starpzvaigžņu vide:** temperatūra ap 10^4 K, daļiņu koncentrācija ap $10 - 100 \text{ cm}^{-3}$
 - Atomārā (HI) un jonizētā (HII) ūdeņraža mākoņi
 - Tuvu zvaigznēm veido emisijas miglājus
- **Karstā starpzvaigžņu vide:** temperatūra ap 10^6 K, daļiņu koncentrācija ap $0.01 - 1 \text{ cm}^{-3}$
 - Atrodas starp blīvākiem un aukstākiem apgabaliem

Starpzvaigžņu vides komponentes: apkopojums

Komponente	h , pc	T , K	n , cm^{-3}
Molekulārie mākoņi	50 – 100	10 – 20	$10^2 - 10^6$
Aukstā neitrālā vide	100 – 300	50 – 100	20 – 50
Siltā neitrālā vide	300	6000 – 10000	0.1 – 1
Siltā jonizētā vide	1000	8000 – 10000	0.1 – 1
H II rajoni	50 – 100	8000 – 10000	$10^2 - 10^6$
Karstā jonizētā vide	1000 – 3000	$10^6 - 10^7$	$10^{-4} - 10^{-2}$

- h - augstuma skala ap Galaktikas plakni

1 0 7 1 1 9

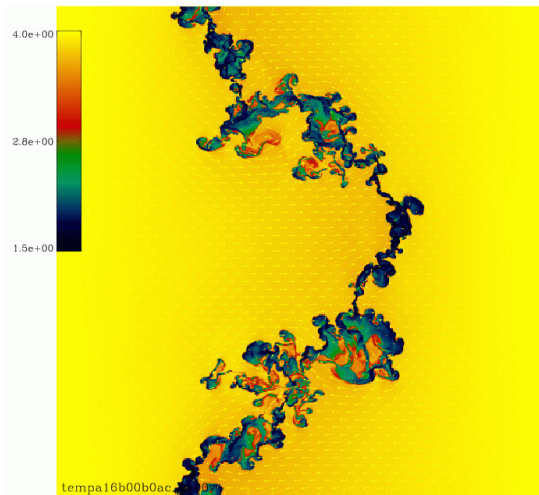
Komponente	$\Delta V/V$	$\Delta M/M$	Kā novēro?
Molekulārie mākoņi	$< 1\%$	10%	Radio un IS molekulārās emisijas un absorbcijas līnijas. Māzeri.
Aukstā neitrālā vide	1 – 5%	mazs	H I 21 cm līnija
Siltā neitrālā vide	10 – 20%	mazs	H I 21 cm līnija
Siltā jonizētā vide	20 – 50%	90%	H α u c. emisijas līnijas
H II rajoni	$< 1\%$	mazs	H α u c. emisijas līnijas
Karstā jonizētā vide	30 – 70%	mazs	C IV, O VI u.c. līnijas

- Kopējā starpzvaigžņu vides masa Piena Ceļā ir aptuveni 15% no zvaigžņu masas

Aukstā starpzvaigžņu vide: starojums

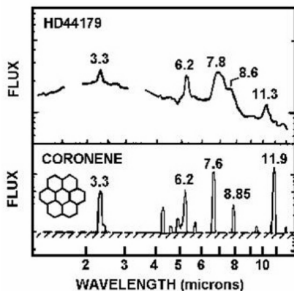
- Temperatūra ap 10-100 K: nav pietiekama optisko spektrālīniju ierosmei ($1 \text{ eV} \sim 1.1 \times 10^4 \text{ K} \sim 1.2 \text{ } \mu\text{m}$)
- Tiek ierosinātas tikai līmeņi pamatstāvokļa tuvumā:
sīkstruktūras un **supersīkstruktūras pārejas**
- Īpaši svarīga ir ūdeņraža SSS līnija ap 21 cm (frekvence ap 1.4 GHz)
 - Rodas atomārā pārejā, kad kodola un elektrona savstarpējā spinu orientācija mainās no paralēla uz antiparalēlu:
 $p \uparrow + e^- \uparrow \rightarrow p \uparrow + e^- \downarrow + \gamma$.
 - Ierosinātā līmeņa dzīves laiks ir ap 11 miljoniem gadu!
 - Laiks starp sadursmēm ir zem 100 gadu; tāpēc izspīd tikai neliels H atomu daudzums
 - Tomēr atomu skaits ir tik liels, ka līnija ir ļoti izteikta
 - Līnijas Doplera nobīdi var izmantot Galaktikas rotācijas pētījumiem

Molekulāro mākoņu izveide plūsmu sadursmēs



Starpzvaigžņu putekļi

- Aukstā SZV satur ap 1% putekļu (pēc masas)
- Putekļi sastāv galvenokārt no silikātiem un ogles, to spektri rāda arī t.s. **policiklisko aromātisko ogļudeņražu (PAO)** spektrālās joslas infrasarkanā diapazonā.

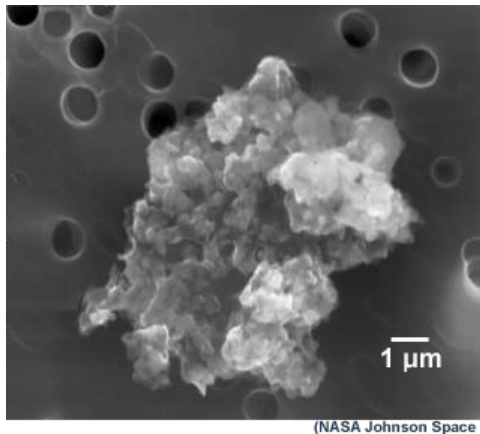
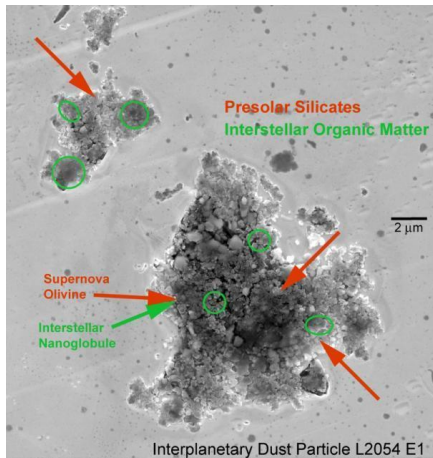


Uz šī attēla kāda sarkanā milža IS spektrs tiek salīdzināts ar koronēna spektru. Koronēns ir viens no policikliskiem aromātiskiem ogļudeņražiem. NB: emisijas joslu pozīcijas galvenokārt tiek noteiktas ar lokālo molekulāro struktūru.

Starpzvaigžņu putekļi: ietekme

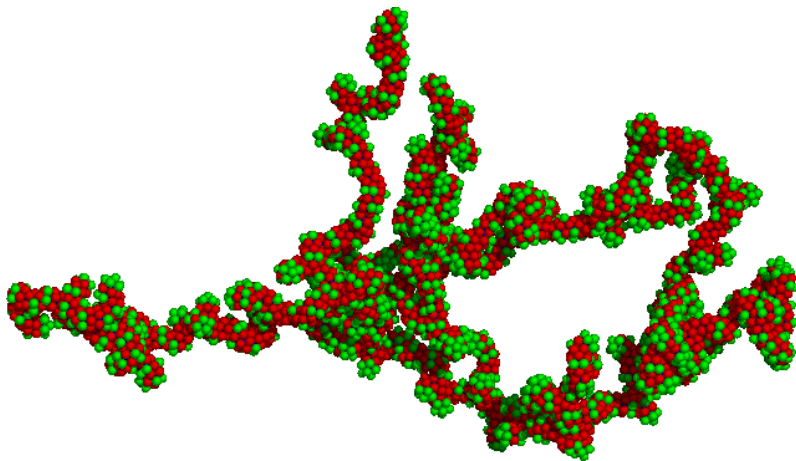
- Putekļu kodoli galvēnokārt rodas sarkano milžu zvaigžņu retinātās atmosfērās un tad tiek izmesti starpzvaigžņu telpā
- Nokļūstot SZV, putekļi kalpo par katalizatoru daudziem procesiem
- Metāli (Si, Ca, Fe) stipri kondensējas uz putekļiem, kas noved pie SZV difūzās fāzes ķīmiskā sastāvā atšķiras no zvaigžņu sastāva
- Aukstā SZV uz to virsmas kondensējas arī piemēram H_2O un CO_2
- Putekļi kalpo arī par ķīmisko reakciju katalizatoriem, kas citādi tiek bremsētas zemas temperatūras dēļ
- Putekļu izmēri ir ar kārtu $0.1\text{--}10\ \mu\text{m}$, tiem ir neregulārā forma
- Putekļi absorbē redzamo un UV gaismu un pārstaro to IS diapazonā: dzēsē aukstos mākoņus

Starpplanētu putekļi: piemēri

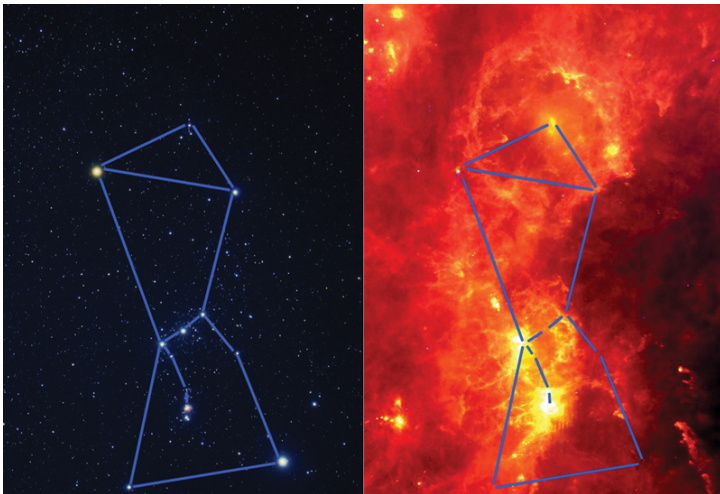


(NASA Johnson Space)

Starpzvaigžņu puteklis no simulācijas



Oriona apgabals IS gaismā (12-100 mikronu)



Siltā starpzvaigžņu vide: HII apgabali

- Jonizētā ūdeņraža (H II) apgabali vienmēr atrodas tuvu molekulāriem mākoņiem. Kad daļa no tā jau kolapsēja, izveidojot zvaigznes, to UV starojums jonizē apkārt esošo vidi.
- Karstākās (O) zvaigznes var jonizēt ne tikai H, bet arī O, N, S, utt. Rezultātā H II apgabala spektrs satur stipras emisijas līnijas no šo elementu atomiem un joniem.
- Kā arī planetāros miglājos, ierosināto līmeņu apdzīvotība rodas elektronu ierosmes, rekombinācijas un dažādu rezonanšu rezultātā.
- Spektrālīniju attiecības var tikt pielietotas plazmas stāvokļa noteikšanai
- H II apgabalu izmērs tiek noteikts ar jonizācijas līdzsvaru. Ap vienu zvaigzni tas sasniedz ap 0.3 pc.

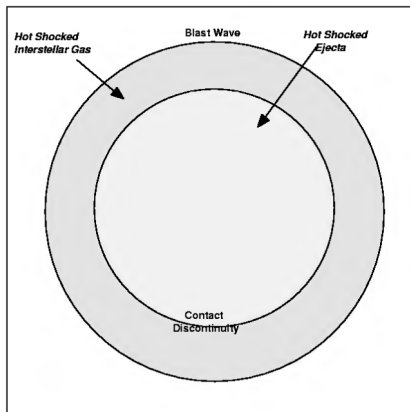
Karstā starpzvaigžņu vide: triecienvilnis

- Karsē SZV: triecienvilnis pārvērš savu kinētisko enerģiju daļiņu siltuma kustībā
 - **Triecienvilnis:** kustības ātrums lielāks par skaņas ātrumu pirms tā (bet *mazāks* par skaņas ātrumu aiz tā)
- Pēc mijiedarbības ar stipru triecienvilni
 - Temperatūra ar kārtu $T \sim m_p v_{sh}^2 / 2k$, parasti apgabalā $10^6 - 10^8$ K
 - Blīvums palielinās 4 reizes (maksimālā vērtība, ja nav siltuma zudumu!)
 - Vielai ir makroskopiskā kustība ar ātrumu $3v_{sh}/4$ (no masas nezūdamības)

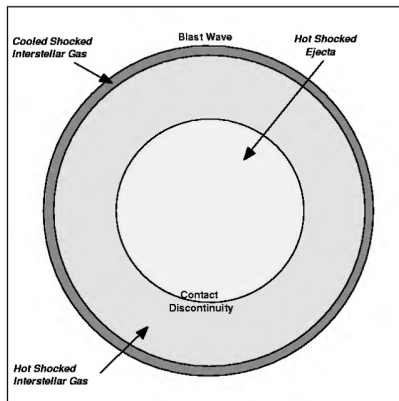
Karstā starpzvaigžņu vide: pārnovas paliekas

- Evolūcijā izdala vairākas fāzes
 - Brīvā izplēšanās
 - SZV satverta masa iz daudz mazāka par palieka masu, ilgums 10-100 gadu
 - Sedova-Teilora fāze
 - Pakāpēniskā bremzēšanās, temperatūra pēc triecienvilņa $10^6 - 10^8$ K
 - Sniega tīrītāja fāze
 - Triecienvilnis izplatās pēc inerces, ilgums ap $10^5 - 10^6$ gadu
 - Izotermiskais triecienvilnis: uzreiz pēc vielas sakarsēšanas tā atdziest un iekšējās karstās gāzes spiediena rezultātā panāk triecienvilni.

Triecienviļņa fāzes



b. Supernova Remnant: Sedov-Taylor Phase

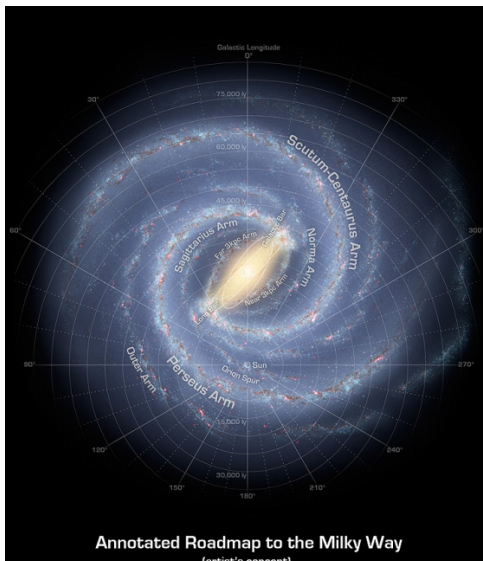


c. Supernova Remnant: post Sedov-Taylor Phase

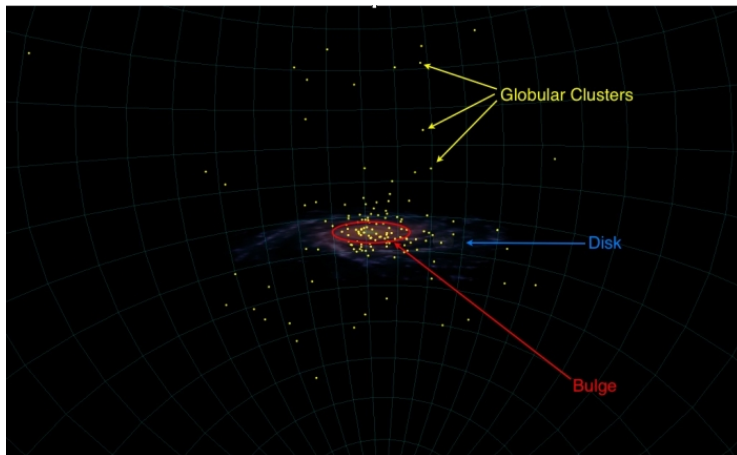
Outline

- 1 Zvaigžņu kopas, miglāji
 - Valējās kopas
 - Lodveida kopas
 - Miglāji: emisijas, absorbcijas, atstarošanas
- 2 Starpzvaigžņu vide
 - Elementārie procesi un difūzās vides spektroskopija
 - Starpzvaigžņu vides komponentes
 - Atsevišķo fāzu apskats
- 3 Galaktikas uzbūve
 - Galaktikas izskats un evolūcija
 - Galaktikas centrs
 - Galaktikas apkārtne

Galaktika. Skats no augšas.



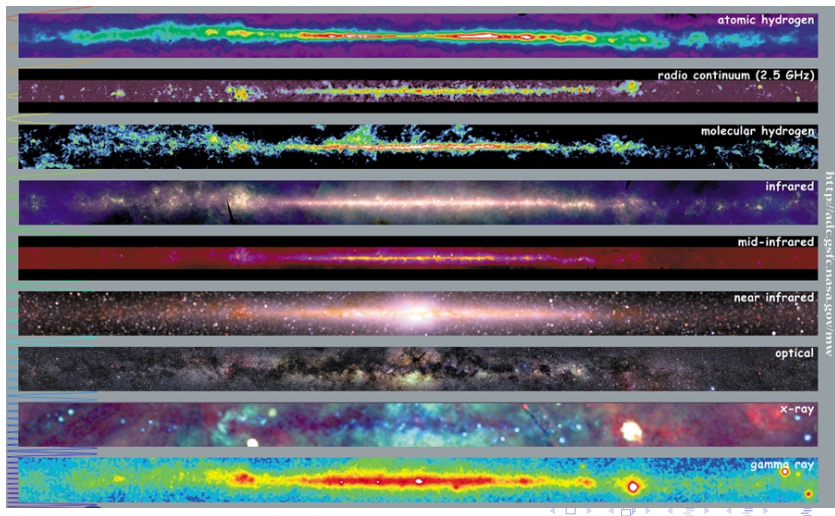
Galaktikas disks un halo



Galaktikas galvenās komponentes

- Komponentes:
 - Disks: jaunās zvaigznes, gāze
 - Divas komponentes: plānaiss disks un biežais disks
 - Biezā diska zvaigznes ir vecākas: radušās pirms kādas mijiedarbības
 - Baldžs: vecās zvaigznes, bijusi eliptiskā galaktika?
 - Halo: vecās zvaigznes, lodveida zvaigžņu kopas
- Spirālžari
 - 10% palielinājums pēc masas, daudz izteiktāks spožuma palielinājums
 - Izteikti galvėnokārt tāpēc, ka tajās ir spožas O-,B-klašu zvaigznes
 - Spirālžaros notiek aktīvā zvaigžņu veidošanās
 - Spirālžari ir maigi pašorganizējušies triecienviļņi

Galaktika plašā spektrālā diapazonā



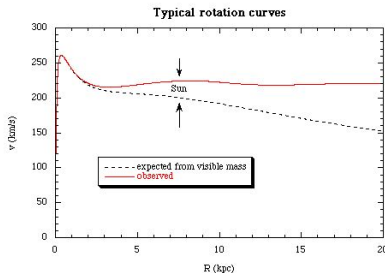
Galaktika no radio līdz gamma-starojumam

- Ko mēs redzam katrā no spektrāliem diapazoniem:

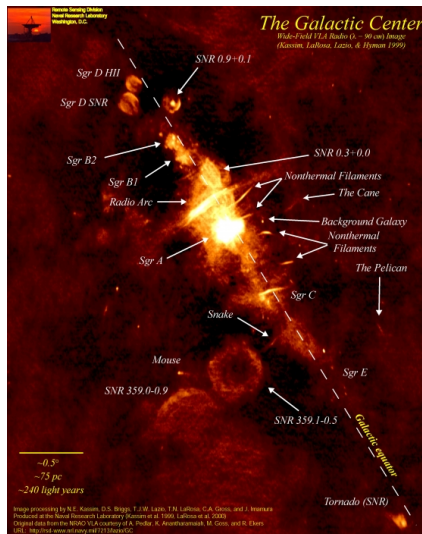
Diapazons	Objekti
H I 21 cm līnija	HI mākoņi (atomārs H)
Radio (GHz)	Galaktikas magnētiskais lauks
H ₂ , CO līnijas	Molekulārie mākoņi (blīvākie apgabali)
Tālais IS	Aukstie mākoņi (siltuma starojums)
Tuvs IS	Vecas zvaigznes
H α filtrs (650 nm)	H II mākoņi (jonizēts H, zvaigžņu veidošanās)
Redzamā gaismā	Jaunas zvaigznes, SZV kopā (absorbēcija)
Rentgens (1 keV)	Karstā gāze, SZV kopā (absorbēcija)
Gamma-stari	Kosmiskie stari + SZV kopā, γ -staru avoti

Saules kustība Galaktikā

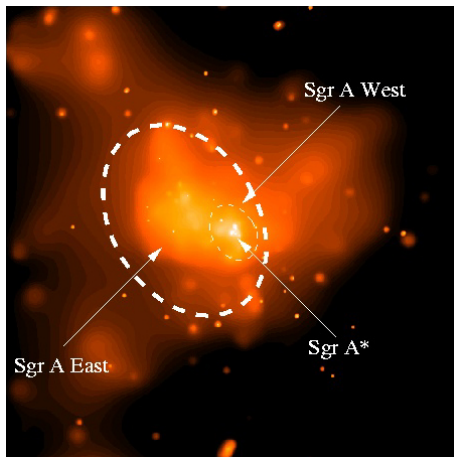
- Saule atrodas ap 8 kpc no Galaktikas centra
- Kustības ātrums ap Galaktikas centru ir ap 220 km/s
- Apgriešanas periods atbilstoši sastāda ap 200 miljonu gadu



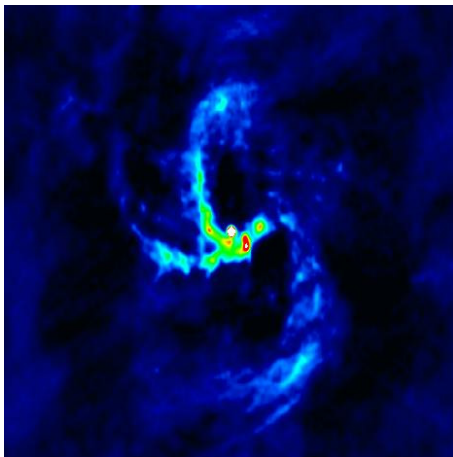
Galaktikas centra apkārtne radiostarojumā



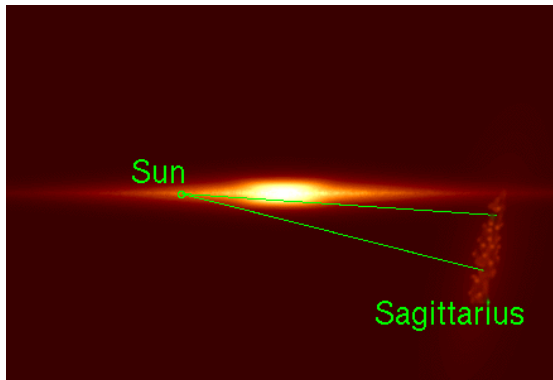
Galaktikas centrs rentgendiapazonā



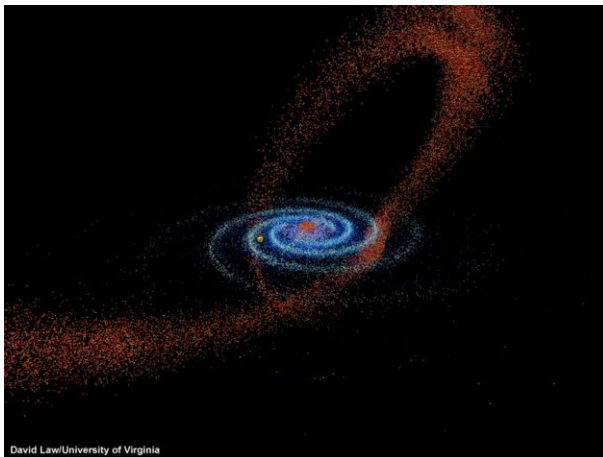
Galaktikas centrs radiostarojumā



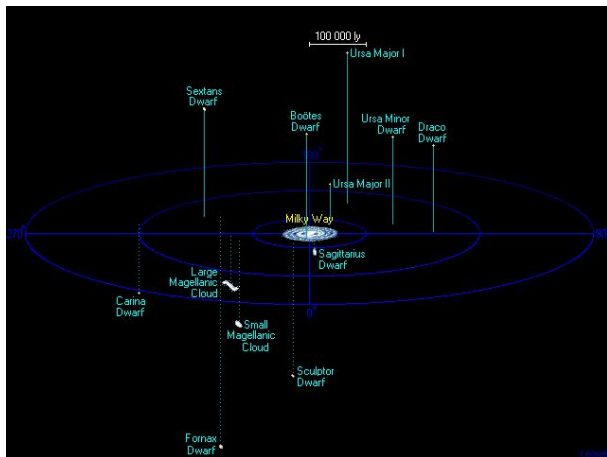
Mijiedarbības piemērs: Strēlnieka galaktika



Mijiedarbības piemērs: Strēlnieka galaktika (2)



Piena Ceļa galaktikas pavadoņi



Simulētā Piena Ceļa galaktika (tumšā matērija)

