

وزارت علوم، تحقیقات و فناوری



دانشگاه دامغان  
دانشکده فیزیک

پایان نامه کارشناسی ارشد فیزیک (گرایش نجوم و اختر فیزیک )

رمبش ابر مولکولی کروی با روش تجزیه آدومین

توسط:

زینب میرزایی

استاد راهنما:

دکتر محسن نژاد اصغر

شهریور ماه 1389



بِسْمِ اللّٰهِ الرَّحْمٰنِ الرَّحِیْمِ

وزارت علوم، تحقیقات و فناوری

دانشگاه دامغان

دانشکده فیزیک

پایان نامه کارشناسی ارشد فیزیک (گرایش نجوم و اختر فیزیک )

رمبش ابر مولکولی گروهی با روش تجزیه آدومین

توسط:

زینب میرزایی

استاد راهنما:

دکتر محسن نژاد اصغر

شهریور ماه 1389



به نام خدا

بررسی رمبش ابرمولکولی گروهی با استفاده از روش ادومین

به وسیله ی:

زینب میرزائی

پایان نامه

ارائه شده به تحصیلات تکمیلی دانشگاه دامغان به عنوان بخشی

از فعالیت های تحصیلی لازم برای اخذ درجه کارشناسی ارشد

در رشته ی:

فیزیک (گرایش نجوم و اختر فیزیک)

ارزیابی و تایید شده توسط کمیته پایان نامه با درجه: **ص**

دکتر محسن نژاد اصغر ، استادیار دانشکده فیزیک دانشگاه دامغان (استاد راهنما)

دکتر شهرام عباسی، استادیار دانشکده فیزیک دانشگاه دامغان (استاد داور)

دکتر نیما قلعه، استادیار دانشکده فیزیک دانشگاه دامغان (استاد داور)

دکتر حسین چراغچی، استادیار دانشکده فیزیک دانشگاه دامغان (تمامنده تحصیلات تکمیلی)

شهریور ماه ۱۳۸۹

تقدیم بہ

رود پدرہ و پدروما درہمسرہ گہ

دستان پرتوانشان بزرگترین حامی زندگئی اہ

بودند .

## سپاسگزاری

خدای مهربان را شاکرم به خاطر الطاف بی دریغش  
واز کسانی که در این راه مرا یاری کردند سپاسگزارم.  
از مادرم، پر محتوا ترین کلمه ی افرینش، به خاطر زحمات و دعا های خیرشان  
از همسرم، ارزشمندترین هدیه ی خداوند ، کسی که نگاه مهربانش بدرقه ی راهم بود و ایمانش  
تکیه گاهم، به خاطر فداکاری ها و زحماتشان  
از دخترم انیتا، پررنگترین اثر انگشت خدا در صفحه ی زندگی ام ، به خاطر مهربانی و صبورییش  
از استادم دکتر نژاد اصغر ، ناب ترین واژه ی حضور، به خاطر راهنمایی ها و حمایت هایشان  
از دوستانم ، بیاد ماندنی ترین خاطرات دوران تحصیلم، به خاطر چیزهای ارزشمندی که از  
ایشان یاد گرفتم.

## چکیده

بررسی رمبش ابر مولکولی کروی به روش تجزیه آدومین

به وسیله‌ی:

زینب میرزایی

شکل‌گیری پیش ستاره‌ها و قرص‌های برافزایشی اطراف آنها از مهم‌ترین مسائل نجوم و اخترفیزیک است. پیش ستاره‌ها از رمبش هسته‌های ابرهای مولکولی بوجود می‌آیند. از نظر تاریخی هسته ابر مولکولی به شکل یک کره‌ی هم‌دمای منفرد و با روش خود مشابه بررسی شده است. اما وجود دوران و میدان مغناطیسی در هسته‌ها به رمبش نامتقارن منجر می‌شود. ما نیروی گریز از مرکز و گرادیان میدان مغناطیسی را در جهت عمود بر محور دوران هسته فرض کرده و مولفه‌های آن را به صورت ضریب  $\beta$  از نیروی گرانشی موضعی در نظر گرفتیم. در این پژوهش، ما رمبش یک هسته کروی همدمای منفرد را برای یافتن اهمیت پارامتر  $\beta$  در مورد تخت شدگی پوسته‌های جرمی در ناحیه بیرونی موج انبساطی مورد مطالعه قرار دادیم. از آنجایی که در این حالت، رمبش ابر در تقارن کروی و با رفتار خودمشابه اتفاق نمی‌افتد، ما از روش تجزیه آدومین برای حل معادلات دیفرانسیل جزئی غیرخطی استفاده می‌کنیم. در این روش یک رابطه نیمه-تحلیلی برای سرعت جرم فروریزی ( $\dot{M}$ ) پوسته‌های درون پوش بدست آوریم و مشاهده کردیم که مقدار  $\dot{M}$  در ناحیه قطبی بزرگتر از ناحیه استوایی است و البته این اختلاف در شعاع‌های کمتر بهتر دیده می‌شود. بنابراین، نتیجه می‌گیریم که قبل از رسیدن رأس موج انبساطی، شکل ظاهری هسته‌های ابرهای مولکولی می‌تواند به شکل شبه-کره تخت تغییر کند. همچنین، نسبت قطر بزرگ به قطر کوچک شبه-کره، با افزایش  $\beta$  افزایش می‌یابد و این مقدار با مقادیر مشاهده شده ظاهری هسته‌های کشیده در نقشه‌های ابرهای مولکولی مثل Taurus و Perseus نزدیک است.



## فهرست مطالب

صفحه	عنوان
1.....	فصل اول: مقدمه.....
	۱-۱- ابرهای مولکولی ۱
	۲-۱- جرم جینز و شروع رمبش ۸
9.....	1-2-1- ساختار چگالی در هسته ی کروی همدمما.....
12.....	2-2-1- ناپایداری گرانشی.....
13.....	3-2-1- مقیاس طول بحرانی.....
	۳-۱- رمبش و شکل گیری پیش ستاره ها ۱۶
16.....	1-3-1- رمبش سقوط آزاد.....
20.....	2-3-1- تکه تکه شدن ابرهای در حال رمبش.....
23.....	3-3-1- فرآیندهای فیزیکی مؤثر بر رمبش ابر.....
	۴-۱- بازنگری تاریخی بر پژوهش های انجام شده درباره رمبش ۲۵
32.....	فصل دوم: حل معادلات دیفرانسیل به روش تجزیه آدومین.....
	۱-۲- انواع معادلات دیفرانسیل ۳۲
	۲-۲- شرایط مرزی ۳۴
	۳-۲- روش تجزیه آدومین برای معادلات دیفرانسیل خطی ۳۵
	۴-۲- روش تجزیه آدومین برای دستگاه معادلات دیفرانسیل خطی ۴۰
	۵-۲- روش تجزیه آدومین برای معادلات دیفرانسیل غیر خطی ۴۳
	۶-۲- روش تجزیه آدومین برای دستگاه معادلات دیفرانسیل غیر خطی ۵۰
53.....	فصل سوم: رمبش ابر کروی به روش تجزیه آدومین.....
	۱-۳- حل معادله Lane-Emden به روش تجزیه آدومین ۵۳
	۲-۳- رمبش ابر کروی همدمای تکینه به روش آدومین ۵۷
	۳-۳- رمبش نامتقارن ابر کروی همدمای تکینه ۶۸
	۴-۳- جمع بندی و نتیجه گیری ۷۷

79.....:مراجع

81.....:پيوست

## فهرست جدول‌ها

صفحه	عنوان و شماره
1	جدول 1-1: خواص فیزیکی ابرهای مولکولی.....

## فهرست شکل‌ها

عنوان	صفحه
شکل 1-1: پروفایل 2/6 میلیمتری مولکول $^{12}\text{C}^{16}\text{O}$ در صفحه‌ی کهکشانی.....	3
شکل 1-2: توزیع ابرهای مولکولی غول در کهکشان ما.....	4
نمودار 1-3: پتانسیل گرانشی بی بعد (منحنی خط چین) و چگالی (منحنی توپر) بر حسب شعاع بی بعد، برای یک ابر کروی همدمای.....	10
نمودار 1-4: جرم بی بعد کره‌های همدمای محبوس شده در فشار خارجی.....	12
نمودار 1-5: رابطه پاشندگی (منحنی توپر) برای امواج تخت در گاز همدمای با وجود خود گرانش. خط چین نشان دهنده امواج صوتی است.....	15
نمودار 1-6: رمبش همسان یک ابر مولکولی کروی با چگالی اولیه ی یکنواخت $n_0 = 104 \text{ cm}^{-3}$ .....	۲۰
نمودار 1-3: نمودار $\frac{r}{r_c} = e^{-\gamma(x)}$ بر حسب $x$ که از روش آدومین بدست آمده است.....	56
نمودار 2-3: پاسخ خودمشابه برای رمبش کره همدمای تکینه به ازای $A = 2.0005$ . قسمت سمت چپ سرعت بدون بعد و قسمت سمت راست چگالی بدون بعد $a$ را نشان می دهد. خطوط نقطه چین متناظر با رمبش سقوط آزاد (بدون فشار) با یک آهنگ ثابت به درون یک هسته شامل همه جرم می باشد.....	60
نمودار 3-3: نمودار شماتیک رمبش خودمشابه درون به بیرون یک ابر کروی همدمای تکینه.....	61
شکل 3-4: آهنگ فروریزش جرم پوسته‌های ابر $M^*$ بر حسب $x$ به ازای $\Lambda = 2.1$ , $u_\infty = 0.1$ و $b = 0.1$ در زمان $t = \frac{1}{6}$ برای $q = 0, p/4, p/2, 3p/4, p$ .....	72
نمودار 3-5: آهنگ فروریزش جرم پوسته‌های ابر $M^*$ بر حسب $q$ به ازای $\Lambda = 2.1$ , $u_\infty = 0.1$ و $b = 0.1$ در زمان $t = \frac{1}{6}$ برای $z = 1, 3$ .....	72
شکل 3-6: نمودار طرح واره از تبدیل پوسته‌ی کروی به یک شبه کره.....	73

نمودار 7-3: نسبت قطر بزرگ به قطر کوچک بیضی گون برحسب  $0 < b < 1$  به ازای  $\Lambda = 2.1$  و  $u_\infty = 0.1$  در زمان  $t = \frac{1}{6}$  در  $x = 1,3$  ..... 75.

نمودار 8-3: نسبت قطر بزرگ به قطر کوچک بیضی گون برحسب  $2 < \Lambda < 3$  به ازای  $b = 0.1$  و  $u_\infty = 0.1$  در زمان  $t = \frac{1}{6}$  در  $x = 1,3$  ..... 75.

نمودار 9-3: نسبت قطر بزرگ به قطر کوچک بیضی گون برحسب  $0 < u_\infty < 1$  به ازای  $b = 0.1$  و  $\Lambda = 2.1$  در زمان  $t = \frac{1}{6}$  در  $x = 1,3$  ..... 76.

## فصل اول

## مقدمه

## 1-1 ابرهای مولکولی

ابرهای مولکولی ابرهایی هستند که بیشترین مولکول موجود در آنها مولکول هیدروژن می باشد.

ویژگی های فیزیکی ابرهای مولکولی کهکشانی به طور خلاصه در جدول (1-1) بیان شده است (مطالب این بخش از مرجع [1] اقتباس شده است). فهرست ما به ترتیب افزایش خاموشی مرئی<sup>1</sup> می باشد. خاموشی مرئی معمولی در امتداد یک خط دید از میان بخش داخلی ابر می باشد که کمترین مقدار  $A_V$  متعلق به ابرهای پراکنده می باشد.

جدول 1-1: خواص فیزیکی ابرهای مولکولی

Cloud Type	$A_V$ (mag)	$n_{tot}$ ( $\text{cm}^{-3}$ )	$L$ (pc)	$T$ (K)	$M$ ( $M_{\odot}$ )	Examples
Diffuse	1	500	3	50	50	$\zeta$ Ophiuchi
Giant Molecular Clouds	2	100	50	15	$10^5$	Orion
Dark Clouds						
Complexes	5	500	10	10	$10^4$	Taurus-Auriga
Individual	10	$10^3$	2	10	30	B1
Dense Cores/Bok Globules	10	$10^4$	0.1	10	10	TMC-1/B335

<sup>1</sup> خاموشی مرئی که با نماد  $A_V$  نشان داده می شود، بیان کننده ی تضعیف نور مرئی در عبور از یک ابر بوده و به صورت قدر بیان می گردد. مثلاً وقتی گفته می شود که  $A_V = 2$  است، یعنی قدر نور مرئی در عبور از ابر به اندازه ی دو واحد کاهش یافته که این عدد معادل با کاهش تابندگی به اندازه ی  $2.512^2$  است. بدیهی است که هر چه محیط چگالتر باشد، کاهش تابندگی بیشتر بوده و لذا خاموشی مرئی نیز بزرگتر خواهد بود.

هر دو ابرهای مولکولی پراکنده و اتمی  $^1\text{HI}$  می‌توانند برای مدت طولانی به وسیله‌ی ابزارهای تعادل فشار باقی بمانند. یعنی حرکت حرارتی داخلی گاز، با حضور محدود کننده‌ی یک ناحیه‌ی رقیق و گرمتر، از پراکنش ابر جلوگیری می‌کند. اما در ابرهای مولکولی غول نیروی انسجامی اصلی، گرانش ابر می‌باشد. در کهکشان راه شیری، بیش از 80% هیدروژن مولکولی در مجموعه ابر غول قرار دارد و بیشتر شکل گیری ستارگان جدید بدین وسیله انجام می‌شود.

یک ابر غول نوعی، پیش از آنکه به وسیله‌ی بادهای شدید ستارگان گونه‌ی O و  $^2\text{B}$  نابود شود، می‌تواند برای مدت  $3 \times 10^7$  سال باقی بماند. در طول این بازه زمانی، به طور میانگین، ابر حدود 3% از کل جرمش را به ستارگان تازه متولد شده، تبدیل می‌کند. از آنجایی که کل جرم هیدروژن مولکولی  $\text{H}_2$  در دیسک کهکشانی حدود  $2 \times 10^9$  برابر جرم خورشید است، نرخ شکل گیری ستارگان از ابرهای غول پیکر کهکشان ما در حدود دو برابر جرم خورشید در هر سال خواهد بود.<sup>3</sup> هر اجتماع ستاره‌ای که شامل ستارگان گونه‌ی O و B است، همراه با یک ابر مولکولی غول مشاهده می‌شود. این موضوع به وسیله رصدهای جامع در خط  $2/6$  میلیمتری صادر شده از مولکول های  $^{12}\text{C}^{16}\text{O}$  اثبات شده است. در واقع مجموعه‌های ابر مولکولی غول، در دهه 1970، از طریق مطالعات تابش های مولکولی منوکسید کربن CO آسمانی (خارج از جو زمین) در نواحی شناخته شده‌ی HII که همراه با منابع مادون قرمز و با خاموشی مرئی زیاد بودند، کشف شدند.

نمودار (1-1) نمایانگر طیف  $^{12}\text{C}^{16}\text{O}$  مشاهده شده در صفحه‌ی کهکشانی می‌باشد. در این نمودار، طبق قرارداد نجوم رادیویی، از دمای آنتن  $T_A$  به جای شدت خاص  $I_{\nu}$  استفاده شده

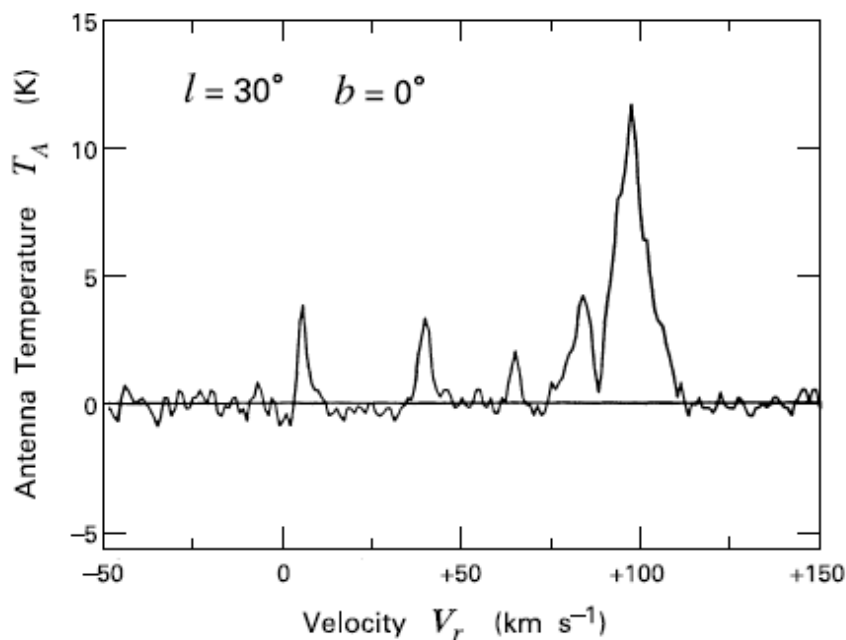
<sup>1</sup> ابرهای اتمی خنثی را با HI و ابرهای یونیده را با HII نشان می‌دهیم.

<sup>2</sup> ستارگان گونه‌ی O و B داغ ترین و سنگین ترین ستارگان هستند که پس از تولد، تابش زیادی داشته و لذا ابر اطراف را گرم و پراکنده می‌کنند.

<sup>3</sup> نرخ شکل گیری ستارگان از حاصل ضرب جرم کل هیدروژن مولکولی موجود در کهکشان و ضریب تبدیل 3% آن به ستاره‌ها، سپس تقسیم نتیجه‌ی حاصل بر مدت عمر ابر بدست می‌آید. بدین ترتیب داریم:

$$\text{نرخ شکل گیری ستاره در کهکشان ما} = \frac{(2 \times 10^9 M_{\text{sun}}) \times (0.03)}{(3 \times 10^7 \text{ year})} = 2 M_{\text{sun}} \cdot \text{year}^{-1}$$

است<sup>1</sup>. در محور افقی نیز به جای فرکانس، از سرعت شعاعی مربوط به اثر دوپلر استفاده شده است. این طیف در نمودار (1-1) تعدادی از نقاط اوج مجزا را نشان می‌دهد. هر یک از اینها نمایانگر یک ابر مولکولی غول مستقر در امتداد خط دید با مختصات طول کهکشانی  $l = 30^\circ$  و عرض کهکشانی  $b = 0^\circ$  (یعنی مشاهده در صفحه ی راه شیری تحت زاویه ی سی درجه ای نسبت به مرکز کهکشان) می‌باشند. سرعت شعاعی هر ابر انعکاس دهنده سرعت مداری مرکز کهکشانی ویژه آن می‌باشد. این سرعت به یک روش شناخته شده با فاصله از مرکز کهکشان تغییر می‌کند. با در نظر گرفتن تعداد زیادی از طیف‌ها ما می‌توانیم توزیع ابرها را در یک ناحیه ی گسترده ای از قرص کهکشانی ترسیم کنیم. همچنین مقدار مساحت زیر هر نقطه اوج نمودار  $T_A$ ، می‌تواند بیان کننده ی جرم هر ابر مولکولی غول مربوطه باشد.

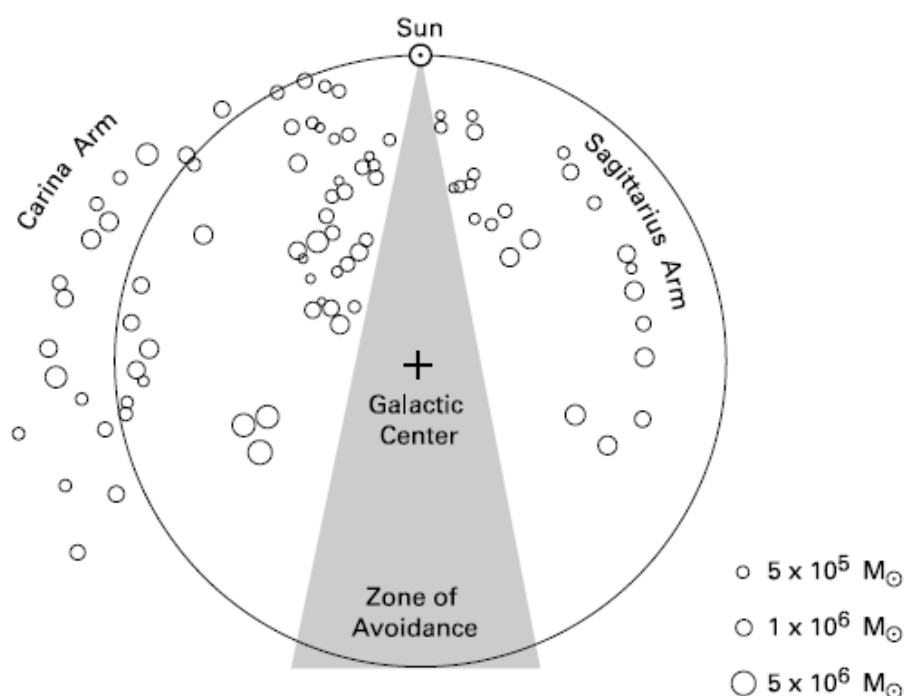


نمودار 1-1: پروفایل 2/6 میلیمتری مولکول  $^{12}C^{16}O$  در صفحه ی کهکشانی

<sup>1</sup>. دمای آنتن بیان کننده ی شدت نور دریافت شده توسط آنتن رادیویی است که طبق تابش جسم سیاه به صورت دما بیان می‌گردد.



نمودار (2-1) نتایج بررسی ابرهای مولکولی غول را با استفاده از روش فوق نشان می‌دهد. این مشاهدات محدود به شعاع‌های مرکز کهکشان مساوای با و یا کمتر از خورشید و به مجموعه‌های ابری بسیار پر جرم بیش از  $10^5 M_{\text{sun}}$  می‌باشد. ناحیه‌ای که خط عنصر نوری سرعت مداری ابر آن قدر کوچک است که فاصله قابل اطمینانی را نمی‌توان بدست آورد، به صورت ناحیه ممنوع از خورشید به سوی مرکز کهکشان نمایش داده ایم. دقت کنید که چگونه توازن ابرها در دو طرف ناحیه ممنوع، اجزای بازوان مارپیچی را نمایش می‌دهند.



نمودار 2-1: توزیع ابرهای مولکولی غول در کهکشان ما

ابرهای مولکولی دارای ساختار کپه ای هستند مثل ابر مولکولی Rosette که دارای یک ظاهر طویل کپه‌ای بوده و تا حدودی شبیه سحابی جبار می‌باشد. ما باید توجه داشته باشیم که خط  $2/6$  میلیمتری مولکول  $^{12}C^{16}O$ ، به لحاظ نوری، در ابرهای غول ضخیم است، به گونه‌ای که تنها از لایه‌های سطحی ابر ساطع می‌شود. برای بررسی ساختار داخلی ما باید از یک خط

قیاسی از یک ایزوتوپ کمیاب تر کربن مانند  $^{13}C^{16}O$  استفاده کنیم. سرعت ابرهای مولکولی غول، یک رابطه ی منسجم با فاصله از مرکز کهکشان دارد، در حالیکه سرعت کپه های درون آن به طور تصادفی در پیرامون یک مقدار میانگین توزیع می شود. می توان اندازه و جرم کپه ها را نیز تعیین کرد. مثلاً در ابر Rosette، جایی که شعاع یک کپه ی نوعی از مرتبه ی  $1.5 pc$  می باشد، میانگین جرم آن برابر با 250 برابر جرم خورشید بدست می آید که این مقدار بر اساس چگالی عددی هیدروژنی حدوداً برابر با  $550 cm^{-3}$  می باشد. از آنجایی که چگالی میانگین برای کل مجموعه ی ابر مولکولی غول تنها از مرتبه ی  $60 cm^{-3}$  است، کپه ها نمی توانند حجم زیادی از ابر غول را اشغال نمایند.

فضای بین کپه ها به وسیله ی یک گاز با تراکم کمتر اشغال شده است. مقداری از این مواد مطمئناً مولکولی است. می دانیم که ابرهای مولکولی غول شامل تعداد زیادی کپه های منفرد با ابعاد مختلف هستند. خوشه شدن ابرهای مولکولی غول در راستای بازوان مارپیچی کهکشانی نشان می دهد که کپه شدن موقعی اتفاق می افتد که یک توده ی گازی داخل چاه های پتانسیل مرتبط با این بازوها وارد شود. فرض می شود که گاز اولیه به صورت اتمی HI باشد و کپه های مولکولی بتوانند درون یک محیط در حال چگالش، از طریق خود پوشش از پرتوهای ماورای بنفش، تشکیل شوند. بنابراین کپه های تشکیل شده می توانند درون پوش گاز اتمی HI، به دور از عامل مخرب ماورای بنفش، موجود باقی بمانند.

کاهش مشاهده شده در چگالی سطحی مولکول های  $H_2$  بین بازوهای کهکشانی، دلالت بر آن دارد که یک ابر غول نوعی نمی تواند به اندازه ی زمان انتقال گاز بین بازوها (که برای مکان خورشید در کهکشان حدود  $10^8$  سال است) باقی بماند. حال پرسش این است که چه چیزهایی می توانند این مجموعه های ابرمولکولی غول را نابود کنند؟ البته مدارک تجربی قوی ای وجود دارد که بادهای قدرتمند و حرارت دهی تابشی مرتبط با ستارگان پر جرم O و B علت اساسی نابودی ابرهای غول هستند. ولی امواج مارپیچی صادر شده از بازوها نیز بی تاثیر نمی باشند.

ماهیت تصادفی بودن سرعت کپه های درون مجموعه ابرهای غول، یک سر نخ مهم برای ساختارشناسی آنها می باشد. آیا میزان پراکندگی سرعت با میدان گرانشی داخل سازگار است؟ برای پاسخ به این پرسش می توان از قضیه ویريال

$$\frac{1}{2} \frac{\partial^2 I}{\partial t^2} = 2T + 2U + W + M \quad (1-1)$$

استفاده کرد که در آن  $I \equiv \int r |\mathbf{r}|^2 d^3 \mathbf{x}$  ممان اینرسی،  $T \equiv \frac{1}{2} \int r |\mathbf{u}|^2 d^3 \mathbf{x}$  انرژی جنبشی،  $U \equiv \frac{3}{2} \int P d^3 \mathbf{x}$  انرژی حرارتی،  $W \equiv \frac{1}{2} \int r \Phi_g d^3 \mathbf{x}$  انرژی گرانشی و  $M \equiv \frac{1}{8p} \int |\mathbf{B}|^2 d^3 \mathbf{x}$  انرژی مغناطیسی ابر هستند. توجه داشته باشید که  $T$ ،  $U$  و  $M$  همگی مثبت اند در حالی که  $W$  منفی است. باید دید که آیا مجموع جملات  $T$ ،  $U$  و  $M$  می تواند بر انرژی بستگی گرانشی  $W$  غلبه کند. اگر مجموع این سه جمله نتواند بر  $W$  غلبه کند، ابر مولکولی غول در یک حالت رمبش گرانشی قرار گرفته و لذا می تواند برای مدت طولانی باقی بماند. در غیر این صورت پراکنده شده و نابود می شود.

کوچکترین اجزای موجود ابرهای مولکولی، هسته های چگال و گلبول های بوک هستند که محل منابع نقطه ای مادون قرمز در نقشه های رادیویی سماوی می باشند. یک هسته ی چگال با ابعاد تقریبی  $0.1 pc$ ، یک محیط تقریباً ساکن است که حرکت های درونی آن کمتر از ابرهای تیره ی بزرگتر با امواج درونی پر انرژی می باشد در حقیقت، کپه های درون مجموعه های غول و ابرهای تیره ی مجزا، شامل زیرساختارهای قابل تمایزی هستند که اندازه ی آنها از مرتبه ی چند دهم پارسک است. این زیر ساختارها نشان دهنده ی هسته های چگالی هستند که مسئول تشکیل ستارگان منفرد می باشند.

بررسی های ما از سحابی جبار و Taurus-Auriga نشان می دهد که چگونه این هسته ها در سراسر قسمت های درونی ابرهای تیره یافت می شوند. با وجود چگالی های متجاوز از  $10^4 cm^{-3}$ ، نمی توان چنین ساختارهایی را به وسیله خطوط عادی  $^{12}C^{16}O$  و حتی  $^{13}C^{16}O$  بررسی کرد چون هر دو این خطوط به لحاظ نوری ضعیف هستند. بدین منظور باید از انواع دیگر مولکول ها همچون  $NH_3$ ،  $^{12}C^{18}O$  و  $CS$  استفاده کرد، زیرا این مولکول ها خطوط

رادیویی ساطع می کنند که به لحاظ نوری نازک بوده و می توانند برای بررسی ویژگی های کروی و نقشه برداری فضایی مورد استفاده قرار گیرند. این بررسی ها که از اوایل دهه 1980 آغاز شده است نشان می دهند که یک هسته ی چگال معمولی شامل گازی با چندین جرم خورشیدی بوده. و دمای آن تقریباً  $10^4$  K می باشد اگر چه معدودی از هسته های منفرد درون یک ابر تیره ممکن است ثقیل تر باشند، ولی در مجموع همه هسته ها عموماً کمتر از 10% جرم کل کپه را در بر خواهند داشت.

حضور منابع مادون قرمز شبه نقطه ای در هسته هایی مانند L1489 مهم ترین مدارکی می باشند که تشکیل ستارگان از این ساختارها را اثبات می کنند. ماهواره ی IRAS چنین ستارگان تازه متولد شده ای را در حدود نیمی از هسته های چگال Taurus-Auriga و z Ophiuchi رصد کرده است. همه ی این هسته های چگال در گذشته از طریق فرکانس های رادیویی تابش شده توسط مولکول ها شناسایی گردیده بودند. در حالی که برخی از این منابع، دارای خاصیت تابش نور مرئی می باشند، به همان تعداد نیز فاقد چنین خاصیتی هستند. نکته جالب دیگر این است که بیشتر ستارگان قابل رویت در تابش مرئی، درون هسته هایی قرار دارند که با جریان های برون ریزی مواد گازی همراه هستند. به طور کلی، از یافته های رصدی در مورد هسته های چگال به این نتایج می رسیم که اولاً هسته های چگال قبل از تشکیل ستارگان وجود داشتند. ثانیاً از آنجایی که ستارگان قابل رویت درون هسته ها، بسیار جوان هستند، برون ریزی مواد در آن ها قبل از تحول ستاره ای انجام می گردد. ثالثاً یک هسته ی چگال پس از تشکیل یک ستاره به طور ناگهانی ناپدید نمی شود بلکه به تدریج، همان گونه که عمر ستاره می گذرد، در فضا پخش شده و از بین می رود. البته از دیدگاه رصدی، هیچ تفاوت برجسته ای بین هسته های چگال فاقد منابع مادون قرمز و آنهایی که شامل ستارگان جوان می باشند وجود ندارد. مثلاً هر دو نوع دارای خاموشی های مرئی هستند که اندازه ای در حدود 5 الی 15 قدر بزرگی دارند.

یکی از اجزای مهم محیط میان ستاره ای، میدان مغناطیسی است. همان گونه که یک هسته ی چگال رمبش کرده و ستارگان را بوجود می آورد، خطوط میدان مغناطیسی نیز به