دانشکده فیزیک

گروه نظری و اخترفیزیک

پایان نامه

برای دریافت درجه کارشناسی‌ارشد در رشته فیزیک (نجوم و اخترفیزیک)

عنوان

بررسی اثر فشار تابشی بر شکل‌گیری ساختار حلقوی در سحابی‌های سیاره‌نما

استاد راهنما

دکتر داود محمدزاده جسور

استاد مشاور

دکتر جمشید قنبری

پژوهشگر

ناهید جامعی

بهمن‌ماه ۱۳۸۶

به نام خدا

القران الكريم (٥٥): سورة الرحمن

﴿٣٦﴾ فَإِذَا ٱنشَقَّتِ ٱلسَّمَآءُ فَكَانَتْ وَرْدَةً كَٱلدِّهَانِ ﴿٣٧﴾ فَبِأَيِّ ءَالَآءِ رَبِّكُمَا تُكَذِّبَانِ ﴿٣٨﴾

Quran (55): Surat ar-Rahman

37. *When the sky disintegrates and turns rose colored like paint.*
38. *Which of your Lord's marvels can you deny?*

با سپاس فراوان از:

جناب آقای دکتر جسور

که دانش سرشار خویش را بی‌دریغ در راه تعلیم ما به کار گرفت و راهی نو در شناخت دنیای زیبای آسمان بر ما گشود.

جناب آقای دکتر قنبری

که راهنمایی‌های حکیمانه ایشان روشنی‌بخش مسیر انجام این پایان‌نامه بود.

جناب آقای دکتر عجب شیری‌زاده

که از راهنمایی‌ها و دانش ایشان بهره فراوان برده‌ایم.

جناب آقای دکتر اشرفی

که ما را با مهارت‌های استفاده ازکامپیوتر و برنامه‌نویسی در حل معادلات فیزیکی و شبیه‌سازی فرآینده‌ها آشنا کرد.

جناب آقای دکتر مصلحی و جناب آقای دکتر متولی

که نه تنها در مقام استاد بلکه در پست معاونت تحصیلات تکمیلی و مدیریت گروه نظری و اخترفیزیک همواره از مساعدت‌های ایشان بهره‌مند شده‌ایم.

در نهایت از ریاست محترم دانشکده و سایر اساتید ارجمند که هر یک به نوبه خود سهمی عظیم در مسیر آموزش ما در دوره کارشناسی‌ارشد داشته‌اند و همچنین از آقای حمیدی , آقای اسعدی و کارکنان محترم کتابخانه‌ها که زمینه مناسبی برای فعالیت‌های علمی ما فراهم نمودند صمیمانه قدردانی و تشکر می‌کنم.

ناهید جامعی

بهمن‌ماه ۱۳۸٦

تقدیم به :

همراه و همسفر زندگیم

فهرست مطالب

مقدمه.....یک

فصل اول : بررسی منابع (پایه‌های نظری و پیشینه پژوهش)

بخش اول : آشنایی با ریخت‌شناسی و شکل‌گیری سحابی‌های سیاره‌نما

۱-۱-۱ مقدمه.....۲

۱-۱-۲ تاریخچه.....۳

۱-۱-۳ اشکال سحابی‌های سیاره‌نما.....٤

۱-۱-٤ سحابی‌های سیاره‌نمای کلاسیکی.....٤

۱-۱-۵ گره‌ها وجت‌ها.....۸

۱-۱-٦ هاله.....۹

۱-۱-۷ گذار از فاز مجانبی غول قرمز.....۱۰

۱-۱-۸ دینامیک سحابی‌های سیاره‌نما.....۱۱

۱-۱-۹ مدل‌سازی برهم‌کنش دو باد.....۱۳

۱-۱-۱۰نتایج مدل بر هم‌کنش دو باد ۱۷

بخش دوم : محیط‌های میان ستاره‌ای

۱-۲-۱ مقدمه.....۱۹

۱-۲-۲ دریافت اطلاعات در مورد محیط میان ستاره‌ای.....۲۱

۱-۲-۳ اندازه‌گیری خطوط طیف نشری وجذبی ۲۵

۱-۲-٤ سرمایش در محیط میان ستاره‌ای.....۲۸

۱-۲-۵ گرمایش در محیط میان ستاره‌ای ۳۰

۱-۲-٦ ضریب جذب.....۳۱

فصل دوم : مبانی و روش‌ها

بخش اول : دینامیک حاکم بر سحابی‌های سیاره‌نما

۲-۱-۱ مقدمه ۳۵

۲-۱-۲ قوانین پایستگی..... ۳۶

۲-۱-۳ پایستگی جرم..... ۳۸

۲-۱-٤ پایستگی اندازه حرکت..... ۳۹

۲-۱-۵ پایستگی انرژی..... ٤۳

۲-۱-٦ امواج صوتی..... ٤۵

۲-۱-۷ امواج ضربه‌ای..... ٤۸

بخش دوم : عوامل موثر بر شکل‌گیری سحابی‌های سیاره‌نما

۲-۲-۱ مقدمه..... ۵۳

۲-۲-۲ مدل‌های هیدرودینامیکی..... ۵٤

۲-۲-۳ عوامل موثر بر شکل‌گیری سحابی‌های سیاره‌نما..... ۵٦

انبساط خود مشابه ۵٦

۲-۲-٤ میدان مغناطیسی در سحابی‌های سیاره‌نما..... ۵۷

۲-۲-۵ مدل‌های مگنتو هیدرودینامیک..... ۵۸

۲-۲-٦ نقش گرانش در شکل‌گیری سحابی سیاره‌نما..... ۵۹

۲-۲-۷ اثر دوران ستاره مرکزی بر سحابی سیاره‌نما..... ٦۰

۲-۲-۸ فشار تابشی..... ٦۱

فشار تابشی چیست..... ٦۱

منبع تابش در سحابی سیاره‌نما..... ٦۱

تاریخچه..... ٦۱

تانسور تنش ماکسول..... ٦۲

قانون تابش پلانک..... ٦۵

قانون استفان – بولتزمن..... ٦٦

۲-۲-۹ تاثیر فشار تابشی بر دینامیک سحابی‌های سیاره‌نما..... ٦۷

فصل سوم : نتایج و بحث

بخش اول : مراحل انجام پایان نامه

۳-۱ مقدمه..... ۷۰

۳-۱-۱ محاسبه فشار تابشی..... ۷۱

۳-۱-۲ بررسی شکل هندسی فضای مورد مطالعه..... ۷۲

۳-۱-۳ به دست آوردن معادلات بقاء جرم وتکانه..... ۷٤

۳-۱-٤ محاسبه جمله فشار تابشی در معادلات بقاء..... ۷۸

۳-۱-۵ حل خود مشابه معادلات ساختاری..... ۸۱

۳-۱-٦ محاسبه f(x)..... ۸۲

۳-۱-۷ بی‌بعد سازی معادلات..... ۸٤

۳-۱-۸ محاسبه ضرایب تابش و گرانش..... ۸۵

۳-۱-۹ محاسبه مقادیر مرزی..... ۸٦

۳-۱-۱۰ وارد کردن دوران در معادلات..... ۸۷

۳-۱-۱۱حل نهایی معادلات ساختاری..... ۸۸

بخش دوم : منحنی‌ها و نتیجه‌گیری

۳-۲-۱ منحنی‌های حاصل..... ۹۰

۳-۲-۲ بحث پیرامون منحنی‌ها و نتیجه‌گیری..... ۱۰٦

۳-۲-۳ راهکارهایی برای مطالعات آتی..... ۱۰۸

پیوست

پیوست شماره ۱ (محاسبه ضریب وابسته به دمای فشار تابشی)..... ۱۰۹

پیوست شماره ۲ (محاسبه f(x))..... ۱۱۰

پیوست شماره۳ (برنامه کامپیوتری (فرترن) استفاده شده در حل معادلات)..... ۱۱۲

فهرست منابع ۱۲۰

مقاله..... ۱۲۳

فهرست شکل‌ها

شکل ۱-۱-۱ نمونه یک سحابی سیاره‌نمای بیضوی ۵

شکل ۱-۱-۲ سحابی سیاره‌نما M2-9 ..... ٦

شکل ۱-۱-۳ سحابی سیاره نما NGC6886..... ٦

شکل ۱-۱-٤ شراره..... ۸

شکل ۱-۱-۵ تصویر شماتیک نواحی ناشی از امواج ضربه‌ای..... ۱۷

شکل ۱-۲-۱ منحنی مقایسه‌ای نمایه گاوسی و لورنتسی..... ۲۳

شکل ۱-۲-۲ توزیع نسبی انواع جذب ۳۳

شکل ۲-۱-۱ حرکت موج در سیال..... ٤۰

شکل ۲-۲-۱ توزیع چگالی حاصل از مدل هیدرودینامیکی..... ۵٤

شکل۲-۲-۲ اشکال حاصل از مدل هیدرودینامیکی..... ۵۵

شکل۲-۲-۳ رابطه فشار تابشی با چگالی..... ۵۸

شکل ۲-۲-٤ رابطه تکانه تابشی , تکانه ذرات و تکانه کل ٦۲

شکل ۳-۱-۱ برش دوبعدی از یک سحابی سیاره‌نما..... ۷۲

شکل ۳-۱-۲ مقایسه فشارها..... ۸۳

شکل ۳-۲-۱ سحابی سیاره‌نمای مارپیچ(Helix) ۱۰۰

شکل ۳-۲- ۲سحابی سیاره‌نمای M2-9 ..... ۱۰۳

شکل ۳-۲-۳ سحابی سیاره‌نمای حلقوی (Ring Nebulae)..... ۱۰۵

فهرست جدول‌ها

جدول ۱-۱-۱ کمیت‌های رصدی باد تند و کند..... ۱۳

جدول ۳-۱-۱ وابستگی ضریب فشارتابشی به دمای ستاره مرکزی..... ۸۵

فهرست برخی از نام‌ها و اختصارهای مورد استفاده

Nebulae	سحابی
Planetary nebulae(PNe)	سحابی سیاره‌نما
Ring nebulae	سحابی حلقوی
Stellar Wind	باد ستاره‌ای
Shock Wave	امواج شکی
Asymptotic Giant Branch (AGB)	شاخه مجانبی غول قرمز
Bubble	حباب داغ
Central star	ستاره مرکزی
Jet	جت
Halo	هاله
Concentric ring	حلقه‌های هم‌مرکز
Radiation Pressure	فشار تابشی

نام خانوادگی دانشجو: جامعی نام : ناهید

عنوان پایان نامه:

بررسی اثر فشار تابشی بر شکل‌گیری و ساختار حلقوی در سحابی‌های سیاره‌نما

استاد راهنما : دکتر داود محمدزاده جسور

استاد مشاور : دکتر جمشید قنبری

مقطع تحصیلی : کارشناسی ارشد رشته : فیزیک گرایش : نجوم و اخترفیزیک

دانشگاه : تبریز دانشکده : فیزیک تاریخ فارغ التحصیلی: بهمن ۱۳۸٦

تعداد صفحه: ۱۳۰

کلید واژه‌ها: (واژه هایی که بیانگر موضوع پایان نامه است)

سحابی سیاره‌نما – باد ستاره‌ای– مدل مگنتوهیدرودینامیک - فشار تابشی – دوران ستاره مرکزی

چکیده :

سحابی‌های سیاره‌نما محیط‌های گازی هستند که در نتیجه برهم کنش باد های ستاره‌ای در شاخه مجانبی غول قرمز به وجود می‌آیند (Kwok et all1977). این اجرام دارای طیف گسترده‌ای از شکل‌های مختلف از متقارن کروی تا دوقطبی , چهار قطبی , متقارن نقطه ای و .... هستند که دسته بندی‌های مختلف برای آن‌ها ارائه شده است. از جمله آن‌ها به دسته بندی (Balick1987) می‌توان اشاره کرد. مدل‌های هیدرودینامیکی که برای شکل‌گیری سحابی‌های سیاره‌نما ارائه می‌شد قادر به توجیه شکل‌های آن‌ها که معمولا تقارن کروی ندارند, نیست. در نتیجه میدان مغناطیسی در مدل‌ها وارد شد و به این ترتیب مدل‌های مگنتوهیدرودینامیکی که می‌توانست توجیه مناسبی برای عدم تقارن سحابی‌های سیاره نما باشد , جایگزین مدل‌های قبلی شد (Chevalier &Luo1994). عوامل دیگری نیز می‌تواند روی شکل سحابی سیاره‌نما اثر داشته باشد از جمله دوران ستاره‌مرکزی , گرانش , نیروهای وشکسانی و فشارتابشی. در این پایان‌نامه اثر فشار تابشی و دوران ستاره مرکزی روی شکل‌گیری سحابی سیاره‌نما بررسی شده که برای این منظور معادلات ساختاری (بقاء) را برای سحابی در حضور این عوامل حل‌کرده‌ایم. نتیجه حاصل نشان می‌دهد که فشار تابشی به عنوان یک فاکتور موثر شعاع سحابی را افزایش می‌دهد و دوران ستاره مرکزی موجب عدم تقارن سحابی سیاره‌نما و پیشروی آن به سمت دو قطبی شدن می‌شود.

مقدمه

سحابی‌های سیاره‌نما به دلیل اهمیت فوق العاده در شناخت ویژگی‌های ستاره مرکزی خود که غالبا به صورت مستقل قابل بررسی نیست همواره مورد توجه بوده‌اند. از سوی دیگر زیبایی خیره‌کننده این اجرام که همواره با پرسش‌های گوناگون در زمینه چگونگی شکل‌گیری آن‌ها همراه بوده است یکی از موضوعات مورد علاقه بسیاری از دانشمندان علم ستاره‌شناسی و اختر فیزیک بوده و هست به طوریکه مطالعات وسیعی که از دهه ٤٠ میلادی در زمینه چگونگی شکل‌گیری سحابی‌های سیاره‌نما با جدیت آغاز شده است امروزه با استفاده از تکنولوزی جدید همچنان ادامه دارد و هر روز شبیه سازی‌های دقیق‌تری با استفاده از نرم‌افزارهای پیشرفته انجام می‌شود که انطباق بسیار خوبی با تصاویر سحابی‌های سیاره‌نما دارد. در این پایان نامه سعی شده است با وارد کردن یکی از عواملی که می‌تواند در شکل‌گیری سحابی‌های سیاره‌نما موثر باشد تصویری دقیق‌تر از آن‌ها ارائه داده و در را ه شناخت بهتر آسمان‌ها و اجرام سماوی گامی به جلو بردارد.

با برهمکنش بادهای تند و کند ستاره‌ای در مرحله مجانبی فاز غول قرمز محیطی گازی در اطراف ستاره مرکزی شکل می‌گیرد که به سحابی سیاره‌نما معروف است(Kwok et all 1978). ضخامت سحابی سیاره‌نما نسبت به فاصله آن تا ستاره مرکزی بسیار کوچک است و می‌توان آن را به صورت یک پوسته نازک اطراف سحابی در نظر گرفت و سیستم مختصات ویژه ای در محاسبات استفاده نمود که منطبق بر این پوسته نازک باشد (Giuliani 1982).

مشاهده علائم حضور میدان مغناطیسی در سحابی ها باعث ورود فشار مغناطیسی در مطالعات دینامیکی این اجرام شد و مدل های مگنتو هیدرودینامیک(MHD) شکل گرفت. نتایج حاصل از این شبیه سازی‌ها انطباق خوبی با داده‌های رصدی دارند (Chevalier & Luo 1992).

فشار تابشی ستاره مرکزی نیز از نخستین فاکتورهایی است که اثر آن در شکل‌گیری اولیه سحابی به صورت عامل بر هم‌زننده موازنه فشار در لایه‌های خارجی غول‌قرمز و ایجاد باد ستاره‌ای مورد توجه بوده است(Sweigart 1999). این اثر در مراحل بعدی عمر سحابی سیاره‌نما نیز می-تواند همچنان موثر باشد که به دلیل کوچکی تاثیر آن در قیاس با فشار گاز و فشار مغناطیسی تا کنون کمتر به آن توجه شده است. با توجه به مطالعات دقیقی که امروزه در مورد سحابی ها انجام می‌شود و نیز نرم افزارهای پیشرفته کامپوتری می‌توان این عامل را با دقت خوبی در مدل‌های

شبیه‌سازی سحابی‌های سیاره‌نما وارد کرده و نتایج حاصل را بررسی نمود.

دوران ستاره مرکزی روی توزیع جرم باد کند اولیه تاثیر گذاشته و آن را از حالت توزیع متقارن کروی خارج می‌سازد و به این ترتیب فاکتور مهمی در شکل‌گیری نهایی سحابی سیاره‌نما و پیشروی آن به سمت ساختار دو قطبی است(Ghanbari &Khesali 2001).

فصل اول این پایان‌نامه به معرفی محیط‌های میان ستاره‌ای , سحابی‌های سیاره‌نما و دسته بندی‌های ریخت‌شناسی (Morphology) آن‌ها پرداخته شده است تا ضمن آشنایی با این اجرام سماوی , اهمیت مطالعه در زمینه ساختار ظاهری آن‌ها مشخص شود.

فصل دوم به معادلات دینامیک حاکم بر سحابی‌های سیاره‌نما و عوامل موثر بر شکل‌گیری ساختار غیرکروی در آن‌ها می‌پردازد و در واقع با معرفی کارهای مطالعاتی که در گذشته انجام شده بنیان‌های علمی محاسبات پایان‌نامه را مشخص می‌کند.

در ابتدای فصل سوم معادلات ساختاری سحابی سیاره‌نما با حضور فشار تابشی و دوران ستاره مرکزی حل شده است. در این قسمت سعی بر آن بود که فشار تابشی ستاره مرکزی برای دماهای گوناگون با دقت زیاد محاسبه شود تا با توجه به کوچک بودن اثر حداقل میزان خطا و بیشترین دقت در به‌دست آوردن شکل نهایی را داشته باشد. در قسمت پایانی منحنی‌های به دست آمده آورده شده است که ویژگی‌های سحابی‌سیاره‌نما از جمله سرعت انبساط پوسته, چگالی و مهم‌تر از همه تغییرات شعاعی که نشان دهنده تغییر شکل ظاهری سحابی سیاره‌نما در حضور فشارتابشی و دوران ستاره مرکزی است نشان می‌دهند و در نهایت به نتیجه‌گیری و بیان راهکارهایی برای ادامه مطالعات در این زمینه پرداخته شده است.

فصل اول

بررسی منابع(پایه‌های نظری و پیشینه پژوهش)

بخش اول : آشنایی با ریخت‌شناسی وشکل‌گیری سحابی‌های سیاره‌نما

۱-۱-۱ مقدمه

۱-۱-۲ تاریخچه

۱-۱-۳ اشکال سحابی‌های سیاره‌نما

۱-۱-٤ سحابی‌های سیاره‌نمای کلاسیکی

۱-۱-۵ گره‌ها و جت‌ها

۱-۱-٦ هاله

۱-۱-۷ مراحل شکل‌گیری یک سحابی سیاره‌نما

۱-۱-۸ دینامیک سحابی‌های سیاره‌نما

۱-۱-۹ مدل‌سازی برهم‌کنش دو باد

۱-۱-۱۰ نتایج مدل برهمکنش دو باد

بخش دوم : محیط‌های میان ستاره‌ای

۱-۲-۱ مقدمه

۱-۲-۲ دریافت اطلاعات در مورد محیط‌های میان ستاره‌ای

۱-۲-۳ اندازه‌گیری خطوط نشری وجذبی

۱-۲-٤ سرمایش در محیط‌های میان ستاره‌ای

۱-۲-۵ گرمایش محیط‌های میان‌ستاره ای

۱-۲-٦ ضریب جذب

بخش اول : آشنایی با ریخت شناسی و شکل‌گیری سحابی‌های سیاره‌نما

۱-۱-۱ مقدمه

اغلب ستارگان با شرط $M_{*} \leq 8 M_{sun}$ در مراحل پایانی عمر خود وارد شاخه مجانبی غول قرمز(AGB) می‌شوند. در این مرحله ستاره لایه خارجی خود را به صورت بادستاره‌ای از دست داده و خود پس از این گذار به یک کوتوله سفید تبدیل می‌شود. لایه جدا شده حاصل از این تغییر فاز یک سحابی سیاره‌نما (Pne) است[۱۲]. سحابی‌های سیاره‌نما دارای اشکال بسیار پیچیده و متنوعی هستند و مدل‌های گوناگونی تا کنون در بررسی چگونگی شکل‌گیری آن‌ها و همچنین تقارن‌های موجود در اشکال پیچیده این اجرام زیبای سماوی ارائه شده است. در این فصل ابتدا نگاهی خواهیم داشت به کارهایی که در زمینه دسته‌بندی ریخت‌شناسی(Morphology) آن‌ها انجام شده است. سپس به مدل برهمکنش دو باد که تا کنون دقیق‌ترین مدل در زمینه شکل‌گیری اولیه سحابی‌های سیاره‌نما است خواهیم پرداخت.

۱-۱-۲ تاریخچه

مطالعه زمینه‌های جدید پرتاب جرم سحابی سیاره‌نما زمانی آغـاز شـد کـه *داچ* (Deutch) در ۱۹۵۶ جابجایی خطوط جذبی در طیف H_α را یافت و نتیجه گرفته شد که سـتارگان مراحـل نهـایی AGB و غول قرمز لایه‌های خارجی خود را از دست می‌دهند. شکلووسـکی (Shklovskii) در ۱۹۵۶ و آبل و گولدریچ(Abell & Goldreich) درسال ۱۹٦٦ نشان دادند که چطور نیروی تابشی غول‌هـای قرمز می‌تواند پوش خارجی را از طریق ناپایداری ساختاری به بیرون پرتـاب کنـد[٤] و[۱۲] . بـرای چند دهه این فکر که درخشش سطح پوسته یا نوسانات پوسته می‌تواند مواد مقیـد را از سـتاره غـول قرمز به آرامی جلو ببرد , عمومیت یافت, اگر چه تاثیر و مکانیسم آن تا مدت‌ها نامعلوم مانـد. اکنـون کاملا اثبـات شـده اسـت کـه سـتارگان غـول قرمـز و ابرغـول قرمـز جـرم را بـا آهنگـی تـا حـدود $۱۰^{-۵} M_\Theta - Yr^{-۱}$ یا بیشتر و با سرعت فراری حدود ۱۰ کیلومتر بر ثانیه از دست می‌دهند. نظر عمومی این است که در فاز غول قرمز ، فوتونهای IR ذرات غبار را شتاب می‌دهند و گاز را همـراه خودشـان می‌کشند تا سحابی را شکل دهند. امواج آکوستیکی و نوسانات سطحی نیز می‌تواننـد در ایـن فرآینـد کمک کنند.

تا سال ۱۹۷۸ اعتقاد بر این بود که از دست دادن جرم در ایـن نقطـه متوقـف شـده و پـوش خارجی به طور همسانگرد انبساط می‌یابد. با باز شدن پنجره ماوراء بنفش یک جایگزینی اتفاق افتـاد. کواک(Kwok) و همکارانش فهمیدند که وقتی ستاره از غول قرمز به هسته سحابی سـیاره‌نمـا تبـدیل می‌شود، آهنگ از دست دادن جرم تا حدود $۱۰^{-۸} M_{SUN} - Yr^{-۱}$ کاهش می‌یابد ولـی قطـع نمـی-شود. در این موقع سرعت باد V_w متقابلا۱۰ تا ۱۰۰۰ برابر افزایش می‌یابد. موادی که قبلا پرتاب شده بودند با تابش سطح هسته مرکزی در دمای K ۲۵۰۰۰، یونیزه می‌شوند. بالاخره فوتون‌های uv سخت $(۱۰-۵۰ev)$ به شدت با خطوط جذبی فلزات چند بار یونیزه جفت می‌شوند. پراکندگی‌هـای متعـدد فوتون‌های uv در منطقه شتابدار چگال ، می‌تواند باعث فـشار تابـشی شـود و تکانـه‌ای بـه صـورت $\tau_{scat}.\frac{L_*}{c}$ تولید کند که $\tau_{scat} \leq ۱۰$ ضریب کدری می‌باشد.

به طور کلی تمام بادهای رانده‌شده به این طریق ، اساسا هم‌دما است. اگرچه اثر فعالیت آن‌ها به تقارن‌های گوناگون منجرمی‌شود[۱].

۱-۱-۳ اشکال سحابی‌های سیاره‌نما

سحابی‌های سیاره‌نما با اشکال متنوع وگاه پیچیده خود از زیباترین اجرام سماوی هستند. بررسی شکل ظاهری سحابی سیاره‌نما نقش عمده‌ای در آشکارسازی خصوصیات دینامیکی این محیط‌ها و اثر ستاره مرکزی و دیگر عوامل موثر در شکل‌گیری آن‌ها دارد.

در چند دهه اخیر مطالعات بسیار وسیعی روی سحابی‌های سیاره‌نما انجام شده و اشکالی با تقارن‌های بسیار پیچیده بررسی شده‌اند. تنوع اشکال با تقارن چند محوری , سیستم های شامل جت‌ها و گره‌ها با یونیدگی کم , حضور هاله‌ها و.... بیانگر این نکته است که هنوز تا پایان مطالعات در این زمینه راهی بس طولانی باقی مانده است.

۱-۱-٤ سحابی‌های سیاره‌نمای کلاسیکی

طبقه بندی سحابی‌های سیاره‌نما بر مبنای ریخت‌شناسی آن‌ها :

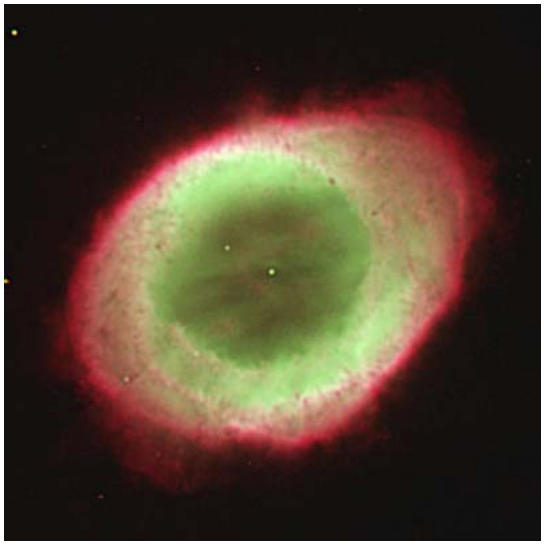
دسته بندی سحابی‌های سیاره‌نما از این جهت که نتیجه نهایی فرآیند شکل‌گیری سحابی‌های سیاره‌نما و دیگر انواع سحابی را مشخص می‌کند دارای اهمیت است. برای این دسته‌بندی باید از یک سیستم مناسب استفاده کرد که دو ویژگی اساسی داشته باشد:

۱- برمبنای مشخصات و تعاریف روشن باشد.

۲- محدوده وسیعی از انواع سحابی را شامل شود.

در این جا به بررسی دو سیستم مکمل می‌پردازیم که هر دو ویژگی‌های کاربردی بسیار دارند.

عمومی‌ترین توصیف از ریخت‌شناسی سحابی‌ها توسط بالیک(Balick) در سال ۱۹۸۷ ارائه شد. در این توصیف سحابی‌ها از نظر فضایی بررسی شدند. چهار شکل اساسی این دسته‌بندی عبارت است از : کروی(IC 3568), بیضوی(NGC3132, NGC6826), دوقطبی و نامنظم (این گروه کمیاب هستند). سه گروه اول را نمی‌توان کاملا متمایز دانست. مثلا سحابی بیضوی از حالت کروی تا کاملا بیضوی را دربرمی‌گیرد (شکل۱-۱-۱) و شکل بادام‌زمینی حد فاصل حالت بیضوی و دوقطبی است.



شکل ۱-۱-۱

نمایی از یک سحابی سیاره‌نمای بیضوی[۱]

http://www.noao.edu/image_gallery/html/im0847.html

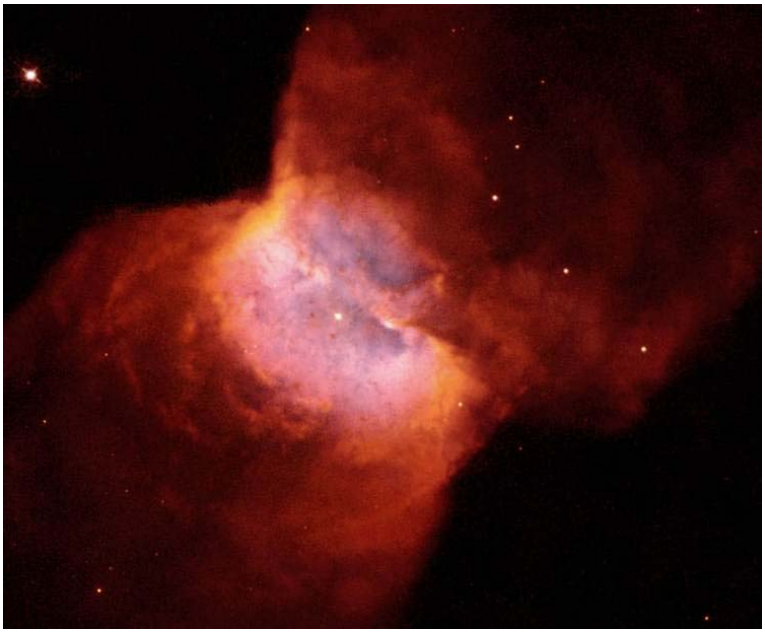
سحابی‌های سیاره نمای دوقطبی بی‌شک از ستاره‌های با جرم بالاتر نسبت بـه سـایر اشـکال تـشکیل شده‌اند و به دو دسته عمده تقسیم می‌شوند :

۱- مدل پروانه‌ای [۱] که کمری در ناحیه مرکزی دارد مانند (M2-9,He2-104)(شکل ۱-۱-۲).

۲- دو قطبی دو قطعه‌ای [۲] که در این نوع یک جفت حباب بزرگ خارجی با ناحیـه مرکـزی کـه عموما بیضوی و یا کروی است در تماس می‌باشد. مانند سحابی‌های NGC6886 , NGC7026 (شکل ۱-۱-۳).

۱-butterfly

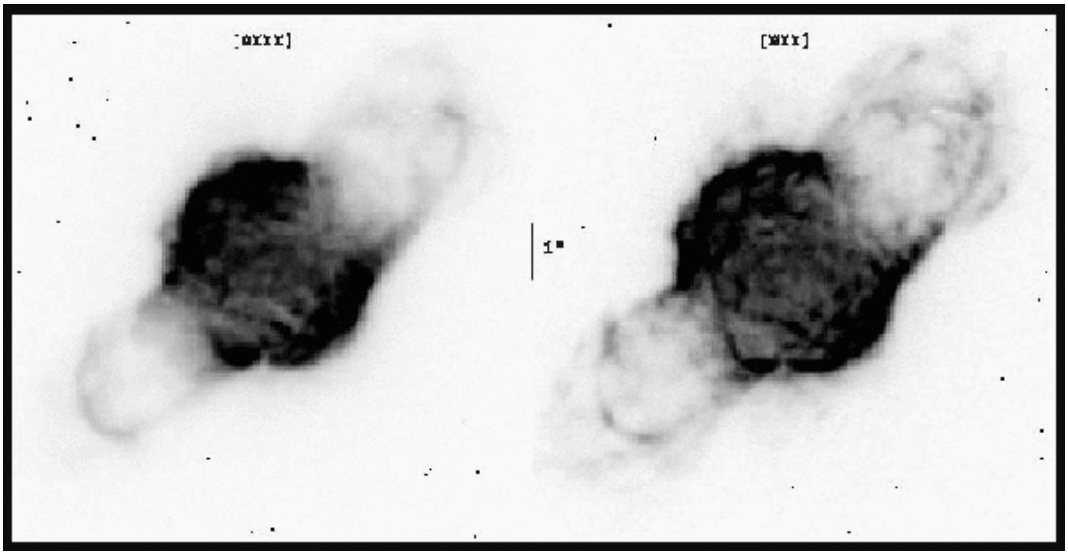
۲-Bilobed



شکل ۱-۱-۲

سحابی سیاره‌نما M2-9 -نمونه‌ای از یک سحابی سیاره‌نمای پروانه‌ای [۱]

www.nasa.gov/images/content/110698main_image



شکل ۱-۱-۳

سحابی سیاره‌نما NGC6886نمونه‌ای از یک سحابی سیاره‌نما دو قطعه‌ای [۱]

www.aanda.orgPN **NGC6886** in [OIII] and [NII],

امروزه این دسته به مدل‌های چهارقطبی و چندقطبی نیز تعمیم یافته است. سحابی‌های دو-قطعه‌ای زمانی تشکیل می‌شود که حباب داغ داخلی پوسته خارجی را در روی محور تقارن سوراخ کند. شار خروجی جرم از این سوراخ به صورت بی‌درو سرد می‌شود. با افزوده شدن مواد محیط‌میان-ستاره ای به مواد اولیه سرعت انبساط به تدریج کاهش یافته و مواد فشرده و سرد می‌شوند [۲٤].

طبقه‌بندی مهم دیگر توسط Stangellini, Manchado , Corradi انجام شد. این دسته‌بندی بر مبنای بالاترین درجه تقارن می‌باشد. دسته‌های اساسی این گروه عبارت‌اند از :
متقارن محوری , متقارن انعکاسی , متقارن نقطه‌ای و نامتقارن.
در دسته اول تقارن حول محور بزرگ و کوچک , در دسته دوم تنها حول محور کوچک و در دسته سوم این تقارن حول مرکز سحابی برقرار است.

اغلب سحابی‌ها متمایل به داشتن تقارن محوری هستند. در سحابی‌های نقطه ای بیشتر تمایل به اشکال S شکل وجود دارد. همچین چند قطبی بودن بیشتر از داشتن یک محور تقارن در آن‌ها رایج است. تقارن انعکاسی از جمله موارد کمیاب است. سحابی M2-9 (شکل۱-۱-۲) را می‌توان نمونه‌ای از این دسته محسوب کرد.

۱-۱-۵ گره‌ها و جت‌ها

علاوه بر آنچه در قسمت قبل به عنوان ساختار کلی سحابی‌های سیاره‌نما مطرح شد ساختار ریزی نیز در بیش از نیمی از سحابی‌ها دیده می‌شود که گره‌ها و جت‌ها از آن جمله هستند. جت معمولا به یک جزء شعاعی و بدون پهن‌شدگی گفته می‌شود. از آنجا که این ساختارها عمدتا در خطوط نشری و با یونیدگی پایین یافت می‌شوند به اختصار (LIS) [۱]نامیده می‌شود. بسیاری از این گروه‌ها ارتباط مستقیمی با دنباله‌هایی که به سمت بیرون و در راستای شعاع هستند , دارد (شکل ۱-۱-٤). این شکل ظاهری بیان می‌کند که وقتی باد ستاره مرکزی که به درون گاز محیط میان ستاره‌ای جاروب می‌شود قطع شود این دنباله‌ها از محل‌های گره مانند خنثی و چگال رشد می‌کند.

زیر گروه خاصی از LIS ها عبارت‌اند از شراره‌ها [۲] که جفت‌های متقارن ازگره‌های یونیدگی پایین که به طور مشخص در مقابل هم قرار دارند و جابجایی دوپلری ابرصوتی ($\geq ۲۰ km/s$) از خود نشان می‌دهند. این جابجایی‌های دوپلری نشان دهنده این است که شراره‌ها سن جنبشی کمتری نسبت به گاز محیط دارد. این طور به نظر می‌رسد که آن‌ها غنی از اکسیژن و نیتروژن هستند. بنابراین می‌توان گفت که مستقیم از ستاره مرکزی و با اتمام باد کند ستاره‌ای خارج شده است. البته در توصیف کامل منبع شراره‌ها هنوز اختلاف‌نظر وجود دارد.

۱-Low Ionization Structure

۲-Fliers