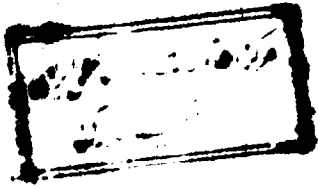


بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

٢٥١٩٩



۱۳۷۸ / ۴ / ۳



پایان نامه کارشناسی ارشد

در رشته اختر فیزیک

موضوع:

بررسی ساختار سحابی های سیاره نما

و تاثیر سرد شونددگی بر سحابی NGC۱۵۳۵

استاد راهنما:

دکتر جمشید قنبری

توسط:

مرتضی حاجی حسینی

۱۲۸۶۶

پائیز ۱۳۷۷

۲۵۸۹۹

تقديم به خانوادہ ام

باسمه تعالی

من لم یشکر المخلوق ، لم یشکر الخالق

با حمد و سپاس به درگاه بیکران رحمت الهی، اکنون که پایان نامه کارشناسی ارشد اینجانب در حال اتمام است بر خود لازم دانستم که از زحمات بی شائبه و بی دریغ جناب استاد دکتر جمشید فنبری که واقعا در طول این مدت با راهنمایی های عالمانه و مدبرانه خود راهنمایی نمودند تشکر و قدردانی نمایم و آرزوی قلبی خود را در جهت بهروزی و سعادت ایشان از درگاه خداوند متعال مسئلت دارم. همچنین از آقای دکتر تقی عدالتی که در طول این پایان نامه همواره از مشورت با ایشان سود برده ام تشکر می نمایم. از آقایان، دکتر بهرام خالصه و دکتر محسن سریشی که بر خود زحمت داده و با مطالعه این پایان نامه در کار تصحیح و داوری شرکت داشته اند کمال تشکر و قدردانی را دارم.

فهرست

| | |
|----|---|
| ۱ | سحابی های گازی |
| ۱ | ۱-۱ مقدمه |
| ۲ | ۲-۱ بررسی عمومی خطوط طیفی |
| ۲ | ۳-۱ انواع سحابی های گازی |
| ۳ | ۴-۱ سحابی پراکنده |
| ۳ | ۵-۱ سحابی سیاره نما |
| ۴ | ۶-۱ پیش سحابی های سیاره نما |
| ۵ | ۷-۱ تحول ستاره مرکزی |
| ۶ | ۸-۱ تأثیر کاهش جرم بر تحول ستاره ها |
| ۱۰ | فرآیند های فیزیکی درون سحابی |
| ۱۰ | ۱-۲ مقدمه |
| ۱۰ | ۲-۲ فتو یونیدگی و ترکیب مجدد هیدروژن |
| ۱۶ | ۲-۲ فتو یونیدگی سحابی هیدروژنی خالص |
| ۲۲ | ۳-۲ حل تحلیلی معادله تعادل فتو یونیدگی سحابی هیدروژنی |
| ۲۳ | ۴-۲ ساختار کلی یونیدگی سحابی های هیدروژنی و هلیومی |
| ۲۴ | ۵-۲ معادلات تعادل فتو یونیدگی |
| ۲۹ | ۶-۲ فتو یونیزاسیون عناصر سنگین |
| ۳۰ | ۷-۲ واکنش تبادل بار |
| ۳۱ | بررسی فرآیندهای گرمائی |
| ۳۱ | ۱-۳ مقدمه |
| ۳۱ | ۲-۳ گرم شونددگی و فتو یونیزاسیون عناصر |
| ۳۴ | ۳-۳ سرد شونددگی از طریق نشر آزاد-آزاد |
| ۳۵ | ۴-۳ سرد شونددگی و نشر خطوط ممنوعه |
| ۳۸ | ۵-۳ حالت های چگالی بالا و پائین |

| | |
|----|--|
| ۴۰ | ۳-۶ سیستم‌های چندترازی |
| ۴۱ | ۳-۷ یونیدگی و برانگیختگی هیدروژن به روش برخوردی |
| ۴۶ | فرآیندهای دینامیکی گاز در فضای میان ستاره‌ای |
| ۴۶ | ۴-۱ مقدمه |
| ۴۶ | ۴-۲ اثر باد ستاره‌ای بر گاز میان ستاره‌ای |
| ۴۷ | ۴-۳ نواحی جریان |
| ۴۹ | ۴-۴ انتشار جبهه یونیدگی |
| ۵۲ | ۴-۵ شکل و دینامیک سحابی سیاره‌نما |
| ۵۲ | ۴-۶ انواع بادهای ستاره‌ای |
| ۵۴ | ۴-۷ چگالی |
| ۵۴ | ۴-۸ دینامیک پوسته |
| ۵۶ | ۴-۹ حل مسئله |
| ۵۸ | ۴-۱۰ اعتبار حالت بقاء انرژی |
| ۵۹ | ۴-۱۱ اثرات تابش یونیده کننده |
| ۶۲ | ۴-۱۲ اثر سردشوندگی بر دینامیک پوسته |
| ۶۴ | تعیین ساختار سحابی‌ها |
| ۶۴ | ۵-۱ مقدمه |
| ۶۴ | ۵-۲ تعیین فاصله تا سحابی |
| ۶۶ | ۵-۳ تخمین جرم ناحیه یونیده |
| ۶۷ | ۵-۴ روش شکلوفسکی برای تعیین فاصله |
| ۶۷ | ۵-۵ تعیین چگالی با استفاده از خواص طیف پیوسته رادیویی |
| ۷۰ | ۵-۶ دمای مؤثر ستاره مرکزی |
| | تأثیر انرژی سردشوندگی بر دینامیک سحابی سیاره نماى NGC ۱۵۳۵ |
| ۷۴ | ۶-۱ مقدمه |
| ۷۴ | ۶-۲ محاسبه شعاع و سرعت سحابی |
| ۸۳ | ۶-۳ تعیین انرژی ورودی یا خروجی در برهم‌کنش ستاره با سحابی |
| ۸۴ | ۶-۴ تعیین کسر یونیدگی عناصر |
| ۸۶ | ۶-۵ تخمین عمر دینامیکی، شعاع داخلی و خارجی سحابی |

| | |
|-----|---|
| ۸۷ | ۶-۶ تعیین متوسط کسر یونیدگی |
| ۹۲ | ۷-۶ تخمین جرم ناحیه یونیده و فاصله سحابی |
| ۹۴ | ۸-۶ دمای ستاره مرکزی |
| ۹۴ | ۹-۶ شعاع و تابندگی ستاره مرکزی |
| ۹۷ | ۱۰-۶ شدت خطوط طیفی |
| ۹۸ | ۱۱-۶ محاسبه سرعت انبساط از روی نمایه طیفی |
| ۱۰۴ | بحث و نتیجه گیری |
| ۱۰۵ | برنامه های کامپیوتری |
| ۱۲۸ | فهرست مراجع |

Abstract. When we study the dynamical structure of planetary nebulae with considering the interaction of stellar winds, we can discuss about two different cases. In the first case, the shell which is produced via the collision of the fast and super winds is in thermal stability. Which means the energy flow in and out of the shell by the processes as photoionization, recombination, collisional excitation and de-excitation are equal. The second case which is more realistic, the produced shell is not in thermal stability. In this work, we mainly consider the unstable conditions and we will study the dynamical structure of NGC1535 in presence of stellar winds. Choosing the rate of mass flow for super wind to be $2.5 \times 10^{-5} M_{\odot} \text{yr}^{-1}$ the dynamical age of the nebula would be equal to 1800 year. The internal and external radius of the nebula are .074 pc and .083 pc respectively. The evolutionary track of the central stars, with temperature and luminosity given in the text, corresponds to the evolutionary track of a star with $.6 M_{\odot}$ and this track also follows the Shonberner track(1983).

چکیده

در بررسی ساختار دینامیکی سحابی های سیاره‌نما با استفاده از مدل برهم کنش بادهای ستاره‌ای می‌توان در دو حالت مجزا بحث نمود. حالت نخست این است که پوسته تشکیل شده بعد از برخورد ابر باد و باد سریع در تعادل حرارتی باشد یعنی انرژی‌های ورودی و خروجی به پوسته در فرآیندهائی نظیر فوتو یونیدگی، ترکیب مجدد، برخوردهای تحریکی و عکس تحریکی مساوی باشند. در حالت دیگر که واقعی‌تر نیز به نظر می‌رسد پوسته تشکیل شده در برخورد دوباد در تعادل حرارتی نمی‌باشد. در این مقاله بیشتر به جنبه عدم تعادل حرارتی مسئله توجه می‌شود و با توجه به مدل برهم کنش بادهای ستاره‌ای ساختار دینامیکی سحابی NGC ۱۵۳۵ را مورد مطالعه قرار می‌دهیم. با در نظر گرفتن آهنگ جرمی $2/5 \times 10^{-5} M_{\odot} yr^{-1}$ برای ابر باد، عمر دینامیکی ۱۸۰۰ سال برای سحابی بدست می‌آید که این عمر متناظر با شعاع‌های داخلی و خارجی $0/074 pc$ و $0/083 pc$ برای آن می‌باشد. با توجه به ذمای ستاره مرکزی و تابندگی آن در این زمان، مسیر تحولی ستاره مرکزی این سحابی با مسیر تحولی ستاره‌ای به جرم $0/6 M_{\odot}$ بر مسیرهای شونبرنر (۱۹۸۳) نیز منطبق می‌باشد.

سحابی‌های گازی

۱- مقدمه

سحابی‌های گازی توده‌های عظیم گاز هستند که در آسمان به صورت اجسام کشیده به نظر می‌رسند. بعضی از آنها با سطح درخشنده خیلی زیاد، نظیر سحابی جبار^(۱) (NGC ۱۹۷۶) به آسانی در عکسبرداری‌های مستقیم یا موقعی که به یک تلسکوپ معمولی نگاه می‌کنیم، دیده می‌شوند. در حالی که بسیاری دیگر از سحابی‌ها که به طور ذاتی درخشندگی کمتری دارند یا اینکه بیشتر تحت اثر خاموشی میان ستاره‌ای واقع می‌شوند در عکس‌های معمولی ضعیف و کمرنگ هستند، اما همین اجسام را می‌توان در نوردهی‌های به مدت طولانی باصافی‌های مخصوصی که ناحیه باریکی از طول موج نزدیک خطوط نشری را جدا می‌کنند، بهتر دید.

بزرگترین سحابی گازی آسمان، سحابی *GUM* می‌باشد که قطر زاویه‌ای حدود ۳۰° دارد. اما تعداد زیادی از سحابی‌های مشهور قطر زاویه‌ای اشان حدود ۱° می‌باشد. درخشندگی سطحی سحابی‌ها به فواصلشان وابسته است، اما در فواصل دورتر قطر کمتری دارند و بیشتر تحت اثر خاموشی میان ستاره‌ای واقع می‌شوند، طوری که اعضای نزدیکتر از هر گروه خاص سحابی‌ها جهت مطالعه مناسب‌تر هستند.

1. Orion Nebula

۱-۲ بررسی عمومی خطوط طیفی

سحابی‌های گازی عموماً طیف نشری خطی دارند و در این طیف خطوط ممنوعه یونهای نظیر [OII]، [OIII] و [NII] نیز دیده می‌شود که به علت شرایط خاص فیزیکی موجود در سحابی نظیر چگالی الکترونی و دما ناشی می‌شوند. همچنین خطوط مجاز هیدروژنی نظیر $H\alpha$ $\lambda 6563$ در ناحیه قرمز، $H\beta$ $\lambda 4861$ در ناحیه آبی و $H\gamma$ $\lambda 4340$ در ناحیه بنفش مشخصه‌ای از طیف سحابی‌های سیاره‌نما است، هم‌چنین در بسیاری از حالات طیف نشری خطی این اجسام به ناحیه مادون قرمز و ماوراء بنفش هم گسترش پیدا می‌کند.

سحابی‌های گازی هم‌چنین شامل طیف پیوسته می‌باشند. این طیف مخصوصاً توسط انتقالات آزاد-پیوندی اتم‌ها به وجود می‌آیند. مثلاً طیف سری پاشن در $\lambda > 3648$ و طیف پوسته سری بالمر در $\lambda < 3648$ در سحابی‌ها دیده شده است. هم‌چنین بعضی از سحابی‌ها نور پراکنده شده سایر ستارگان توسط غبار را به صورت طیف پیوسته منعکس می‌سازند. در ناحیه مادون قرمز هم طیف پیوسته سحابی‌ها همانند نشر گرمایی ذرات گرد و غبار مهم می‌باشد. در ناحیه رادیویی نیز سحابی‌ها طیف نشری قوی دارند که به علت نشر آزاد-آزاد یا پدیده بر مشترلانگ الکترونهاي حرارتی است که در برخوردهای کولنی با پروتون‌ها شتاب می‌گیرند.

۱-۳ انواع سحابی‌های گازی

منبع اصلی انرژی نشر شده توسط سحابی تشعشعات UV ستاره محصور در سحابی می‌باشد. معمولاً یک یا چند ستاره داغ با دمای سطحی $T > 3 \times 10^4 K$ در سحابی‌ها وجود دارند و فوتونهای این ستارگان منبع نشر انرژی توسط پدیده فوتوایونیزاسیون می‌باشد. در هر فتوایونیدگی الکترونهاي از عناصر مختلف آزاد می‌شود که انرژی جنبشی این الکترونها برابر تفاضل انرژی جنبشی فوتون ورودی و انرژی یونش عنصر مورد نظر می‌باشد. برخورد بین این الکترونها که فوتوالکترون نامیده می‌شوند، با یونها باعث توزیع انرژی می‌گردد و سرانجام توزیع انرژی ماکسولی خواهد بود. سپس این الکترونها توسط یونها به دام می‌افتند و درجه یونیدگی در سحابی با تعادل بین آهنگ فوتوایونیدگی و ترکیب مجدد مشخص می‌گردد. در سحابی‌هایی که ستاره مرکزی آنها دمای بالائی دارند درجه یونیدگی برای تمام عناصر بالا خواهد بود و خطوط [NeV] و [Fe VII] نیز مشاهده می‌گردند.

به طور کلی سحابی هاگازی به دو نوع اصلی تقسیم می شوند. سحابی های پراکنده^(۱) یا نواحی HII و سحابی های سیاره نما^(۲). اگر چه فرآیندهای فیزیکی در هر دو نمونه مشابه می باشد، اما مبداء، جرم، دوره های تحولی و عمر نمونه ها در هر دو دسته کاملاً متفاوت هستند و بهتر است آنها را مجزاً مورد بحث قرار دهیم. لذا در این تحقیق بیشتر به بررسی سحابی های سیاره نما می پردازیم و در زیر مختصری در مورد سحابی پراکنده توضیح می دهیم.

۱-۴ سحابی پراکنده

سحابی های پراکنده یا نواحی HII ، نواحی در گازهای میان ستاره ای هستند که ستارگان تحریک کننده آنها نوع O ، B یا $POPI$ می باشند. به علت دمای بالای این ستارگان ($50000^\circ K < T < 30000^\circ K$) در سراسر این سحابی ها هیدروژن کاملاً یونیده می باشد. البته عناصر دیگر تا چند بار یونیده هم در این محیط ها دیده شده اند. حرکت های داخلی گاز در این نواحی با سرعت حدود 10 kms^{-1} انجام می گردد که تقریباً با سرعت صوت در این محیط ها یکسان می باشد. گازهای گرم یونیده تمایل دارند به محیط سردتر گازهای خنثی نفوذ کنند لذا چگالی کاهش یافته و حجم ناحیه یونیده افزوده خواهد شد. طیف این نواحی به علت فراوانی زیاد هیدروژنهای یونیده شامل خطوط ترکیب مجدد HII بوده و حتی در دماهای بالاتر خطوط ممنوعه $[NII]$ و $[OII]$ و $[OIII]$ و ... هم دیده می شود. نواحی HII نه تنها در کهکشان ما بلکه در کهکشانهای نزدیک هم یافت می شوند، این نواحی با بازوهای کهکشانی مرتبط هستند و حقیقتاً بهترین اجسام برای فهم ساختار بازوهای مارپیچی کهکشانهای دور می باشند. سرعت شعاعی نواحی HII اطلاعاتی را در مورد جنبش شناسی (سینماتیک) اجرام $POPI$ در کهکشان خودی و دیگر کهکشانها خواهد داد. جرم نمونه ای این نواحی حدود $10^2 - 10^4 M_\odot$ می باشد.

۱-۵ سحابی سیاره نما

سحابی های سیاره نما پوسته ای از گازهای تابان هستند که از ستاره مرکزی جدا شده اند. نام سیاره نما به این خاطر به آنها اطلاق می شود که از درون تلسکوپ شبیه به سیارات منظومه شمسی به نظر می رسند. ستاره مرکزی آنها ستارگان پیر (نوع O) با قدرین (۵ و ۳-) می باشند، این ستاره ها به طور سریعی به سمت

1. Diffuse nebulas

2. Planetary nebulae

کوتوله های سفید در حال تحول هستند و پوسته سحابی با سرعت نمونه حدود $25 \frac{km}{s}$ در حال انبساط می باشد. به علت کاهش چگالی سحابی ها، شدت خطوط نوری آنها کاهش یافته و در مقیاس زمانهای کیهانی آنها غیرقابل دیدن خواهند شد. عمر میانگین آنها حدود 10^4 سال می باشد.

توزیع فضائی و خواص سینماتیکی سحابی های سیاره نما بیان می دارند که آنها در مقیاس زمانهای کیهانی اجرام نجومی پیری هستند. جرم نمونه ای این اجسام $1M_{\odot} - 0.1$ می باشد و دارای چگالی از مرتبه $10^4 cm^{-3}$ هستند.

۱-۶ پیش سحابی های سیاره نما

چون تشکیل سحابی های سیاره نما در مراحل نهائی تحول ستارگان صورت می گیرد، سودمند است که مسیر تحولی یک ستاره قبل و بعد از تشکیل سحابی مورد توجه قرار گیرد. به طور کلی تحول سحابی های سیاره نما به دو دوره تقسیم می شود:

۱- تحول قبل از جدا شدن سحابی از ستاره مرکزی و تحول اجرام پیش سحابی

۲- تحول از زمان جدا شدن سحابی از ستاره مرکزی و تحول ستاره مرکزی

دو دلیل وجود دارد که بپذیریم سحابی ها از جو غول قرمز بوجود می آیند. غول های قرمز در قسمت فوقانی شاخه مجانبی غولها (*AGB*)، بیشترین شباهت فیزیکی را به نمونه های اولیه سحابی های سیاره نما دارند. هسته کربنی و اکسیژنی این ستارگان با مواد تشکیل دهنده ستاره مرکزی سحابی ها در مراحل بعدی تحول، موافقت دارد. لذا می توان چنان فرض نمود که گسترش جو غول قرمز هسته ای از خود به جای می گذارد که ستاره مرکزی سحابی را تشکیل می دهد و در فرآیند انبساط جو غول قرمز، پوسته ای از گازها که آنرا سحابی می نامیم، تشکیل می گردد.

دلیل دوم پیدایش سحابی ها از جو ستارگان غول قرمز بر پایه سرعت انبساط آنها می باشد. اگر بپذیریم سحابی پوسته ای گازی شکل است که از ستاره ای جدا شده است، لذا باید سرعت اولیه این پوسته حداقل برابر سرعت فرار از حوزه گرانشی ستاره اولیه باشد. با این فرض سرعت انبساط از تفاوت انرژی جنبشی ابتدائی و انرژی جنبشی لازم برای فرار مشخص می گردد. اگر انرژی جنبشی ابتدائی دامنه نامحدودی داشته باشد، لذا بعد از کم نمودن انرژی جنبشی لازم برای فرار از حوزه گرانشی که محدود می باشد، انرژی بدست آمده دامنه نامحدودی خواهد داشت و نتیجتاً سرعت انبساط نامحدود خواهد بود. اما در عمل مقادیر سرعت انبساط مشاهده شده برای سحابی ها بین $10 - 40 kms^{-1}$ می باشد. با توجه به مطالب فوق بایستی

سرعت فرار از ستاره‌های اولیه سحابی‌ها، قابل مقایسه با سرعت انبساط آنها باشد. اگر سرعت فرار از ستاره‌ای به جرم خورشید و شعاع R که بر حسب واحد خورشیدی بیان می‌گردد را محاسبه نمائیم، خواهیم داشت:

$$V_{esc} = 618 R^{-1/2} \text{ kms}^{-1} \quad (1-1)$$

که R بر حسب واحد خورشیدی می‌باشد.

با توجه به رابطه به دست آمده چون سرعت فرار از حوزه گرانشی ستاره‌های کوچک بزرگ می‌باشد، لذا این ستارگان نمی‌توانند باعث تشکیل سحابی گردند. حال آنکه برای ستاره‌هایی با شعاع بین ۲۰۰-۱۰۰ برابر شعاع خورشید، سرعت فرار در محدوده سرعت انبساط سحابی‌ها واقع می‌گردد که این شعاع مربوط به غول‌های قرمز است. پس می‌پذیریم که سحابی‌ها از جو غول قرمز تشکیل می‌گردند. هم‌چنین دلائلی وجود دارد که ستاره مرکزی سحابی‌های سیاره‌نما به سمت کوتوله‌های سفید در حال تحول هستند. با توجه به موقعیت کوتوله‌های سفید در نمودار $H-R$ که دنباله مسیر تحولی ستارگان پیر می‌باشند و چون سحابی‌ها از لحاظ نجومی اجرام پیری می‌باشند هم‌چنین با مقایسه آهنگ تشکیل کوتوله‌های سفید و سحابی‌های سیاره‌نما که با آهنگی حدود $10^{-12} \text{ pc}^{-3} \text{ yr}^{-1}$ در نواحی حدود 1 kpc از خورشید تشکیل می‌شوند این موضوع نتیجه می‌گردد (پوتش ۱۹۸۴).

۱-۷ تحول ستاره مرکزی

مدل ساده مسیره‌های تحولی ستاره مرکزی اولین بار توسط پاکزینسکی^(۱) (۱۹۷۵) پیشنهاد شد و بعداً توسط شونبرنر^(۲) (۱۹۸۳) تکمیل گردید. قبل از تبدیل ستاره به سحابی سیاره‌نما، آن شامل هسته کربن-اکسیژن تبهگن و منقبضی می‌باشد که این هسته توسط پوسته داخلی هلیوم سوز و پوسته خارجی هیدروژن سوز احاطه شده است. پوسته هلیومی از لحاظ حرارتی در مقیاس زمانی τ ناپایدار می‌باشد. با توجه به محاسبات پاکزینسکی (۱۹۷۵)، τ فقط به جرم هسته کربن-اکسیژنی وابسته است و به جرم پوش بستگی ندارد:

$$\text{Log} \tau (\text{year}) = 7/5 - 4/5 \frac{M_{co}}{M_{\odot}} \quad (2-1)$$

به علت جرقه‌های آنی یک یا چند پوسته خارجی ستاره دفع می‌گردد و جرم پوش اطراف هسته مرکزی کاهش می‌یابد. موقعی که جرم پوسته هیدروژنی کاهش پیدا می‌کند و مثلاً برای هسته‌هایی به جرم‌های $M_{co} = 1/2M_{\odot}$ و $M_{co} = 0/6M_{\odot}$ به $10^{-6}M_{\odot}$ و $4 \times 10^{-4}M_{\odot}$ تقلیل پیدا می‌کند (پاکزینسکی ۱۹۷۵)، ستاره منقبض شده و در تابندگی ثابت به طرف نواحی بادماهای بالاتر (ناحیه آبی) نمودار $H-R$ متحول می‌گردد. این عمل تا رسیدن به دمای موثر بیشینه T^{max} که آن نیز فقط تابع جرم هسته است، ادامه پیدا می‌کند (پاکزینسکی ۱۹۷۱)

$$\text{Log}T^{max} = 4/6 + \frac{M_{co}}{M_{\odot}} \quad (3-1)$$

در این زمان ستاره مرکزی سحابی در حال تبدیل به کوتوله سفید خواهد بود. توجه داریم که ستاره‌هایی با جرم بیشتر در دوره اولیه خیلی سریع متحول می‌شوند به طوری که مطالعه آنها مشکل‌تر به نظر می‌رسد. مشاهدات نشان می‌دهند که کاهش جرم بعد از گرم شدن هسته هم ادامه پیدا می‌کند و آهنگ کاهش جرم به دمای ستاره وابسته است و مقدار \dot{M} ممکن است حتی بیشتر از $10^{-7}M_{\odot} \text{ yr}^{-1}$ و سرعت آن حدود 2000 kms^{-1} باشد (هیپ^(۱) ۱۹۸۲) چنین باد شدیدی که باد سریع نامیده می‌شود، عامل اساسی در تحول دینامیکی سحابی سیاره‌نما، به شمار می‌رود. اندازه حرکت باد سریع با چنین ویژگی‌هایی قابل مقایسه با اندازه حرکت سحابی سیاره‌نما با جرم $M = 0/2M_{\odot}$ و سرعت 20 kms^{-1} بعد از زمان 2×10^4 سال یعنی عمر متوسط دینامیکی سحابی‌ها است. کوک^(۲) (۱۹۸۲) نشان داد که برهم‌کنش باد سریع با بادکندی که از اجداد سحابی شروع شده است و ابر باد نامیده می‌شود، می‌تواند پاسخی برای تحول دینامیکی سحابی‌های سیاره‌نما باشد.

۱-۸ تأثیر کاهش جرم بر تحول ستاره‌ها

شواهدی موجود است که نشان می‌دهد کاهش جرم غول قرمز با آهنگی بیشتر از $10^{-5}M_{\odot} \text{ yr}^{-1}$ می‌باشند. ریمرز^(۳) (۱۹۷۵) با استفاده از پارامترهای تابندگی، شعاع و شدت میدان گرانشی غول قرمز

1. Heap

2. Kowk

3. Remers