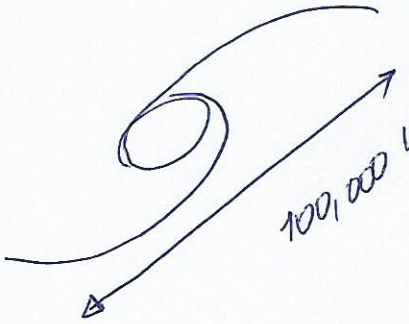
# کهکشان راه شیری — Milky Way

We are all in the gutter,
but some of us are looking at the stars.

Oscar Wilde, Lady Windermere's Fan.

کهکشان راه شیری به صورت نواری از نور ضعیف و پراکنده در آسمان شب دیده می‌شود. نور حاصل از کهکشان راه شیری از نور تک تک ستاره‌هایی است که در این مجموعه گرانشی قرار دارند. اگرچه با چشم غیر مسلح قادر به دیدن تک تک ستاره‌ها نیستم. این ایده که مجموعه کهکشان راه شیری از ستاره‌ها شکل گرفته است مربوط می‌شود به گالیله گالیله Galileo Galilei (1564 - 1642) که اولین مشاهدات رصدی را با تلسکوپ انجام داد.

گرچه از 1610 یعنی از ۴ قرن می‌گذرد ولی تنها در دو دهه اخیر است که تصویر خوبی از توزیع ستاره‌ها در کهکشان و ساختارشان داریم.




کهکشان راه شیری ساختار دیسکی دارد که 100,000 ly طول دارد. همچنین می‌دانیم که علاوه بر ستاره‌ها کهکشان راه شیری دارای گاز و غبار است.

نکته جالب این است که با مشاهدات رصدی می‌دانیم که ستاره‌ها، گاز و غبار تنها 10% از جرم کهکشان را تشکیل می‌دهد. در حالی که جرم عمده این سیستم را ماده تاریک تشکیل می‌دهد.

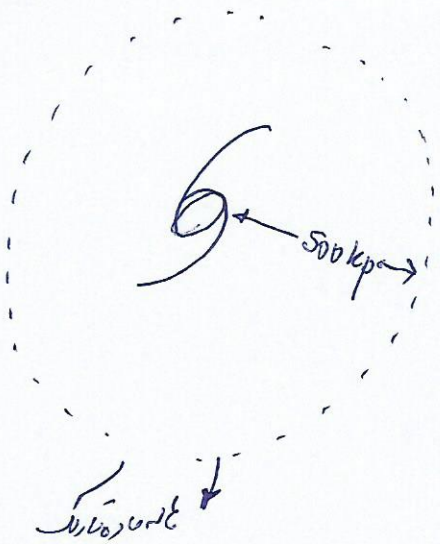
$$M_{MW} \approx (2 \times 10^{30} Kg \equiv M_\odot) \times 10^{12}$$

حال در تعریف کهکشان راه شیری، مجموعه ستاره‌ها، گاز، غبار و ماده تاریک کهکشان را می‌سازند. در خارج از محدوده کهکشان راه شیری، مجموعه ستاره، گاز و غبار و ماده تاریک دیگری وجود دارد که خود را کهکشان می‌داند.

کهکشان راه شیری در حدود $10^{11}$ ستاره وجود دارد که بیشتر آنها در دیسک می‌باشند و بیشتر نور مرئی کهکشان از نور ستاره‌ها است.

شواهد رصدی، دنیای ستاره‌ها، 21 cm و ...

نشان می‌دهد که کهکشان راه شیری در هاله ماده تاریکی با ابعاد حدود




که 500 Kpc قرار دارد.

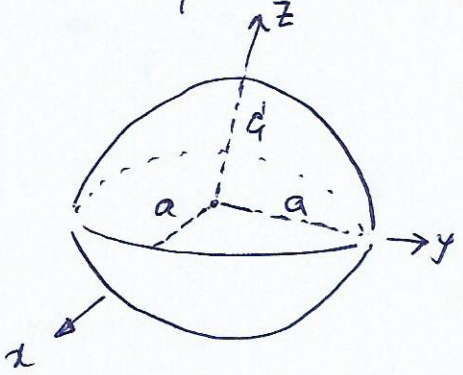
$1pc \approx 3.26\ ly$

هاله ماده تاریک تقریباً کروی است و حجم آن تقریباً 10 برابر حجم ماده روشن است

و سطح آن گویای هاله ماده تاریک است که کهکشان را نگه می‌دارد.

هاله ماده تاریک

دقت شده در دنیای ستاره‌ها نشان می‌دهد که هاله ماده تاریک به شکل بیضی کروی پخ شده است Oblate Spheroid

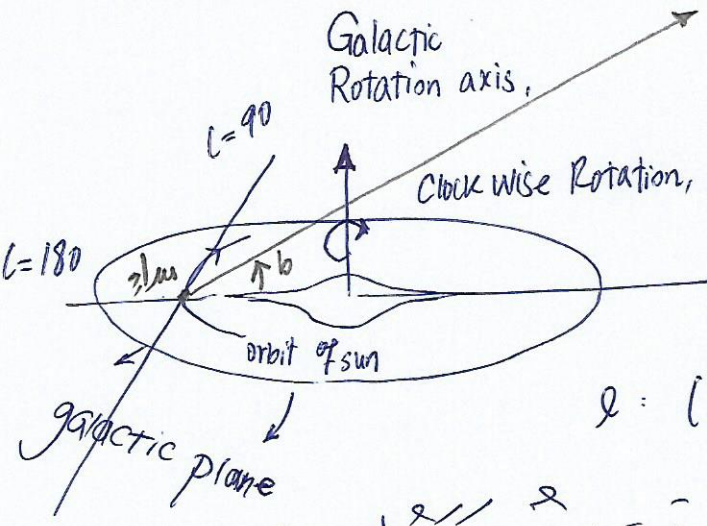



$$\frac{x^2+y^2}{a^2} + \frac{z^2}{c^2} = 1 \qquad c<a \text{ oblate,}$$

$c/a \simeq 0.3$ Milky way Halo.

هسته و ماده روشن کهکشان در مرکز هاله ماده تاریک قرار دارد و دیسک دیسک Galactic Disk قرار دارد.

صفحه میانی دیسک، صفحه کهکشانی را تعریف می‌کند (Galactic Plane)




{ l: Galactic longitude
b: Galactic latitude

Constellation Sagittarius.

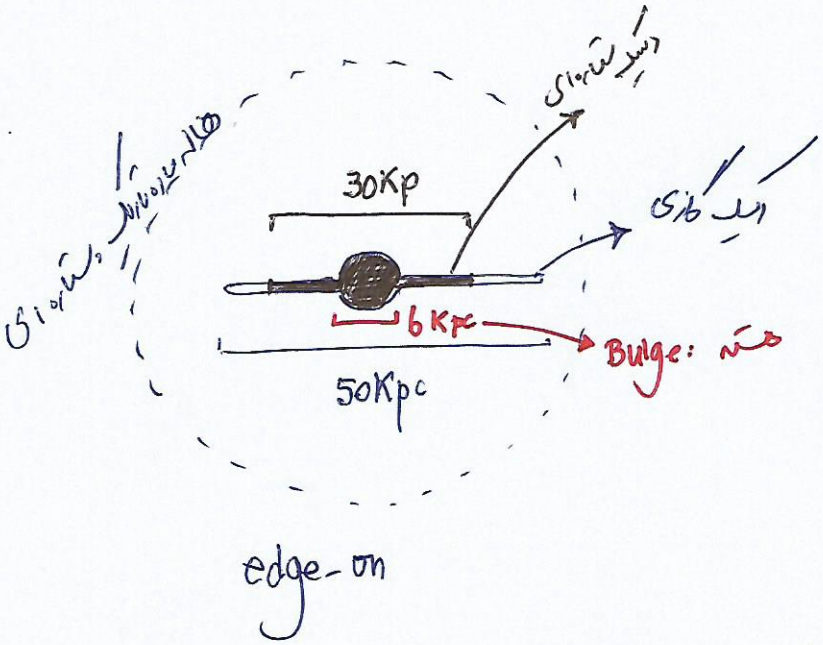
$l : (0, 360)$ , $b (-90, +90)$

خورشید در میانه راه مرکز کهکشان یعنی کهکشان قرار دارد. موقعیت خورشید در کهکشان راه شیری است که دیده می‌شود، ستاره‌های دیسک کهکشان به صورت نوار دیده می‌شوند.

کهکشان ها را می توان به صورت "روبرو" یا face on از کنار "edge on" دید

با دقت بالا اگر به بازوهای کهکشان راه شیری (از نوع کهکشان مارپیچی) از نقطه نظر ساختار تکه تکه شده و تغییر شکل یافته خواهیم دید (Distorted & Fragmented).

دلیل این که ساختار مارپیچی کهکشان از نظر رصدی مشهود است این است که ستاره های داغ پیر عادی در این مناطق قرار دارند، این به خاطر وجود ستاره های پیر در این نواحی نیست. در ادامه نشان خواهیم داد که سرعت چرخش مارپیچی ها و ستاره ها با گذر زمان ثابت است. خورشید با سرعت $v_\odot \simeq 220\ Km/s$ حول مرکز کهکشان می گردد.




edge-on

face-on

چگالی ستاره ها به سمت مرکز کهکشان افزایش پیدا می کند. قسمت مرکزی کهکشان را که ابعاد حدود 6 Kpc (قطر) دارد را "bulge" می گویند

$$M_{bulge\ (Milky\ way)} \simeq 10^{10} M_\odot$$

4/

- راه شیری کهکشان از مولفیت ها ساخته است ولی شواهد رصدی وجود دارد که هسته کهکشان دارای میله bar است از این رو کهکشان راه شیری یک کهکشان مارپیچی میله ای است.

از این نظر کهکشان راه شیری، یک کهکشان مارپیچی میله ای "barred Spiral Galaxy" است. هسته کهکشان مارپیچی دارای هسته با میله هستند.

- اطراف دیسک کهکشانی هاله ستاره ای وجود دارد که جرم آن در حدود $10^9 M_\odot$ می باشد. از آن جایی که چگالی عددی ستاره ها در هاله کمتر از دیسک است در تصویر کهکشان های دیسکی قسمت هاله دیده نمی شود.

نکته مهم این است که هاله ستاره ای مقدار گازکمی دارد و شکل آن بیضی گون است به هسته و هاله ستاره ای کهکشان "بیضی گون" spheroid می گویند.

- نکته مهم دیگر این است که کهکشان موجود کاملا از دو له نیست و با محیط بین کهکشانی "Intergalactic Medium" اندرکنش دارد. پس بطور کلی کهکشان راه شیری یک کهکشان مارپیچی دارای میله است.

قسمت های تشکیل دهنده آن:

1) هاله ماده تاریک ( Oblate Spheroids) ~ $10^{12} M_\odot$ (more uncertain)

2) دیسک کهکشانی ( ستاره ها، گاز، غبار ) ~ $10^{11} M_\odot$ دارای بازوهای مارپیچی

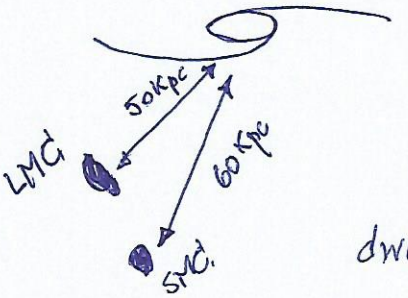
3) هسته bulge ← دارای میله barred bulge. ~ $10^{10} M_\odot$

4) هاله ستاره ای ( کم جمعیت ) ( Oblate Spheroids ) ~ $10^9 M_\odot$

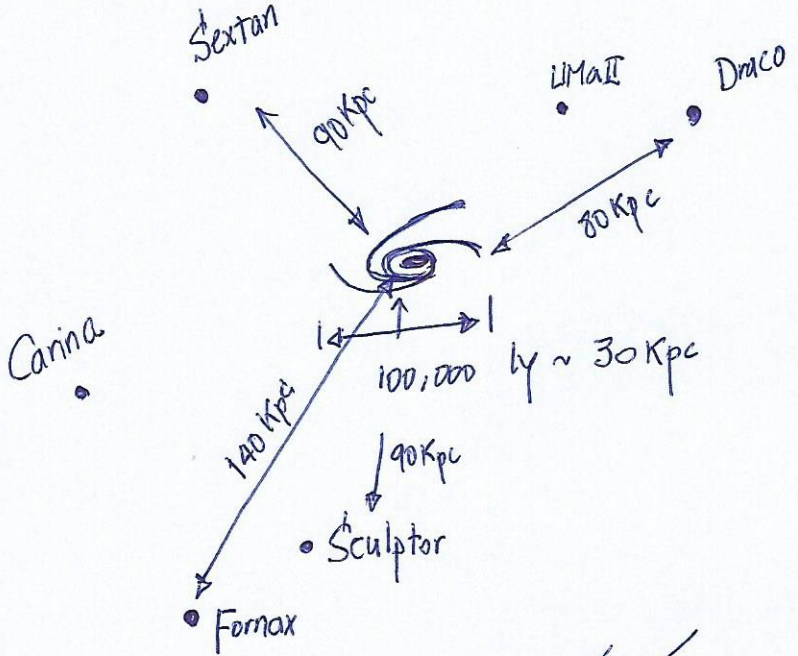
گسترده ترین جزء کهکشان راه شیری هاله ماده تاریک است که اندازه شعاعی ابعاد آن سخت تر است، چون فقط اثرات گرانشی آن را می بینیم.

ناحیه ابر ماژلانی بزرگ 50Kpc ، ابر ماژلانی کوچک 60Kpc است ، از این رو حداقل شعاع هاله ماده تاریک 60Kpc است.

کهکشان های قمری (Large Magelanic Cloud) LMC
(Small Magelanic Cloud) SMC




راه شیری هستند. از طرف دیگر رصدهای اخیر توسط ماهواره های انجام شده نشان می دهد که کهکشان های کوتوله بیضی گون dwarf spheroids در اطراف کهکشان راه شیری وجود دارد که فواصل آن بیشتر از LMC ، SMC است.



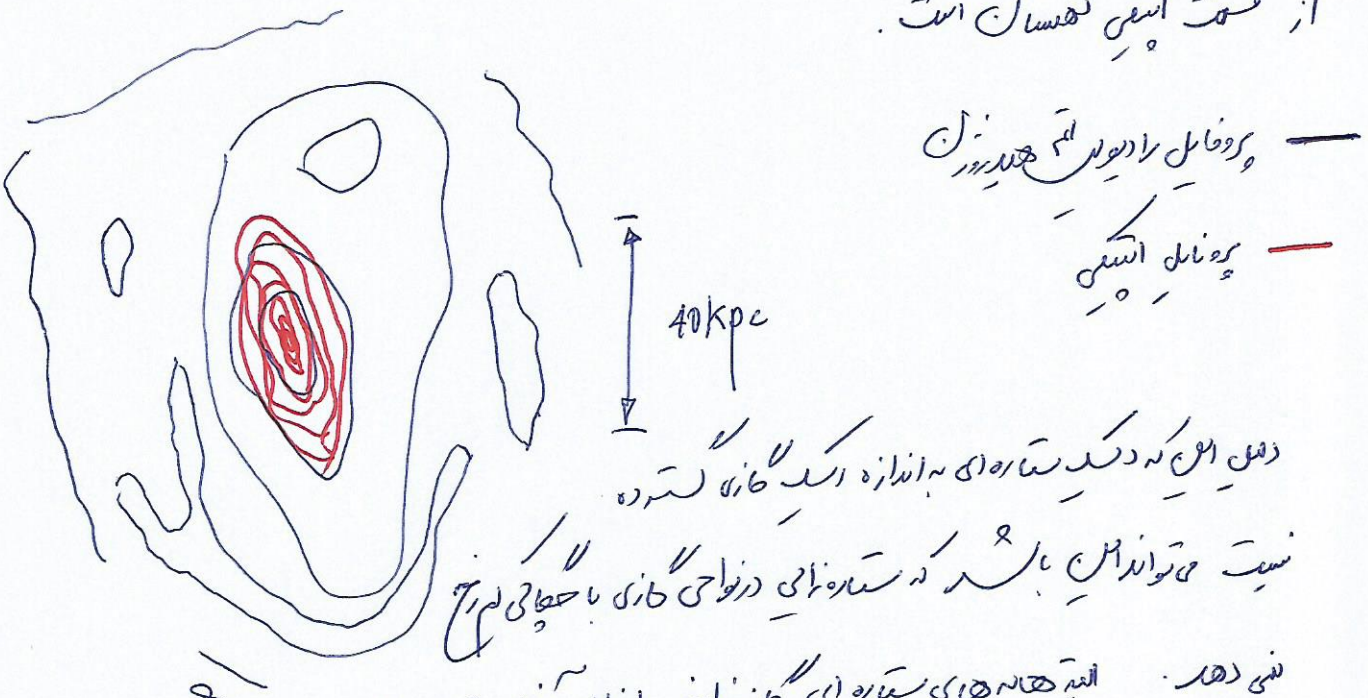

سئوال دقیق تر از اندازه هاله ماده تاریک، سئوال درباره اندازه دیسک کهکشان راه شیری است. البته برای جواب دادن این سئوال باید حوزه کهکشانی را بررسی کنیم. به طور مثال ستاره ها تا شعاع 15Kpc گسترده شده اند، که خورشید 8.5Kpc است. دیسک ستاره ای 1Kpc ضخامت دارد بدان معنا که ستاره در دیسک از بیشتر $\pm 500$ pc از صفحه کهکشان می تواند فاصله گیرد.

در حالی که گاز کهکشانی به خصوص اتم هیدروژن تا فاصله (شعاع) 25 Kp گسترده شده است. البته چگالی گاز از شعاع 15 Kpc به بعد به شدت کاهش می یابد.

به طور مشابه کهکشان NGC 6744 که به صورت face on دیده می‌شود به MW شبیه است و هالهٔ

زیادی دارد. رصد رادیویی نشان می‌دهد که شدت دریافتی از گاز کهکشان (اتم هیدروژن) 1.5 برابر شده‌ای

از قسمت انتهایی کهکشان است.




پروفایل رادیویی اتم هیدروژن

پروفایل اپتیکی

دلیل این که دیسک ستاره‌ای به اندازه دیسک گازی گسترده نیست می‌تواند این باشد که ستاره‌زایی در نواحی گازی با چگالی کم رخ نمی‌دهد. البته هاله‌های ستاره‌ای گاز ندارند و اندازه آنها با توزیع ستاره‌ها داده می‌شود.

ستاره‌ها از نظر جرم، سن و ساختار شیمیایی با هم متفاوتند که باعث وجود ستاره‌های با دما و درخشندگی متفاوتی شده است.

طیف ستاره‌ای روش بسیار مناسب برای طبقه‌بندی ستاره‌ها است. به ترتیب کاهش دما، ستاره‌ها را به

O, B, A, F, G, K, M

کاهش دما

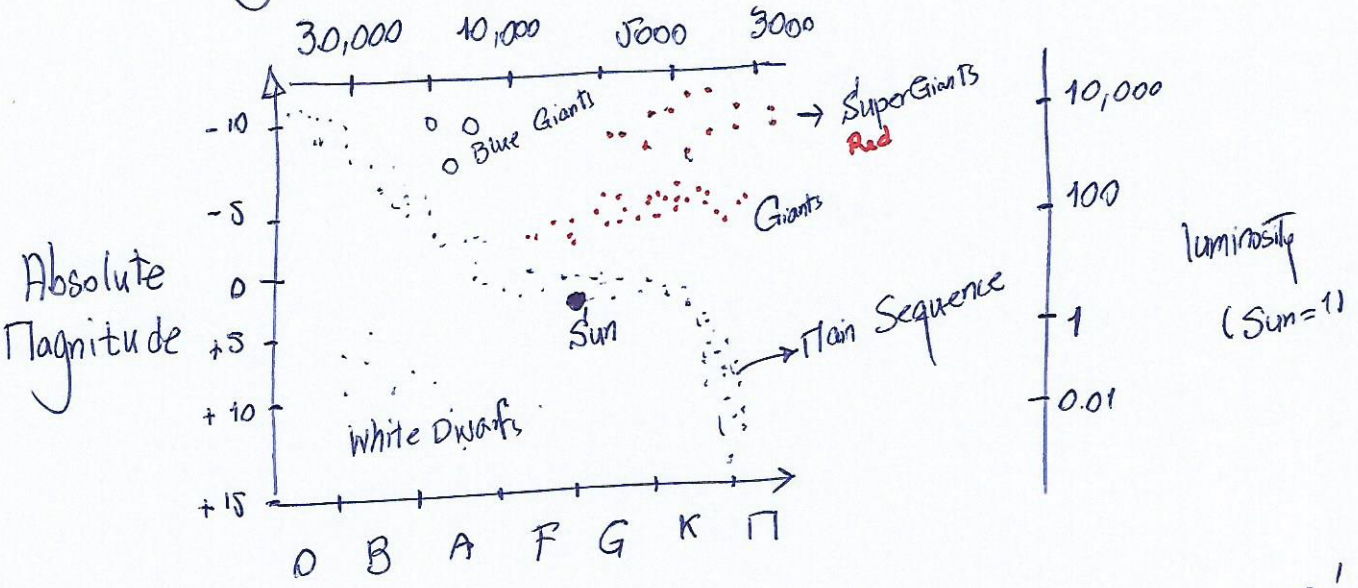
بسیاری از ستاره‌های پرنور کهکشان ستاره‌های آبی و سفید هستند و مربوط به دسته O, B هستند. البته

تعداد بسیاری از ستاره‌های کوچک، سرخ، کم‌نور و مربوط به دسته M هستند.

بیشتر ستاره‌ها در نواحی پرچگالی گازی شکل می‌گیرند و بیشتر عمرشان را در رشته اصلی Main Sequence می‌گذرانند و از سوخت هسته‌ای که از تبدیل هیدروژن به هلیوم است استفاده می‌کنند.

ستاره‌ها را با نمودار قدر - رنگ می‌توان به شکل زیر طبقه‌بندی کرد.

## Hertzsprung - Russell Diagram




قدر مطلق (Absolute Mag.) را به صورت روشنایی ذاتی intrinsic brightness اجرام آسمانی تعریف می‌شود که در فاصله استاندارد 10 pc قرار دارد و نور آن دچار کاهش (به خاطر مواد سر راه) نشده است (No Astronomical extinction). قدر مطلق را می‌توان در بازه طیفی مختلفی محاسبه کرد که به طور کلی منظور از قدر مطلق در طیف دیداری ستاره است. البته قدر مطلق بولومتریک (Absolute bolometric magnitude) نیز تعریف می‌شود که برای درخشندگی (Luminosity, $\frac{\text{Energy}}{\text{time}}$) جسم آسمانی در تمام طول موج‌ها است.

طبق تعریف قدر ظاهری، جسم درخشان‌تر قدر منفی‌تر دارد بنابراین همانطور که 5 قدر منفی‌تر است 100 مرتبه درخشان‌تر است. به طور مثال کهکشان راه شیری قدر مطلق $-20.5$ دارد که در فاصله گواراری با قدر $-25.5$، 10 مرتبه از کهکشان ما پرنورتر است.

8

قدر مطلق را می‌توان از قدر ظاهری در رابطه زیر محاسبه کرد.

قدر مطلق ↑

$$M = m - 5 \log_{10} \frac{D_L / pc}{} + 5$$

↓ قدر ظاهری

که $D_L$ فاصله درخشندگی است و واحد پارسک

کمیت کاربردی دیگر مدول فاصله (Distance Modulus) $\mu$ است و برابر تفاضل قدر ظاهری و مطلق است:

$$\mu = m - M$$

رابطه مدول فاصله با فاصله درخشندگی برای ابرنواخترهای نوع I (SNe Ia) که شمع استاندارد هستند بر حسب فاصله درخشندگی در واحد مگاپارسک نوشته می‌شوند.

$$\mu = 5 \log_{10} \frac{D_L / Mpc}{} + 25$$

رابطه قدر بولومتریک یا درخشندگی نیز به صورت زیر تعریف می‌شود. (درخشندگی = انرژی در واحد زمان)

$$M_{bol,star} - M_{bol\,Sun} = -2.5 \log_{10} \frac{L_{star}}{L_\odot}$$

قدر مطلق خورشید، یعنی مقدار در فاصله 10pc

ویژگی‌های خورشید

$$M_\odot = 4.83$$

$$m = -26.74$$

$$T_{surface,\odot} = 5778$$

$$M_\odot = 1.989 \times 10^{30}\ kg \quad , \quad R_\odot = 695,800\ km \text{ radius}$$

Spectral type G(2V)

تحول ستاره ها بستگی به جرم آن ها دارد. ستاره های سنگین تر عمر کوتاهتری دارند، بیشتر ستاره ها در بازه پایانی عمرشان بزرگ شده و عناصر سنگین تری را تولید می کنند.

کلمه bulge به برآمدگی مرکز کهکشان گفته می شود که نوع ستاره ها در هسته، دیسک و هاله متفاوت است. ستاره های هاله پیرترند و عناصر سنگین تر از هلیوم را دارند. از این رو به جمعیت ستاره ای Stellar Population یکی از کلیدهای مهم شناخت کهکشان راه شیری است. تفاوت جمعیت ستاره ای اطلاعات گرانبهایی را در مورد شکل گیری و تحول کهکشان به ما خواهد داد.

- گاز و غبار کهکشان بیشتر در دیسک کهکشان است و فاصله آن از صفحه کهکشان از مرتبه 150pc است. 70٪ شامل هیدروژن، 28٪ هلیوم و بقیه 2٪ شامل عناصر سنگین تر است که منجم ها به آن فلز Metal می گویند.

هیدروژن بسته به چگالی، دما و میزان تابش UV می تواند به شکل های متفاوت باشد

High Density + low Temperature + low UV : $H_2$ مولکول هیدروژن

Enough Density + High Temperature / + Hig UV (and/or) $H^+$, (HII H-two) هیدروژن یونیزه

low Density $H$ اتم (HI H-one)

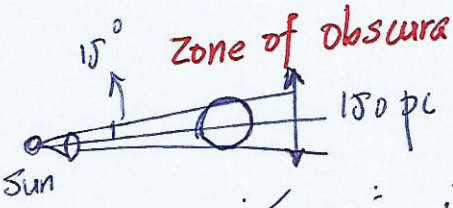
جرم گازها بیشتر از جرم ستاره هاست.

آن چه منجمان به آن غبار dust می‌گویند. توده‌های کوچک جامد (فشرده ای) از ترکیبات کربن، آسترن، سیلیکون و سایر عنصرها است. بیشتر غبارها از ترکیبات گرافیت یا سیلیکات است.

سطح خارجی ذرات غبار توسط یخ $(H_2O)$، آمونیاک $(NH_3)$، مونوکسید کربن $(CO)$ پوشیده شده است.

غبارها به اندازه $0.1-1\ \mu m$ می‌باشند، کل جرم غبار در کهکشان به اندازه $0.1$ جرم ستاره‌ای است.

از آن جایی که اندازه غبار از رتبه طول موج نوری است این ذرات در جذب و پراکندگی نور بسیار موثرهستند و از آن جایی که غبار




فاصله تا 150pc دیسک کهکشان پراکنده است

از این رو زمانی که در راستای دیسک مشاهده می‌کنیم، اثر تیره شدن بیشتر است.

زاویه obscuration، $15^\circ$ است. البته در دو دهه گذشته بدلیل رصد کهکشان در طول موج های متفاوت (مثل Infra-red) که حساسیت به اثر غبار کمتر است اطلاعات ارزشمندی از ناحیه obscuration به دست آورده ایم.

بین ستاره‌ای، محیط میان ستاره‌ای interstellar medium (ISM) به گاز و غبار کهکشان می‌گویند که در واقع بین کهکشان ها وجود دارد. به طور متوسط ISM دارای چگالی $10^6\ particle/m^3$ است. چگالی جرمی ISM از محیطی به محیط دیگر به شدت متفاوت است.

بیشتر جرم ISM در ابرهای سرد چگال Cool dense clouds قرار دارد که به آن ابرهای مولکولی (molecular clouds) می‌گویند. بیشتر این ابرهای مولکولی $H_2$ است.

ابرهای مولکولی از مرتبه چند هزار بار چگال‌تر از فضای میان ستاره‌ای هستند و اجرامی از مرتبه 10 تا 100 پارسک دارند. چگال تودهٔ آن‌ها $10^7 M_\odot$ است. 50٪ جرم فضای میان ستاره‌ای را تشکیل می‌دهند و حجمی کمتر از 1٪ را در بر می‌گیرند.

- بخش دیگری از فضای میان ستاره‌ای، ابرهای جاذب‌زدهٔ هیدروژن یونیزه HII می‌باشند که اجرامی از مرتبه چند پارسک دارند. سحابی شکارچی Orion Nebula (M42) نمونه‌ای از ابرهای هیدروژن یونیزه است که به خاطر تابش UV حاصل از ستاره‌های جوان تشکیل شده است.

ابعاد 6pc دارد و جرم آن از مرتبه 100 جرم خورشید است. در مجموع ابرهای HII فقط 1٪ از جرم و حجم فضای میان ستاره‌ای را تشکیل می‌دهد.

- تقریباً ماده میان ستاره‌ای از جنس ماده میان ابری است که به آن intercloud medium گفته می‌شود که به محیط گرم یونیزه است. در دیسک کهکشانی گاز دارای ضخامت 300 pc است و شامل هیدروژن اتمی است (HI) و دارای توزیع تقریباً یکنواخت است. این ابرها که حجم زیادی از کهکشان را در بر می‌گیرند حجم بسیار بیشتری دارند محیط ISM رابطه بسیار تنگاتنگی با ستاره‌زایی دارد. در ابرهای سرد چگال ستاره‌ها متولد می‌شوند و مادهٔ غنی‌شده‌تر را به فضای میان ستاره‌ای فرستاده‌اند

به این فرایند، فرایند غنی‌سازی شیمیایی کهکشان Galactic Chemical Enrichment گویند. که موضوع بحث آینده است. بررسی درصد هریک از عوامل تشکیل دهندهٔ کهکشان، اطلاعات گرانبهایی دربارهٔ تاریخچهٔ کهکشان و نحوهٔ شکل‌گیری و تحول آن در اختیار ما قرار می‌دهد.