دانشکده علوم پایه

گروه فیزیک

بررسی دینامیک ذرات گردوغبار در قرص های پیش سیاره ای

محمد غیوری خواه

پایان‌نامه

جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد اختر فیزیک

استاد راهنما

دکتر محسن شادمهری- دکتر مهدی خواجوی

خرداد ۹۱

به نام خداوند جان و خرد

تقدیم به

مادرم،

پدرم

و همه آنهایی که دوستشان دارم

سپاس خدایی را که یادش همیشه باعث آرامشم است؛
سپاس خدایی را که در همه مراحل زندگی پشتیبانم بوده و هست؛
سپاس خدایی را که داده هایش از روی رحمت است و نداده هایش از روی حکمت.

از استاد گرانقدر و فرهیخته‌ام آقای دکتر شادمهری، نهایت تشکر و قدردانی را دارم که فراتر از یک استاد راهنما در طی این سال، در نهایت صبر و شکیبایی، مرا تشویق و راهنمایی نموده و بیش از آنچه که می‌باید به بنده لطف داشته‌اند. برای ایشان و خانواده محترمشان آروزی سلامتی، سعادت و موفقیت دارم.

می خواهم از اساتید گرانقدر آقایان دکتر خواجوی و دکتر میری که با تلاش های بی دریغشان مرا در به پایان رساندن این پایان نامه یاری کرده اند ، کمال تشکر و قدردانی را انجام دهم.

همچنین از دوست خوبم خانم عنایتی که در این راه من را یاری رساندند، صمیمانه تشکر می کنم.

از اساتید ارجمند آقای دکتر خالصه از دانشگاه دانشگاه فردوسی مشهد و آقای دکتر دکتر عباسی از دانشگاه دامغان که داوری پایان‌نامه را قبول کردند کمال تشکر را دارم.

غیوری

خرداد۹۱

چکیده

هدف این تحقیق بررسی اثر خودگرانش قرص روی دینامیک ذرات گردوغبار است. در این راستا، ابتدا دینامیک ذرات گردوغبار را با در نظر گرفتن نیروهای گرانش ستاره ای مرکزی و مقاومت سیال در حالت ایستا بررسی می کنیم. همچنین شکل ذرات گردوغبار را به صورت کروی فرض کرده و اندازه ای تمام آن ها در قرص یکسان در نظر می گیریم. سپس با حل معادلات حرکت ذرات گردوغبار، مولفه های شعاعی و عمودی سرعت را به دست می آوریم. در ادامه با در نظر گرفتن تاثیر جریان های تلاطمی در قرص، توزیع عمودی و به دنبال آن متوسط سرعت شعاعی را که با شار جرمی خالص در راستای شعاعی در ارتباط است، به دست می آوریم. در ادامه حالت ایستا نیروی خودگرانش را وارد معادلات حرکت ذره ای گردوغبار کرده و نشان می دهیم، خودگرانش سبب نشست سریع تر ذرات گردوغبار به روی صفحه ای مرکزی و همچنین تمرکز بیشتر این ذرات حول صفحه ای مرکزی می شود. همچنین سبب می شود که شار جرمی ذرات گردوغبار در راستای شعاعی، مثبت تر شود. در ادامه با یک تحلیل پارامتری نشان می دهیم که این شار جرمی می تواند وجود حلقه ها و شکاف هایی را در قرص پیش بینی کند. با توجه به جرم قرص و همین طور جرم ستاره ای مرکزی حاصل از داده های رصدی، خودگرانش می تواند نقش موثری را در دینامیک ذرات گردوغبار بازی کند. در انتها با حل معادلات در حالت وابسته به زمان نشان می دهیم که تقریب ایستا، برای ذرات کوچک، قرص های پر جرم و نواحی نزدیک به صفحه ی مرکزی و ستاره ای مرکزی معتبر است و برای پارامترهای ورودی که با این شرایط مطابقت ندارند بایستی معادلات حرکت را در حالت وابسته به زمان حل کنیم. در انتها با تحلیل پارامتری معادلات حرکت در حالت وابسته به زمان نشان می دهیم که به ازای چه مقادیر پارامتر ورودی، ذره حول صفحه ای مرکزی نوسان می کند و به ازای چه مقادیری، سریعا حرکت آن پس از نشست متوقف می شود.

کلمات کلیدی: قرص های پیش سیاره ای، تقریب ایستا، خودگرانش قرص.

مقدمه

قرص های پیش سیاره ای که باقیمانده ای تشکیل ستارگان جوان هستند در حقیقت متشکل از گاز و گردوغبار است. در سال ۲۰۰۷ شواهد رصدی حضور این قرص ها حول ستاره های جوان کم جرم و ستاره های جوان با جرم متوسط را کاملا تایید کردند [۳۰]. شواهد رصدی حکایت از حضور ذرات گردوغبار در قرص های پیش سیاره ای دارد [۱]. همچنین در سال ۱۹۹۹ اولین بار با توجه به شواهد رصدی پیشنهاد شد که ذرات به روی صفحه ی مرکزی نشست می کنند. از طرفی شواهد رصدی نشان می دهند در حالی که جرم ستاره ای مرکزی از $۰/۲۵M_{\odot}$ تا $۲M_{\odot}$ هستند [۳]، جرم قرص نیز می تواند در بازه ای $۰/۰۰۶M_{\odot}$ تا $۰/۲M_{\odot}$ قرار بگیرد [۳، ۷].

در این تحقیق ما اثر خودگرانش قرص را روی دینامیک ذرات گردوغبار با تقریب ایستا بررسی می کنیم و نشان می دهیم که این تقریب به ازای چه مقادیر پارامتر ورودی معتبر است و در چه مواردی اعتبار خود را از دست می دهد. بر این اساس مولفه های سرعت ذره ای گردوغبار، توزیع عمودی و متوسط سرعت شعاعی را به دست می آوریم و با تحلیل پارامتری، شار جرمی خالص شعاعی را بررسی می کنیم.

این پایان نامه در پنج فصل تدوین شده است. در فصل اول با قرص های پیش سیاره ای و ساختار آن و برخی مدل های آن آشنا می شویم و برخی شواهد رصدی را ارائه می کنیم که حاکی از حضور ذرات گردوغبار در قرص های پیش سیاره ای و نشست آن ها به روی صفحه ی مرکزی، دارد. در فصل دوم در ابتدا دینامیک قرص گازی را بررسی می کنیم و در ادامه با تقریب ایستا و با در نظر گرفتن نیروهای گرانش ستاره ای مرکزی و مقاومت سیال، دینامیک ذرات گردوغبار را بررسی می کنیم. در ادامه با وارد کردن تاثیر جریان های تلاطمی توزیع عمودی ذرات را به دست آورده و با استفاده از آن سرعت شعاعی متوسط را به دست می آوریم. در فصل سوم با تقریب ایستا خودگرانش را که هدف اصلی مطالعه است، وارد معادلات حرکت ذرات گردوغبار کرده و محاسبات فصل دوم را تکرار می کنیم تا تاثیر خودگرانش مشخص شود. در فصل چهارم با حل معادلات حرکت ذره گردوغبار در حالت وابسته به زمان، نشان می دهیم که به ازای چه مقادیر پارامترهای ورودی، تقریب ایستا معتبر است و در انتها به ازای مقادیر مختلف پارامترهای ورودی نشان می دهیم که حرکت ذرات گردوغبار در راستای z چگونه است. در پایان نیز به بحث و نتیجه گیری می پردازیم.

غیوری

خرداد۹۱

فهرست مطالب

۱ آشنایی با قرص های پیش سیاره ای **۱**

۱.۱ مقدمه ۱

۲.۱ برافزایش متقارن کروی ایستا ۲

۳.۱ آشنایی با قرص های بر افزایشی ۳

۱.۳.۱ انتقال تکانه زاویه ای ۳

۲.۳.۱ تولید انرژی تابشی در قرص های برافزایشی ۵

۳.۳.۱ متغیرهای کاتالیسمیک و دوتایی های پرتو ایکس کم جرم ۸

۴.۱ آشنایی با قرص های پیش سیاره ای ۱۰

۱.۴.۱ شواهد رصدی ۱۰

۲.۴.۱ شکل هندسی قرص ۱۰

۳.۴.۱ ساختار قرص ۱۲

۴.۴.۱ مدل مرز گردوغبار حلقه ای ۱۴

۵.۱ شواهد رصدی حضور ذرات گردوغبار در قرص های پیش سیاره ای ۱۷

۶.۱ نشست ذرات گردوغبار ۱۸

۲ دینامیک ذرات گردوغبار در قرص های پیش سیاره ای **۲۱**

۱.۲ مقدمه ۲۱

۲.۲ دینامیک قرص گازی ۲۲

۱.۲.۲ سرعت دورانی مولفه ی گازی ۲۲

۲.۲.۲ سرعت شعاعی مولفه ی گازی ۲۷
۳.۲ جریان شعاعی ذرات گردوغبار ۳۴
۱.۳.۲ سرعت ذرات گردوغبار ۳۴
۲.۳.۲ توزیع عمودی ذرات گردوغبار ۴۴
۳.۳.۲ سرعت شعاعی متوسط ۵۰

۳ اثر خودگرانش قرص روی دینامیک ذرات گردوغبار در قرص های پیش سیاره ای ۵۹
۱.۳ مقدمه ۵۹
۲.۳ نیروی خودگرانش ۶۰
۳.۳ جریان شعاعی ذرات گردوغبار ۶۴

۴ معادلات حرکت ذرات گردوغبار در حالت وابسته به زمان ۷۲
۱.۴ مقدمه ۷۲
۲.۴ سرعت ذرات گردوغبار ۷۳
۳.۴ توضیح و پیشنهاد ۸۶

۵ نتیجه گیری و پیشنهادات ۹۱
۱.۵ آشنایی با قرص های پیش سیاره ای ۹۱
۱.۱.۵ شواهد رصدی ۹۱
۲.۱.۵ شواهد رصدی حضور ذرات گردوغبار در قرص های پیش سیاره ای ۹۲
۳.۱.۵ نشست ذرات گردوغبار و اهمیت آن ۹۲
۲.۵ دینامیک ذرات گردوغبار در قرص های پیش سیاره ای ۹۳
۱.۲.۵ دینامیک قرص گازی ۹۳
۲.۲.۵ سرعت ذرات گردوغبار در حالت تقریب ایستا ۹۳
۳.۲.۵ توزیع عمودی ذرات گردوغبار ۹۴
۴.۲.۵ سرعت شعاعی متوسط ۹۵
۳.۵ اثر خودگرانش قرص روی دینامیک ذرات گردوغبار در قرص های پیش سیاره ای ۹۵
۴.۵ معادلات حرکت ذرات گردوغبار در حالت وابسته به زمان ۹۶
۵.۵ پیشنهادات ۹۸

مراجع **۹۹**

آ معادله ی حرکت مولفه ای گاز با در نظر گرفتن خودگرانش **۱۰۲**

لیست تصاویر

۱.۳.۱ شکل بالای صفحه توزیع روشنایی سطحی یک قرص برافزایشی را به هنگام گرفت و در فازهای مختلف گرفت نشان می دهد. منحنی ها از بالا به پایین به ترتیب در B ، U و V هستند. شکل پایین توزیع دمای سطحی را برای مقادیر مختلف $\dot{M}$ نشان می دهد. این شکل به خوبی نشان می دهد که وابستگی شعاعی دمای سطحی قرص از رابطه ای $T_{sur} \propto r^{-\frac{3}{4}}$ پیروی می کند که این موضوع به معنای آن است که در قرص های اطراف کوتوله ها منبع اصلی تولید انرژی وشکسانی تلاطمی است [۱۳]. ۹

۱.۴.۱ تصویر بالا طیف قرص پیش سیاره ای و تصویر پایین شکل قرص را نشان می دهد. با توجه به حضور ذرات گردوغبار قرص یک محیط اپتیکی ضخیم بوده و بنابراین طیف آن شبیه به طیف جسم سیاه است. از طرفی هر چه از ستاره ای مرکزی دور شویم مقدار انرژی جذب شده از ستاره ای مرکزی توسط قرص کم و در نتیجه مقدار انرژی تابش شده توسط قرص نیز کم می شود که با توجه به رابطه (۱۳.۳.۱) این به معنای کاهش دمای سطحی و در نتیجه تابش طول موج های بلندتر است که این موضوع به خوبی در شکل مشخص است. ضمن این که نواحی نزدیک تر به صفحه ای مرکزی چون در مقایسه با لایه های سطحی انرژی کمتری از ستاره ای مرکزی دریافت می کنند بنابراین سردتر است و آن ها نیز طول موج های بلندتری را تابش می کنند. همچنین برآمدگی فروسرخ نیز همان طور که از شکل مشخص است از مرز داخلی گردوغبار نشات می گیرد [۱۰]. . ۱۲

۲.۴.۱ نمایش شکل ظاهری مرز گردوغبار. شکل (a،b) بر اساس مدل مرز عمودی و شکل (c،d) بر اساس مدل مرز گرد است. در این تصاویر باریکه روشن دیوار گردوغبار را نشان می دهد و ناحیه تاریک بقیه نواحی قرص را نشان می دهد [۱۱]. ۱۵

۳.۴.۱ مدل حلقه ای برای مرز داخلی گردوغبار که بر اساس رابطه ای (۱۰.۴.۱) محاسبه شده است. ناحیه ای قهوه ای رنگ ناحیه ای است که در آن ذرات گردوغبار حضور دارند. در بیرون این ناحیه چون در معرض تابش ستاره ای مرکزی است مقدار زیادی انرژی دریافت می شود که این موضوع سبب بالا رفتن دما به بیش از دمای تبخیر ذرات گردوغبار می شود. زیرناحیه ای قهوه ای تیره ناحیه ای را نشان می دهد که عمق اپتیکی در آن بیش از یک بوده و در نتیجه مقدار کمی از تابش ستاره ای مرکزی به این ناحیه نفوذ می کند و ناحیه ای قهوه ای روشن ناحیه ای را نشان می دهد که عمق اپتیکی کمتر از یک بوده و تابش ستاره ای مرکزی به راحتی می تواند به این ناحیه نفوذ کند [۱۱]. . ۱۶

۱.۵.۱ عکس مستقیم تلسکوپ فضایی هابل از یک قرص پیش سیاره ای در مقابل نور زمینه سحابی جبار. بر گرفته از www.hubblesite.org ۱۷

۱.۶.۱ ساختار ذرات گردوغبار در یک قرص پیش سیاره ای. در این شکل مشاهده می شود که ذرات گردوغبار بزرگ تر بیشتر به روی صفحه ای مرکزی نشست می کنند چون که نیروی مقاومت سیال برای ذرات بزرگ تر،کوچک بوده و این ذرات بنابراین تحت تاثیر گرانش ستاره ای مرکزی سریع تر نشست می کنند. همچنین چون لایه های سطحی قرص در معرض تابش ستاره ای مرکزی هستند این لایه ها داغ تر از لایه های عمیق تر هستند که به علت کدری بالا تابش ستاره ای مرکزی کمتر به این لایه ها نفوذ می کند [۱۰]. ۲۰

۱.۲.۲ سرعت شعاعی گاز $v_{r,g}$ برای حالتی که $p = -۲/۲۵$ ، $p = -۲/۹۵$ و $p = -۱/۶۵$ است. فاصله از صفحه مرکزی به مقیاس ارتفاع h_g بهنجار شده است. برای $q = -۰/۵$ سرعت شعاعی گاز مستقل از فاصله تا صفحه مرکزی است. در اینجا فرض کردیم $M = M_\odot$. ۳۱

۲.۲.۲ سرعت شعاعی گاز $v_{r,g}$ برای حالتی که جرم ستاره مرکزی مساوی با $M_\odot$ ، $۰/۲۵M_\odot$ و $۲/۲M_\odot$ است. فاصله از صفحه مرکزی به مقیاس ارتفاع h_g بهنجار شده است. برای ($q = -۰/۵$) سرعت شعاعی گاز مستقل از فاصله تا صفحه مرکزی است. در این شکل $p = -۲/۲۵$ است. ۳۳

۱.۳.۲ سرعت شعاعی ذرات گردوغبار $v_{r,d}$ با ابعاد $s = ۱\mu\text{m}$، $s = ۱۰۰\mu\text{m}$ و $s = ۱\text{mm}$ در فاصله ۱۰AU از ستاره مرکزی. فاصله تا صفحه مرکزی به مقیاس ارتفاع h_g بهنجار شده است. در این شکل، نمودار نقطه چین سرعت گاز $v_{r,g}$ را نشان می دهد. ۳۵

۲.۳.۲ سرعت عمودی ذرات گردوغبار $v_{z,d}$ با ابعاد $s = ۱\mu m$، $s = ۱۰۰\mu m$ و $s = ۱mm$ در فاصله $۱۰AU$ از ستاره مرکزی. فاصله تا صفحه مرکزی به مقیاس ارتفاع h_g بهنجار شده است. ۳۶

۳.۳.۲ سرعت شعاعی ذره گردوغبار $v_{r,d}$ با ابعاد یک میکرومتر در فاصله ۱۰AU از ستاره مرکزی برای حالتی که جرم ستاره مرکزی مساوی با $M = ۰/۲۵M_\odot$ ، $M = M_\odot$ و $M = ۲/۲M_\odot$ است. فاصله تا صفحه مرکزی به مقیاس ارتفاع h_g بهنجار شده است ۳۷
۴.۳.۲ سرعت عمودی ذره گردوغبار $v_{z,d}$ با ابعاد یک میکرومتر در فاصله ۱۰AU از ستاره مرکزی برای حالتی که جرم ستاره مرکزی مساوی با $M = ۰/۲۵M_\odot$ ، $M = M_\odot$ و $M = ۲/۲M_\odot$ است. فاصله تا صفحه مرکزی به مقیاس ارتفاع h_g بهنجار شده است. ۳۸
۵.۳.۲ سرعت شعاعی ذره گردوغبار $v_{r,d}$ با ابعاد یک میکرومتر در فاصله ۱۰AU از ستاره مرکزی برای حالتی که جرم قرص مساوی $۰/۰۰۷M_\odot$ ، $۰/۰۲۵M_\odot$ و $۰/۲۵M_\odot$ است. فاصله تا صفحه مرکزی به مقیاس ارتفاع h_g بهنجار شده است. ۳۹
۶.۳.۲ سرعت عمودی ذره گردوغبار $v_{z,d}$ با ابعاد یک میکرومتر در فاصله ۱۰AU از ستاره مرکزی برای حالتی که جرم قرص مساوی $۰/۰۰۷M_\odot$ ، $۰/۰۲۵M_\odot$ و $۰/۲۵M_\odot$ است. فاصله تا صفحه مرکزی به مقیاس ارتفاع h_g بهنجار شده است. ۴۰
۷.۳.۲ سرعت شعاعی ذره گردوغبار $v_{r,d}$ با ابعاد یک میکرومتر در فاصله ۱۰AU از ستاره مرکزی برای حالتی که $p = -۱/۶۵$ ، $p = -۲/۲۵$ و $p = -۲/۹۵$ است. فاصله تا صفحه مرکزی به مقیاس ارتفاع h_g بهنجار شده است. ۴۱
۸.۳.۲ سرعت عمودی ذره گردوغبار $v_{z,d}$ با ابعاد یک میکرومتر در فاصله ۱۰AU از ستاره مرکزی برای حالتی که $p = -۱/۶۵$ ، $p = -۲/۲۵$ و $p = -۲/۹۵$ است. فاصله تا صفحه مرکزی به مقیاس ارتفاع h_g بهنجار شده است. ۴۲
۹.۳.۲ توزیع نسبت جرم ذره گردوغبار به گاز در راستای z در فاصله ۱۰AU از ستاره مرکزی برای ذرات با ابعاد $s = ۱\mu\text{m}$ ، $s = ۱۰۰\mu\text{m}$ و $s = ۱\text{mm}$. فاصله تا صفحه مرکزی به مقیاس ارتفاع h_g بهنجار شده است. ۴۴
۱۰.۳.۲ نسبت جرمی ذره گردوغبار با ابعاد $s = ۱۰۰\mu\text{m}$ به گاز بر حسب فاصله تا صفحه مرکزی در فواصل مختلف ۱AU ، ۱۰AU و ۱۰۰AU از ستاره مرکزی. فاصله تا صفحه مرکزی به مقیاس ارتفاع h_g بهنجار شده است. ۴۵
۱۱.۳.۲ توزیع نسبت جرم ذره گردوغبار به گاز در راستای z در فاصله ۱۰AU از ستاره مرکزی برای حالتی که جرم ستاره مرکزی $M = ۰/۲۵M_\odot$ ، $M = M_\odot$ و $M = ۲/۲M_\odot$ است. در این شکل اندازه ذره گردوغبار $s = ۱۰۰\mu\text{m}$ در نظر گرفته شده است. فاصله تا صفحه مرکزی به مقیاس ارتفاع h_g بهنجار شده است. ۴۶

۲.۳.۲ توزیع نسبت جرم ذره گردوغبار به گاز در راستای z در فاصله ۱۰AU از ستاره مرکزی برای حالتی که $p = -۱/۶۵$ ، $p = -۲/۲۵$ و $p = -۲/۹۵$ است. در این شکل اندازه ذره گردوغبار $s = ۱۰۰\mu\mathrm{m}$ در نظر گرفته شده است. فاصله تا صفحه مرکزی به مقیاس ارتفاع h_g بهنجار شده است. ۴۷

۳.۳.۲ توزیع نسبت جرم ذره گردوغبار به گاز در راستای z در فاصله ۱۰AU از ستاره مرکزی برای حالتی که جرم قرص مساوی $۰/۰۰۷M_\odot$ ، $۰/۰۲۵M_\odot$ و $۰/۲۵M_\odot$ است. در این شکل اندازه ذره گردوغبار $s = ۱۰۰\mu\mathrm{m}$ در نظر گرفته شده است. فاصله تا صفحه مرکزی به مقیاس ارتفاع h_g بهنجار شده است. ۵۰

۴.۳.۲ سرعت شعاعی متوسط ذرات گردوغبار $< v_{r,d} >$ که به خوبی با گاز مخلوط شده اند (حالت آغازین قرص). در این شکل ابعاد ذرات $s = ۱\mu\mathrm{m}$ ، $s = ۱۰۰\mu\mathrm{m}$ و $s = ۱\mathrm{mm}$ در نظر گرفته شده اند. ۵۱

۵.۳.۲ سرعت شعاعی متوسط ذرات گردوغبار که به خوبی با گاز مخلوط شده اند $< v_{r,d} >$ برای حالتی که جرم ستاره مرکزی $M = ۰/۲۵M_\odot$ ، $M = M_\odot$ و $M = ۲/۲M_\odot$ است (حالت آغازین قرص). در این شکل ابعاد ذره $s = ۱۰۰\mu\mathrm{m}$ در نظر گرفته شده است. ۵۲

۶.۳.۲ سرعت شعاعی متوسط ذرات گردوغبار که به خوبی با گاز مخلوط شده اند $< v_{r,d} >$ برای حالتی که $p = -۱/۶۵$ ، $p = -۲/۲۵$ و $p = -۲/۹۵$ است. (حالت آغازین قرص)در این شکل ابعاد ذره $s = ۱۰۰\mu\mathrm{m}$ در نظر گرفته شده است. ۵۳

۷.۳.۲ سرعت شعاعی متوسط ذرات گردوغبار که به خوبی با گاز مخلوط شده اند $< v_{r,d} >$ برای حالتی که جرم قرص مساوی $۰/۰۰۷M_\odot$ ، $۰/۰۲۵M_\odot$ و $۰/۲۵M_\odot$ است (حالت آغازین قرص). در این شکل ابعاد ذره $s = ۱۰۰\mu\mathrm{m}$ در نظر گرفته شده است. ۵۴

۸.۳.۲ سرعت شعاعی متوسط ذرات گردوغبار که به خوبی به روی صفحه مرکزی نشست کرده اند $< v_{r,d} >$. (حالت پایانی قرص)در این شکل ابعاد ذرات $s = ۱\mu\mathrm{m}$ ، $s = ۱۰۰\mu\mathrm{m}$ و $s = ۱\mathrm{mm}$ در نظر گرفته شده اند. ۵۵

۹.۳.۲ سرعت شعاعی متوسط ذرات گردوغبار که به خوبی به روی صفحه مرکزی نشست کرده اند $< v_{r,d} >$ برای حالتی که جرم ستاره مرکزی مساوی با $M = ۰/۲۵M_\odot$ ، $M = M_\odot$ و $M = ۲/۲M_\odot$ است. (حالت پایانی قرص)در این شکل ابعاد ذره $s = ۱۰۰\mu\mathrm{m}$ در نظر گرفته شده است. ۵۶

۲.۳.۲ سرعت شعاعی متوسط ذرات گردوغبار که به خوبی به روی صفحه مرکزی نشست کرده اند $<$ $v_{r,d} <$ برای حالتی که $p = -۱/۶۵$، $p = -۲/۲۵$ و $p = -۲/۹۵$ است. (حالت پایانی قرص)در این شکل ابعاد ذره $s = ۱۰۰\mu$m در نظر گرفته شده است. ۵۷

۱.۳.۲ سرعت شعاعی متوسط ذرات گردوغبار که به خوبی به روی صفحه مرکزی نشست کرده اند $<$ $v_{r,d} <$ برای حالتی که جرم قرص مساوی $۰/۰۰۷M_\odot$ ، $۰/۰۲۵M_\odot$ و $۰/۲۵M_\odot$ است(حالت پایانی قرص) .در این شکل ابعاد ذره $s = ۱۰۰\mu$m در نظر گرفته شده است. ۵۸

۱.۲.۳ نسبت نیروی خودگرانش به گرانش ستاره مرکزی $\chi_۰$ بر حسب فاصله از صفحه مرکزی برای مقادیر مختلف جرم قرص M_{disk} در فاصله ۱۰۰AU از ستاره مرکزی. فاصله تا صفحه مرکزی به مقیاس ارتفاع h_g بهنجار شده است. پارامتر $p = -۲/۲۵$ و جرم ستاره مرکزی $M = ۰/۵M_\odot$ است. . ۶۲

۲.۲.۳ نسبت نیروی خودگرانش به گرانش ستاره مرکزی $\chi_۰$ بر حسب فاصله از صفحه مرکزی در فواصل ۱AU ، ۱۰AU و ۱۰۰AU از ستاره مرکزی. فاصله تا صفحه مرکزی به مقیاس ارتفاع h_g بهنجار شده است. پارامتر $p = -۲/۲۵$ و جرم ستاره مرکزی $M = ۰/۵M_\odot$ و جرم قرص $M_{disk} = ۰/۲M_\odot$ است. ۶۳

۱.۳.۳ سرعت عمودی $v_{z,d}$ ذرات گردوغبار با ابعاد $s = ۱۰\mu$m ، $s = ۱۰۰\mu$m و $s = ۱$mm در فاصله ۱۰۰AU از ستاره مرکزی. منحنی های توپر حالت با خودگرانش و منحنی خط چین- نقطه حالت بدون خودگرانش را نشان می دهند .فاصله از صفحه مرکزی به مقیاس ارتفاع h_g بهنجار شده است. پارامتر $p = -۲/۲۵$ و چگالی در فاصله یک واحد نجومی از ستاره مرکزی $\rho_۰ = ۱۹/۸۱ \times ۱۰^{-۷}$kg/m^۳ در نظر گرفته شده است. ۶۶

۲.۳.۳ نسبت جرمی ذرات گردوغبار با ابعاد $s = ۱۰۰\mu$m و $s = ۱$mm به گاز بر حسب فاصله از صفحه مرکزی در فاصله ۱۰۰AU از ستاره مرکزی. منحنی های توپر حالت با خودگرانش و منحنی خط چین- نقطه حالت بدون خودگرانش را نشان می دهند. فاصله تا صفحه مرکزی به مقیاس ارتفاع h_g بهنجار شده است. پارامتر $p = -۲/۲۵$ و چگالی در فاصله یک واحد نجومی از ستاره مرکزی $\rho_۰ = ۱۹/۸۱ \times ۱۰^{-۷}$kg/m^۳ در نظر گرفته شده است. ۶۷

۳.۳.۳ نسبت جرمی ذرات گردوغبار با ابعاد$s = ۱۰۰\mu$m به گاز بر حسب فاصله از صفحه مرکزی در فواصل ۱۰AU و ۱۰۰AU از ستاره مرکزی. منحنی های توپر حالت با خودگرانش و منحنی خط چین-نقطه حالت بدون خودگرانش را نشان می دهند. فاصله تا صفحه مرکزی به مقیاس ارتفاع h_g بهنجار شده است. پارامتر $p = -۲/۲۵$ و چگالی در فاصله یک واحد نجومی از ستاره مرکزی $\rho_\circ = ۱۹/۸۱ \times ۱۰^{-۷}\mathrm{kg/m^۳}$ در نظر گرفته شده است. ۶۸

۴.۳.۳ سرعت شعاعی متوسط $< v_{r,d} >$ ذرات نشست کرده به روی صفحه مرکزی با ابعاد $s = ۱۰\mu$m ، $s = ۱۰۰\mu$m و $s = ۱$mm. منحنی های توپر حالت با خودگرانش و منحنی خط چین-نقطه حالت بدون خودگرانش را نشان می دهند. پارامتر $p = -۲/۲۵$ و چگالی در فاصله یک واحد نجومی از ستاره مرکزی $\rho_\circ = ۱۹/۸۱ \times ۱۰^{-۷}\mathrm{kg/m^۳}$ در نظر گرفته شده است. ۶۹

۵.۳.۳ سرعت شعاعی متوسط $< v_{r,d} >$ ذرات نشست کرده به روی صفحه مرکزی با ابعاد $s = ۱۰\mu$m، $s = ۱۰۰\mu$m و $s = ۱$mm. منحنی های توپر حالت با خودگرانش و منحنی خط چین-نقطه حالت بدون خودگرانش را نشان می دهند. پارامتر $p = -۱/۶۵$ و چگالی در فاصله یک واحد نجومی از ستاره مرکزی $\rho_\circ = ۲/۸۳ \times ۱۰^{-۷}\mathrm{kg/m^۳}$ در نظر گرفته شده است. ۷۰

۶.۳.۳ سرعت شعاعی متوسط $< v_{r,d} >$ ذرات نشست کرده به روی صفحه مرکزی با ابعاد $s = ۱۰\mu$m ، $s = ۱۰۰\mu$m و $s = ۱$mm. منحنی های توپر حالت با خودگرانش و منحنی خط چین-نقطه حالت بدون خودگرانش را نشان می دهند. پارامتر $p = -۲/۷$ و چگالی در فاصله یک واحد نجومی از ستاره مرکزی $\rho_\circ = ۱۱۳/۲ \times ۱۰^{-۷}\mathrm{kg/m^۳}$ در نظر گرفته شده است. ۷۱

۱.۲.۴ سرعت عمودی ذرات گردوغبار $v_{z,d}$ با ابعاد $s = ۱۰\mu$m، $s = ۱۰۰\mu$m و $s = ۱$mm در فاصله ۱۰۰AU از ستاره مرکزی. فاصله تا صفحه مرکزی به مقیاس ارتفاع h_g بهنجار شده است در این شکل، نمودار نقطه چین حالت ایستا و نمودار توپر حالت وابسته به زمان را نشان می دهد. . . . ۷۳

۲.۲.۴ سرعت عمودی ذرات گردوغبار $v_{z,d}$ در فاصله های ۱۰AU و ۱۵۰AU از ستاره مرکزی برای ذره ای با ابعاد $s = ۱۰۰\mu$m. فاصله تا صفحه مرکزی به مقیاس ارتفاع h_g بهنجار شده است در این شکل، نمودار نقطه چین حالت ایستا و نمودار توپر حالت وابسته به زمان را نشان می دهد. . . . ۷۴

۳.۲.۴ سرعت عمودی ذرات گردوغبار $v_{z,d}$ در فاصله ۱۰۰AU و برای ذره ای با ابعاد $s = ۱۰۰\mu$m برای حالتی که جرم قرص به ترتیب $۰/۰۰۷M_\odot$ و $۰/۰۲۵M_\odot$ و $۰/۲M_\odot$ است. فاصله تا صفحه مرکزی به مقیاس ارتفاع h_g بهنجار شده است در این شکل، نمودار نقطه چین حالت ایستا و نمودار توپر حالت وابسته به زمان را نشان می دهد. ۷۵

۴.۲.۴ سرعت شعاعی ذرات گردوغبار $v_{r,d}$ با ابعاد $s = ۱۰\mu\text{m}$، $s = ۱۰۰\mu\text{m}$ و $s = ۱\text{mm}$ در فاصله ۱۰۰AU از ستاره مرکزی. فاصله تا صفحه مرکزی به مقیاس ارتفاع h_g بهنجار شده است در این شکل، نمودار نقطه چین حالت ایستا و نمودار توپر حالت وابسته به زمان را نشان می دهد. . . . ۷۶

۵.۲.۴ سرعت شعاعی ذرات گردوغبار $v_{r,d}$ در فاصله های ۱۰AU و ۱۵۰AU از ستاره مرکزی برای ذره ای با ابعاد $s = ۱۰۰\mu\text{m}$. فاصله تا صفحه مرکزی به مقیاس ارتفاع h_g بهنجار شده است در این شکل، نمودار نقطه چین حالت ایستا و نمودار توپر حالت وابسته به زمان را نشان می دهد. . . . ۷۷

۶.۲.۴ سرعت شعاعی ذرات گردوغبار $v_{r,d}$ در فاصله ۱۰۰AU و برای ذره ای با ابعاد $s = ۱۰۰\mu\text{m}$ برای حالتی که جرم قرص به ترتیب $۰/۰۰۷M_\odot$ و $۰/۰۲۵M_\odot$ و $۰/۲M_\odot$ است. فاصله تا صفحه مرکزی به مقیاس ارتفاع h_g بهنجار شده است در این شکل، نمودار نقطه چین حالت ایستا و نمودار توپر حالت وابسته به زمان را نشان می دهد. ۷۸

۷.۲.۴ مکان ذره ای گردوغبار $z(t)$ با ابعاد $s = ۱۰۰\mu\text{m}$، $s = ۳۰۰\mu\text{m}$، $s = ۷۰۰\mu\text{m}$ و $s = ۱\text{mm}$ که در $r = ۳۰۰\text{AU}$ و در قرصی به جرم $۰/۰۰۷M_\odot$ واقع شده است. جرم ستاره ای مرکزی نیز $۲M_\odot$ است. مقیاس ارتفاع به h_g و زمان به $۱۰^۴\text{yr}$ بهنجار شده است. ۷۹

۸.۲.۴ مکان ذره ای گردوغبار $z(t)$ با ابعاد $s = ۱\text{mm}$ که در $r = ۱۵۰\text{AU}$ و در قرصی به جرم $۰/۰۰۷M_\odot$ واقع شده است. جرم ستاره ای مرکزی نیز $۲M_\odot$، $M_\odot$ و $۰/۲۵M_\odot$ است. مقیاس ارتفاع به h_g و زمان به $۱۰^۴\text{yr}$ بهنجار شده است. ۸۰

۹.۲.۴ مکان ذره ای گردوغبار $z(t)$ با ابعاد $s = ۱\text{mm}$ که در $r = ۳۰۰\text{AU}$ واقع شده است. جرم ستاره ای مرکزی $۲M_\odot$ است. جرم قرص نیز به ترتیب $۰/۰۵M_\odot$، $۰/۰۱۷M_\odot$ و $۰/۰۰۷M_\odot$ است. مقیاس ارتفاع به h_g و زمان به $۱۰^۴\text{yr}$ بهنجار شده است. ۸۱

۱۰.۲.۴ مکان ذره ای گردوغبار $z(t)$ با ابعاد $s = ۱\text{mm}$ که در ۳۰۰AU، ۲۲۰AU و ۱۳۰AU و در قرصی به جرم $۰/۰۰۷M_\odot$ واقع شده است. جرم ستاره ای مرکزی نیز $۲M_\odot$ است. مقیاس ارتفاع به h_g و زمان به $۱۰^۴\text{yr}$ بهنجار شده است. ۸۲

۱۱.۲.۴ مکان ذره ای گردوغبار $z(t)$ با ابعاد $s = ۱\text{mm}$ که در ۱۰۰AU، ۶۰AU و ۳۰AU و در قرصی به جرم $۰/۰۰۷M_\odot$ واقع شده است. جرم ستاره ای مرکزی نیز $۲M_\odot$ است. مقیاس ارتفاع به h_g و زمان به $۱۰^۴\text{yr}$ بهنجار شده است. ۸۳

۱.۳.۴ سرعت عمودی ذرات گردوغبار $v_{z,d}$ برای ذراتی که دارای ارتفاع سکون های $0.3h_g$ و $0.2h_g$ و $0.1h_g$ هستند. ذره در فاصله ۳۰۰AU از ستاره مرکزی و در قرصی به جرم $0.075M_\odot$ واقع شده و ابعاد آن $s = 1$ mm است. فاصله تا صفحه مرکزی به مقیاس ارتفاع h_g بهنجار شده است در این شکل، نمودار نقطه چین حالت ایستا و نمودار توپر حالت وابسته به زمان را نشان می دهد. . . ۸۷

۲.۳.۴ سرعت عمودی ذرات گردوغبار $v_{z,d}$ برای ذراتی که دارای ارتفاع سکون های $0.3h_g$ و $0.2h_g$ و $0.1h_g$ هستند. ذره در فاصله ۳۰۰AU از ستاره مرکزی و در قرصی به جرم $0.007M_\odot$ واقع شده و ابعاد آن $s = 1$ mm است. فاصله تا صفحه مرکزی به مقیاس ارتفاع h_g بهنجار شده است در این شکل، نمودار نقطه چین حالت ایستا و نمودار توپر حالت وابسته به زمان را نشان می دهد. . . ۸۸

۳.۳.۴ سرعت شعاعی ذرات گردوغبار $v_{r,d}$ برای ذراتی که دارای ارتفاع سکون های $0.3h_g$ و $0.2h_g$ و $0.1h_g$ هستند. ذره در فاصله ۳۰۰AU از ستاره مرکزی و در قرصی به جرم $0.075M_\odot$ واقع شده و ابعاد آن $s = 1$ mm است. فاصله تا صفحه مرکزی به مقیاس ارتفاع h_g بهنجار شده است در این شکل، نمودار نقطه چین حالت ایستا و نمودار توپر حالت وابسته به زمان را نشان می دهد. . . ۸۹

۴.۳.۴ سرعت شعاعی ذرات گردوغبار $v_{r,d}$ برای ذراتی که دارای ارتفاع سکون های $0.3h_g$ و $0.2h_g$ و $0.1h_g$ هستند. ذره در فاصله ۳۰۰AU از ستاره مرکزی و در قرصی به جرم $0.007M_\odot$ واقع شده و ابعاد آن $s = 1$ mm است. فاصله تا صفحه مرکزی به مقیاس ارتفاع h_g بهنجار شده است در این شکل، نمودار نقطه چین حالت ایستا و نمودار توپر حالت وابسته به زمان را نشان می دهد. . . ۹۰

فصل ۱

آشنایی با قرص های پیش سیاره ای

۱.۱ مقدمه

جسم سماوی را در نظر بگیرید که در احاطه ای توده ای گازی باشد. جاذبه گرانشی این جسم سماوی سبب می شود تا توده ماده پیرامون آن به سمت این جسم سماوی حرکت کند و در نهایت به روی آن سقوط کند. به این فرایند برافزایش می گویند. برافزایش در سامانه های مختلف در اخترفیزیک رخ می دهد. برخی نمونه ها عبارتند از:برافزایش ماده میان ستاره ای به روی ستاره [۲۹]، سقوط ستارگان و توده های گازی به درون یک سیاهچاله در مرکز کهکشان [۲۹] و سقوط ماده میان کهکشانی به مرکز یک خوشه کهکشانی [۲۹]. معمولا برافزایش از طریق قرص های برافزایشی رخ می دهد. قرص ها دو نوع اند. قرص های نازک که ضخامت آن ها در مقایسه با شعاعشان کوچک و قرص های ضخیم که ضخامت آن ها قابل مقایسه با شعاع است[۱۳] . از جمله مهمترین قرص های برافزایشی نازک قرص های پیش سیاره ای هستند: توده ای از گاز و گردوغبار پیرامون ستاره ها که محل شکل گیری سیارات است [۱۱].

در این فصل ابتدا برافزایش متقارن کروی ایستا را بررسی می کنیم و برخی نتایج مهم آن را مرور می کنیم. سپس با قرص های برافزایشی و فرایندهایی که در آن ها رخ می دهد و برخی از نمونه های قرص های برافزایشی که اخترشناسان مشاهده کرده اند آشنا خواهیم شد و در ادامه درباره شکل هندسی و ساختار قرص های پیش سیاره ای بحث خواهیم کرد. در ادامه برخی از شواهد رصدی را ارائه می دهیم که حضور ذرات گردوغبار را در قرص های پیش سیاره ای اثبات می کنند و درباره نشست ذرات گردوغبار به روی صفحه مرکزی و شواهد رصدی که این فرایند را تایید می کنند بحث خواهیم کرد و در انتها برخی مدل ها در رابطه

با دینامیک ذرات گردوغبار را معرفی کرده و هدف مورد مطالعه در این پایان نامه را بیان می کنیم.

۲.۱ برافزایش متقارن کروی ایستا

ابری را پیرامون یک جسم مرکزی در نظر می گیریم. فرض می کنیم که این ابر دارای هیچ گونه حرکت انتقالی و دورانی نسبت به جسم مرکزی نباشد و همچنین این سامانه را دارای تقارن کروی و ایستا فرض می کنیم. درنتیجه کلیه کمیت ها فقط به مولفه ای شعاعی بستگی خواهند داشت. بعلاوه برای سادگی از اثر میدان مغناطیسی و تابش ستاره مرکزی روی ابر صرف نظر می شود.

بنابراین المان های ابر در اثر گرانش ستاره مرکزی روی آن سقوط می کنند و نوعی برافزایش به وجود می آید. این مسئله را ابتدا باندی [۱] در سال ۱۹۵۲ بررسی کرد [۱۳] که امروزه از آن زیاد استفاده می شود و به همین دلیل؛ به برافزایش باندی موسوم است. برافزایش باندی می تواند برای برافزایش ماده میان ستاره ای به روی یک ستاره منزوی، برافزایش در سیستم های دوتایی نزدیک و هسته های کهکشانی فعال تقریب مناسبی باشد.[۱۳]

نتایج اصلی مدل باندی عبارتند از: [۱۳]

۱-آهنگ برافزایش یعنی مقدار جرمی که در واحد زمان روی جسم مرکزی می ریزد از رابطه زیر به دست می آید

$$\dot{M} \cong ۱/۴ \times ۱۰^{۱۱}(\frac{M}{M_{\odot}})^{۲}(\frac{\rho(\infty)}{۱۰^{-۲۴}})(\frac{T(\infty)}{۱۰^{۴}})^{-\frac{۳}{۲}}\mathrm{g/s}, \qquad (۱.۲.۱)$$

که در این رابطه M جرم جسم مرکزی و $\dot{M}$ آهنگ برافزایش و $\rho(\infty)$ و $T(\infty)$ به ترتیب چگالی و دمای ابر پیرامون ستاره مرکزی در فاصله دور از آن است. این رابطه بیان می کند که هر چه جرم ستاره مرکزی و چگالی مواد پیرامون ستاره مرکزی افزایش یابد و دمای محیط کم شود آهنگ برافزایش به روی ستاره مرکزی افزایش یافته و برعکس هر چه جرم ستاره مرکزی و چگالی مواد پیرامون ستاره مرکزی کاهش یابد و دمای محیط زیاد شود آهنگ برافزایش به روی ستاره مرکزی کاهش می یابد.

۲-شعاع کره ای که تحت تاثیر گرانش ستاره مرکزی برافزایش می کند از رابطه ای زیر به دست می آید

$$r_{acc} \cong ۳ \times ۱۰^{۱۴}(\frac{M}{M_{\odot}})(\frac{۱۰^{۴}}{T(\infty)})\mathrm{cm}, \qquad (۲.۲.۱)$$

این رابطه بیان می کند که هر چه جرم ستاره مرکزی افزایش یافته و دمای محیط کم شود در این صورت محیط بزرگ تری تحت تاثیر گرانش جرم مرکزی قرار گرفته و برافزایش می کند.

---

[۱] Bondi