بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده علوم پایه

پایان نامه دوره کارشناسی ارشد گرایش نجوم و اخترفیزیک

موضوع:

شبیه سازی نشر میزر از سحابی سیاره نما به روش مونت کارلو

استاد راهنما:

دکتر محسن نژاد اصغر

استاد مشاور:

دکتر علیرضا خصالی

اساتید داور:

دکتر کوروش نوذری

دکتر امید ناصرقدسی

دانشجو:

محجوبه الیاسی

تیرماه ۱۳۸۹

سپاسگزاری

خدای بی همتا را شکر گذارم که به من توان گذر از این مرحله از زندگی را عطا فرموده و لطف و کرمش بود که توانستم در محضر اساتید گرانقدری باشم که همچون چراغی فروزان مسیر پر پیچ و خم علم و دانش را برایم روشن نمودند.

بر خود لازم می دانم از زحمات فراوان و دلسوزانه اساتید ارجمندم جناب آقای دکتر محسن نژاد اصغر و جناب آقای دکتر علیرضا خصالی قدردانی نموده و آرزو می کنم در سایه الطاف الهی باز هم بتوانم از گوهر دانش ایشان بهره مند گردم.

و در پایان از خانواده عزیزم به خاطر تمام خوبی ها و محبت های بی دریغشان که در تمام مراحل زندگی حامی و پشتیبان من بوده اند و از هیچ کوششی برای موفقیتم دریغ نکرده اند، تشکر می کنم.

تقدیم به بزرگترین نعمت‌های زندگیم:

پدر و مادر عزیزم.

چکیده:

تابش میزری را می توان در نواحی مختلفی از محیط های میان ستاره ای، از جمله در سحابی های سیاره نما، مشاهده کرد. در این تحقیق با استفاده از مدل مونت کارلو، انتقال تابش و شرایط لازم برای تولید میزر در سحابی سیاره نما را مورد بررسی قرار داده ایم. بدین منظور از یک ابر لایه ای یک بعدی استفاده کرده و میزان مولدهای میزر را به صورت پارامتری وارد نموده ایم. نتایج شبیه سازی نشان می دهد که با افزایش مولدهای میزر در یک سحابی سیاره نما، شدت تابش میزری نیز به طور خطی افزایش می یابد. شیب این خط نشان می دهد که درصد شدت میزر تولید شده نسبت به تابش کل خروجی از این ابر گازی لایه ای کمتر از یک درصد می باشد. در نهایت، از مقایسه ی مقدار بدست آمده برای شدت نسبی میزرها، با نتایج رصدی، کسر مولدهای میزر در برخی از سحابی های سیاره نما را تعیین کردیم.

واژه های کلیدی:

میزر، انتقال تابش، سحابی سیاره نما.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول- سحابی سیاره نما..... ۱

۱-۱ سحابی های سیاره نما..... ۲

۱-۲ مشاهدات و خصوصیات سحابی های سیاره نما..... ۶

۱-۳ تحول سحابی های سیاره نما..... ۷

۱-۴ چگونگی پیدایش یک سحابی سیاره نما..... ۸

فصل دوم- میزر میان ستاره ای..... ۱۱

۲-۱ مشاهدات رصدی میزر در سحابی سیاره نما..... ۱۱

۲-۲ اصول اولیه تولید میزر در محیط میان ستاره ای..... ۱۶

۲-۲-۱ وارونی جمعیت..... ۱۶

۲-۲-۲ اشباع..... ۲۳

۲-۳ ملاحظات بیشتر در تولید میزر میان ستاره ای ۲۹

۲-۳-۱ باریکی خط میزر..... ۲۹

۲-۳-۲ پمپاژ مولکولهای H_2o و OH..... ۳۰

۲-۴ روش مونت کارلو در انتقال تابش و طرح این پژوهش..... ۳۳

فصل سوم- شرح کامل انتقال تابش مونت کارلو..... ۳۵

۳-۱ معادله انتقال تابش و پراکندگی..... ۳۵
۳-۲ روش مونت کارلو و نمونه برداری متغیرهای تصادفی از تابع توزیع..... ۳۸
۳-۳ چگونگی انتشار یک فوتون..... ۴۰
۳-۴ محاسبه عمق اپتیکی..... ۴۱
۳-۴ -۱ ردیابی مسیر فوتون درون شبکه..... ۴۱
۳-۴-۲ محاسبه مکان پراکندگی..... ۴۵
۳-۵ پراکندگی فوتون..... ۴۶
۳-۶ خروجی..... ۴۹
۳-۷ خطاها..... ۵۱
فصل چهارم- شرح انتقال تابش در ابر لایه ای..... ۵۲
۴-۱ جهت فوتون در لحظه ی $t = 0$ ۵۳
۴-۲ فاصله طی شده توسط فوتون و پراکندگی همسانگرد..... ۵۴
۴-۳ بهنجارش شار..... ۵۶
۴-۴ ممان های شدت..... ۵۷
۴-۵ شرح کد مونت کارلو برای ابر لایه ای..... ۵۸
فصل پنجم- تولید میزر در سحابی سیاره نما..... ۶۳
۵-۱ شبیه سازی انتقال تابشی و تولید میزر در سحابی سیاره نما..... ۶۳

۵-۲نتیجه گیری..... ۷۲

پیوست A..... ۷۴

پیوست B..... ۸۵

منابع..... ۹۰

فهرست شکل ها

عنوان **صفحه**

شکل ۱-۱: تصاویری از سحابی های سیاره نما..... ۴

شکل ۱-۲: ساختار یک سحابی سیاره نما و قسمت های مختلف آن..... ۹

شکل ۲-۱: گسیل میزر آب در سحابی سیاره نما K3-35..... ۱۳

شکل ۲-۲: گسیل میزر هیدروکسید در سحابی سیاره نما K3-35..... ۱۴

شکل ۲-۳: گسیل میزر آب در سحابی سیاره نما IRAS17347−3139..... ۱۵

شکل ۲-۴: دمای برانگیختگی در سیستم دو ترازه را که تابعی از $n_u g_l / n_l g_u$ است..... ۱۸

شکل ۲-۵: فرایند فیزیکی حاکم بر جمعیت ترازها در انتقال میزررا نشان می دهد..... ۲۰

شکل ۲-۶: انتشار تابش درون محیط..... ۲۴

شکل ۲-۷: ترازهای چرخشی آب و گسیل میزر را در گذار $6_{16} \rightarrow 5_{23}$ نشان می دهد..... ۳۱

شکل ۳-۱: مقدار انرژی که در زمان dt از سطح dA می گذرد..... ۳۶

شکل ۳-۲: ردیابی مسیر فوتون دریک شبکه دکارتی..... ۴۲

شکل ۳-۳: ردیابی مسیر فوتون در یک شبکه قطبی کروی..... ۴۴

شکل ۳-۴: مکان پراکندگی را درون سلول نشان می دهد..... ۴۵

شکل ۳-۵: بردارهای استوکس در مختصات کروی..... ۴۷

شکل ۳-۶: پراکندگی فوتون را در جهت (θ_2 , ϕ_2) نشان می دهد..... ۴۸

شکل۳-۷: صفحه تصویر را معرفی می کند..... ۵۰

شکل ۴-۱: عبور پرتو از لایه ای به ضخامت dl و پراکندگی آن تحت زاویه θ ۵۵

شکل ۵-۱: ارسال n فوتون به درون ابر گازی یک بعدی و پراکندگی و خروج آنها در زوایای مختلف.....۶۴

فهرست نمودار ها

عنوان **صفحه**

نمودار ۵-۱: تابش میزری به کل تابش فرودی را درحالیکه $\alpha = 10^{-5}$ است..... ۶۷

نمودار ۵-۲: تابش میزری به کل تابش فرودی را درحالیکه $\alpha = 10^{-6}$ است..... ۶۷

نمودار ۵-۳: کسر میزر برحسب زاویه خروج از سحابی در $\alpha = 10^{-5}$..... ۶۸

نمودار۵-۴: کسر میزر برحسب زاویه خروج از سحابی در $\alpha = 10^{-6}$..... ۶۹

نمودار ۵-۵: کسر میزر برحسب زاویه خروج از سحابی در $\alpha = 10^{-7}$..... ۶۹

نمودار ۵-۶: میانگین میزر تولید شده در فراوانی های مختلف مولدهای میزر..... ۷۰

فهرست جدول

عنوان **صفحه**

جدول ۵-۱: کسر مولد های میزر آب و هیدروکسید در سحابی های سیاره نما.....۷۳

فهرست علائم واختصارات

Parsec	Pc
Astronomical Unit	AU
Jansky	Jy
Microwave Amplification by the Stimulated Emission of Radiation	Maser
Mega Hertz	MHz
Non Local Thermodynamic Equilibrium	Non-LTE

فصل اول

سحابی سیاره نما

در بین ستاره ها، ابرهای عظیمی از گاز و غبار وجود دارد که آنها را سحابی[1] می نامند. گازهای تشکیل دهنده سحابی ها، رقیق بوده و دمای کمی دارند. سحابی ها را می توان برحسب نور مشاهده شده در آن ها به سه دسته: نشری، بازتابی و تاریک تقسیم بندی کرد.

۱- سحابی نشری در نزدیکی یک یا چند ستاره بسیار سوزان قرار داشته که نور فرابنفش آن ها موجب برانگیختن هیدروژن و اکسیژن موجود در سحابی می شود. به عنوان مثالی از این نوع سحابی، می توان سحابی جبار[2] (شکارچی) را نام برد.

[1] Nebula

[2] Orion Nebula

۲- اگر ستاره هایی که در نزدیکی سحابی قرار دارند سرد بوده یا اینکه چگالی گازها در سحابی زیاد باشد، ذرات ابر نمی توانند از خود نور گسیل کرده و لذا نور ستاره ها را بازتاب می کنند. که این نوع از سحابی ها را سحابی بازتابی می نامیم. سحابی که ستاره خوشه پروین را دربرگرفته است، بعنوان یک سحابی بازتابی شناخته می شود.

۳- اگر در داخل یا نزدیک سحابی ستاره ای قرار نگرفته باشد، آن را سحابی تاریک می نامیم. سحابی کلّه اسب[1] در صورت فلکی جبار یک سحابی تاریک است.

۱-۱ سحابی های سیاره نما[2]

یکی از انواع سحابی های نشری، سحابی سیاره نما است که از مرگ ستارگان کم جرم بوجود می آید [۱]. علت نامگذاری آنها این است که از لحاظ تاریخی وقتی با تلسکوپ به آنها نگاه کردند، به شکل قرص هایی که شبیه سیاراتی به دور ستاره مرکزی بودند، مشاهده می شدند. لذا گمان کردند که آن ها مجموعه ای از سیارات شبیه منظومه شمسی ما هستند. بعداً که تلسکوپ ها قدرت بیشتری یافتند، فهمیدند که آن ها سحابی هستند ولی نام سیاره نما بر روی آن ها ماند.

سحابی سیاره‌نما یک سحابی نشری است. این سحابی شامل پوسته ی گازی در حال انبساط است که از بعضی از ستارگان در مراحل پایانی زندگی شان دفع می شود. در واقع در پایان زندگی ستاره، در طی مرحله غول سرخ، لایه های بیرونی ستاره بوسیله تپش ها و بادهای ستاره ای قوی خارج می شوند.

---

[1]. Horsehead Nebula

[2]. Planetary nebulae (PNe)

می توان اینگونه بیان کرد که سحابی های سیاره نما از قسمت خارجی جو ستارگان غول قرمز پدید آمده و بنابراین اساس تشکیل آنها ابرهای بادی می باشد که از سطح ستاره غول قرمز شروع به وزیدن می کند.

ستاره مرکزی سحابی سیاره نما بسیار داغ بوده و بنابراین، به شدت درماوراء بنفش تابش می کند. تابش ناشی از ستاره مرکزی لایه های بیرونی دفع شده از ستاره را یونیده می کند. درواقع فوتونهای پر انرژی ستاره مرکزی عامل اصلی برانگیختگی و یونیدگی عناصر درون سحابی هستند.

هنگامیکه نیروی گرانشی ستاره مرکزی بطور کامل حذف گردد، انبساط سحابی رخ می دهد. سحابی های سیاره نما به آن دسته ازاجرام کهکشانی تعلق دارند که شکل و ساختار فضایی آنها تحت نفوذ نیروی گرانشی نیست. محاسبات نشان می دهد که قدرمطلق انرژی پتانسیل یک سحابی سیاره نما ده هزار مرتبه کوچکتر از انرژی جنبشی انبساطی گاز داغ آن می باشد. تغییرات تدریجی شکل و ساختار سحابی های سیاره نما در مقیاس کیهانی در بازه زمانی بسیار کوتاهی اتفاق می افتد، یعنی در چند ده یا صد هزار سال.

تصاویر تلسکوپ فضایی هابل نشان می دهد که سحابی های سیاره نما فوق العاده پیچیده هستند و ساختار گوناگونی دارند (شکل ۱-۱). اکثر سحابی های سیاره نما بر روی صفحه عکاسی به صورت یک حلقه تخت درخشان ظاهر می شوند. شکل واقعی سحابی سیاره نما شباهتی به حلقه یا هلال ندارد، بلکه شبیه یک پوسته فضایی با ضخامت نازک از گاز فشرده شده متمرکز در اطراف ناحیه مرکزی می باشد. اختلاف شکل تمام سحابی های سیاره نما به طور عام در پهن شدگی یا کشیده بودن آنها است. کشیدگی و پهن شدگی یک سحابی را می توان با حضور میدان مغناطیسی درون سحابی توضیح داد [۲].

شکل ۱-۱: (a) سحابی سیاره نما NGC 7293.

(b) سحابی سیاره نما NGC 2818.

(C) سحابی سیاره نما NGC 6326 .

مکانیسم تغییر شکل و ترکیبات در این سحابی ها ناشناخته است اما می توان بیان کرد که بادهای ستاره ای و میدانهای مغناطیسی ممکن است در تغییر شکل و ساختارآنها موثر باشند.

ساختار سحابی های سیاره نما را می توان به سه دسته طبقه بندی کرد: کروی، بیضوی و دوقطبی. اکثر سحابی های کروی مشاهده شده، دارای تقارن نبوده و فقط ۲۰ درصد از آن ها دارای تقارن کروی هستند. تقریباً نیمی از سحابی ها دارای ساختار دوقطبی می باشند. در سحابی های دوقطبی، درخشندگی در حاشیه انتهایی محور کوچک سحابی بیشتر از درخشندگی در لبه انتهایی محور بزرگ است.

۱-۲ مشاهدات و خصوصیات سحابی های سیاره نما

سحابی های سیاره نما اجرام کم نوری هستند که با چشم غیرمسلح قابل رویت نیستند. اولین سحابی سیاره نما کشف شده، سحابی دمبل[۱] در صورت فلکی ثعلب[۲] بود که توسط چارلس مسیر[۳] در سال ۱۷۶۴ مشاهده شد و M27 نامگذاری شد.

ماهیت سحابی های سیاره نما تا وقتیکه اولین مشاهدات طیف سنجی در اواسط قرن نوزدهم انجام شد، ناشناخته بود. ویلیام هوگینز[۴] به مطالعه طیف نوری اجرام نجومی با استفاده از پراکندگی نور آنها در منشور پرداخت. در ۲۹ آگوست ۱۸۶۴ هوگینز اولین طیف سحابی سیاره نما را بدست آورد. مشاهدات او طیف پیوسته ای را همراه با خطوط تاریک بر روی آن را نشان می دهد. همچنین مشاهدات طیف سنجی نشان می دهد که تمام سحابی های سیاره نما در حال انبساط هستند.

مشاهدات و محاسبات نشان می دهند که سحابی های سیاره نما دارای چگالی از مرتبه $۱۰^{۲}-۱۰^{۴}\ cm^{-3}$ می باشند. سحابی های سیاره نمای جوان تر چگالی های بالاتری از مرتبه $۱۰^{۶}\ cm^{-3}$ دارند. جرم آنها از مرتبه $۱-۰/۱\ M_{sun}$ است. طول عمر سحابی های سیاره نما کوتاه بوده و حدوداً تا چند ده هزار سال پایدار هستند.

عموماً ستارگان مرکزی این سحابی ها از ستارگان نوع O می باشند که دمای آنها حدوداً $۱۰^{۴}-۱۰^{۵}\ K$ است. اطراف ستاره مرکزی اغلب از گازهای داغ با دمای حدوداً $۱۰^{۶}\ K$ پر شده است.

---

[1] Dumbbell Nebula

[2] .Vulpecula

[3] . Charles Messier

[4] . William Huggins

۱-۳ تحول سحابی های سیاره نما

تحول سحابی های سیاره نما به دو دوره تقسیم می شود:

۱- تحول قبل از جدا شدن سحابی از ستاره مرکزی

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

سحابی های سیاره نما از جو غول قرمز بوجود می آیند. برای این مطلب می توان دو دلیل را ذکر کرد. دلیل اول اینکه غول های قرمز در قسمت فوقانی شاخه مجانبی غول ها (AGB)[1] 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 های سیاره نما در مراحل بعدی تحول تطبیق دارد. می توان چنان فرض نمود که گسترش جو غول قرمز، هسته ای از خود بجا می گذارد که ستاره مرکزی سحابی را تشکیل می دهد و در فرایند انبساط جو غول قرمز، پوسته ای از گازها که آن را سحابی می نامیم تشکیل می گردد. دلیل دوم پیدایش این سحابی ها از جو ستارگان غول قرمز، بر پایه سرعت انبساط آنها می باشد. اگر بپذیریم که سحابی پوسته گازی شکلی است که از ستاره جدا شده، 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 اولیه و انرژی لازم برای فرار مشخص می گردد. مقادیر سرعت انبساط مشاهده شده برای این سحابی ها $۱۰-۶۰\ kms^{-1}$ می باشد.

سرعت فرار از ستاره ای به جرم خورشید و شعاع R از رابطه ی زیر:

$$V_{esc} = 1.62\times10^{10}\ R^{-0.5} \qquad (۱.۱)$$

[1] Asymptotic Giant Branch