وزارت علوم، تحقیقات و فناوری

دانشگاه دامغان
دانشکده فیزیک

پایان‌نامه کارشناسی ارشد
فیزیک (گرایش نجوم و اختر فیزیک)

مطالعه‌ی قرص‌های پیش‌سیاره‌ای خودگرانشی

به وسیله‌ی:
میلاد پاک ارجقی

استاد راهنما:
دکتر کاظم فاقعی

استاد مشاور:
دکتر مسعود جعفری

بهمن ۱۳۹۲

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَٰنِ الرَّحِيمِ

تعهدنامه‌ی اصالت پایان نامه/رساله دانشگاه دامغان

اینجانب میلاد پاک ارتقی دانش‌آموخته‌ی مقطع کارشناسی ارشد/ دکتری رشته‌ی فیزیک گرایش فیزیک حالت جامد دانشکده‌ی فیزیک دانشگاه دامغان به شماره دانشجویی ۹۰۲۵۲۰۰۲ که در تاریخ ۱۳۹۲/۱۱/۲۰ از پایان‌نامه/ رساله ی تحصیلی خود تحت عنوان مطالعه خواص ساختاری و بررسی رسانندگی الکتریکی نانوکامپوزیت های پلیمری

.....

.....دفاع نموده‌ام، متعهد می‌شوم که:

۱) این پایان‌نامه را قبلاً برای دریافت هیچ‌گونه مدرک تحصیلی یا به عنوان هرگونه فعالیت پژوهشی در سایر دانشگاه‌ها و مؤسسات آموزشی و پژوهشی داخل و خارج از کشور ارائه ننموده‌ام.

۲) این پایان‌نامه، حاصل پژوهش انجام شده توسط اینجانب می‌باشد و در موارد استفاده از نتایج دیگران به مرجع مورد استفاده استناد شده است.

۳) در کلیه مراحل انجام این پایان نامه/ رساله، در مواردی که از موجود زنده (یا بافت های آن ها) استفاده شده است، ضوابط و اصول اخلاق علمی رعایت شده است.

٤) چنانچه بعد از فراغت از تحصیل، قصد استفاده یا هر گونه بهره‌برداری اعم از نشر کتاب، ثبت اختراع و ... از این پایان‌نامه را داشته باشم، از حوزه‌ی معاونت پژوهشی و فنّاوری دانشگاه دامغان، مجوزهای لازم را اخذ نمایم.

۵) در صورت ارائه‌ی مقاله‌ی مستخرج از این پایان‌نامه در همایش‌ها، کنفرانس‌ها، سمینارها، گردهمایی‌ها و انواع مجلات، نام دانشگاه دامغان را در کنار نام نویسندگان (دانشجو و اساتید راهنما و مشاور) ذکر نمایم.

٦) چنانچه در هر مقطع زمانی، خلاف موارد فوق ثابت شود، عواقب ناشی از آن (منجمله ابطال مدرک تحصیلی، طرح شکایت توسط دانشگاه و ...) را می‌پذیرم و دانشگاه دامغان را مجاز می‌دانم با اینجانب مطابق ضوابط و مقرّرات مربوطه رفتار نماید.

۷) مسئولیت صحت و سقم تمامی مندرجات پایان‌نامه‌ی تحصیلی خود را بر عهده می‌گیرم.

نام و نام خانوادگی دانشجو: میلاد پاک ارتقی

امضاء:

تاریخ: ۱۳۹۲/۱۲/۳۰

تمامی حقوق مادّی و معنوی مترتب بر نتایج، ابتکارات، اختراعات، کتاب و نرم افزار حاصل از انجام این پایان نامه/ رساله، متعلق به دانشگاه دامغان می‌باشد. نقل مطلب از این اثر، با رعایت مقرّرات مربوطه و ذکر منبع بلامانع است.

وزارت علوم، تحقیقات و فناوری

دانشگاه دامغان
دانشکده فیزیک

پایان‌نامه کارشناسی ارشد فیزیک (گرایش نجوم و اختر فیزیک)

مطالعه‌ی قرص‌های پیش‌سیاره‌ای خودگرانشی

به وسیله‌ی:
میلاد پاک ارجقی

استاد راهنما:
دکتر کاظم فاقعی

استاد مشاور:
دکتر مسعود جعفری

بهمن ۱۳۹۲

به نام خدا

مطالعه‌ی قرص‌های پیش‌سیاره‌ای خودگرانشی

به وسیله‌ی:

میلاد پاک ارجقی

پایان‌نامه

ارائه شده به تحصیلات تکمیلی دانشگاه به عنوان بخشی از فعالیت‌های تحصیلی لازم
برای اخذ درجه کارشناسی ارشد

در رشته‌ی:

فیزیک (گرایش نجوم و اختر فیزیک)

از دانشگاه دامغان

ارزیابی و تأیید شده توسط کمیته پایان‌نامه با **درجه:** .....

دکتر کاظم فاقعی استادیار رشته و گرایش نجوم و اخترفیزیک دانشگاه دامغان (استاد راهنما)

دکتر مسعود جعفری استادیار رشته و گرایش نجوم و اخترفیزیک دانشگاه دامغان (استاد مشاور)

دکتر خداداد کوکبی استادیار رشته و گرایش نجوم و اخترفیزیک دانشگاه دامغان (داور اول)

دکتر مطهره محمدپور استادیار رشته و گرایش نجوم و اخترفیزیک دانشگاه دامغان (داور دوم)

دکتر حسین چراغچی استادیار رشته و گرایش فیزیک حالت جامد دانشگاه دامغان (نماینده تحصیلات تکمیلی)

بهمن ۱۳۹۲

تقدیم به

دستان زحمت کش پدرم و دامان پر مهر مادرم

سپاسگزاری

اینک در پایان این مسیر، شاکر پروردگاری، هستم که در طول این راه همواره یاری ام نمود؛ خدایی که نعمت هایش قابل شمارش نیست و باران الطافش، همواره بر مسیر زندگی ام باریده است.

ای آنکه زنده از نفس توست جان من
آن دم که با توام، همه عالم ازان من

و سپاسگزار پدر و مادر عزیزم، هستم که همیشه از کنار غفلت هایم گذشته اند و در تمام عرصه های زندگی، همراه و پشتیبان من بوده اند و خواهر مهربان و برادر عزیزم که وجودشان گرمابخش زندگی ام، هستند.

و با تقدیر و تشکر فراوان از استاد راهنمای گرانقدر، جناب آقای دکتر فاقعی که در تمامی مراحل این پژوهش، همواره راه گشا و راهنمای من بوده اند.

چکیده

مطالعه‌ی قرص‌های پیش‌سیاره‌ای خودگرانشی

به وسیله‌ی:
میلاد پاک ارجقی

اهمیت سرمایش در ساختار و تحول قرص‌های برافزایشی خودگرانش از طریق شبیه‌سازی‌های مستقیم عددی مورد تأیید قرار گرفته است. ما در این پژوهش یک مطالعه‌ی دو بعدی بر روی قرص‌های برافزایشی خودگرانشی را برای بررسی اثرات آهنگ سرمایش در ساختار این قبیل از قرص‌های برافزایشی ارائه می‌دهیم. این قرص با استفاده از یک توصیف پارامتری ساده‌ی $(de/dt)_{cool} = -e/\tau_{cool}$ مربوط به تابع سرمایش، سرد می‌شود که e انرژی داخلی و τ_{cool} مقیاس زمانی سرمایش است. مقیاس زمانی سرمایش در واحد مقیاس زمانی دینامیکی ($\tau_{dyn}[= \Omega^{-1}]$) به صورت $\Omega\tau_{cool} = \beta$ است که β یک پارامتر آزاد است. فرض می‌شود که سازوکار اتلاف انرژی در قرص ناشی از تلاطم وشکسان باشد و برای ضریب سینماتیکی وشکسانی دستورالعمل α اعمال می‌شود. برای مطالعه‌ی پایداری گرانشی قرص خودگرانشی از پارامتر تومره استفاده می‌کنیم. برای به‌دست آوردن وابستگی عرضی متغیرهای فیزیکی، وابستگی شعاعی متغیرهای فیزیکی را از طریق استفاده از روش خودمشابهی و حل عددی معادلات به‌دست آوردیم. جواب‌ها نشان می‌دهد که سرعت شعاعی قرص برافزایشی در تمام شعاع‌ها زیر کپلری است؛ به هر حال این قرص وابسته به مقدار پارامترهای α و β است و تنها در مناطق نزدیک به صفحه‌ی استوایی، حتی می‌تواند به صورت ابر کپلری هم دوران کند. ضخامت قرص با افزایش مقدار هر دو پارامتر α و β، افزایش می‌یابد، به دلیل این‌که باعث افزایش دمای گاز شده و در نتیجه نیروی عمودی گرادیان فشار افزایش می‌یابد. وابستگی چگالی گاز به پارامترهای α و β، دو منطقه را در قرص برافزایشی مشخص می‌کند. در منطقه‌ی اول ($۸۵^\circ \lesssim \theta \lesssim ۹۵^\circ$) با اضافه کردن این پارامترها، چگالی جرمی کاهش می‌یابد. اما در منطقه‌ی دوم، در نواحی با عرض جغرافیایی بالاتر ($\theta \lesssim ۸۵^\circ$ و $\theta \gtrsim ۹۵^\circ$)، چگالی جرمی با مقادیر پارامترهای α و β افزایش می‌یابد.

فهرست مطالب

فهرست مطالب ه

فهرست شکل‌ها ز

۱ مقدمه‌ای بر قرص‌های برافزایشی ۳

۱-۱ مقدمه ۳

۱-۲ اهمیت قرص‌های برافزایشی در چیست؟ ۴

۱-۳ مفهوم برافزایش ۶

۱-۴ انواع قرص‌های بر افزایشی از نظر شکل هندسی ۸

۱-۵ انواع قرص‌های برافزایشی در اخترفیزیک ۱۲

۱-۵-۱ قرص‌های اطراف هسته‌های فعال کهکشانی ۱۲

۱-۵-۲ قرص‌های اطراف ستارگان دوتایی ۱۶

۱-۵-۳ قرص‌های پیش سیاره‌ای ۲۰

۱-۵-۴ دیگر قرص‌های اخترفیزیکی ۳۲

۱-۶ مسئله‌ی وشکسانی ۳۴

۱-۶-۱ مفهوم وشکسانی ۳۴

۱-۶-۲ مدل شاکورا و سونیائف (توصیف α) ۳۵

۱-۷ انتقال اندازه حرکت زاویه‌ای ۳۶

۱-۷-۱ ناپایداری گرانشی ۳۹

۱-۷-۲ ناپایداری مغناطوچرخشی ۴۱

۱-۷-۳ ناپایداری کژفشار وگردابه‌ها ۴۲
۱-۷-۴ همرفت حرارتی ۴۶
۱-۸ تحول قرص سیاره‌ای ۴۷

۲ قرص‌های پیش سیاره‌ای خودگرانش در حضور تابع سرمایش ۴۹
۲-۱ مقدمه ۴۹
۲-۲ معادلات اساسی ۵۱
۲-۲-۱ معادله پیوستگی ۵۲
۲-۲-۲ معادله اندازه حرکت ۵۳
۲-۲-۳ معادله‌ی انرژی ۵۴
۲-۲-۴ معادله پواسون ۵۵
۲-۳ بدون بعد سازی ۵۶
۲-۳-۱ معادله اندازه حرکت ۵۶
۲-۳-۲ معادله‌ی انرژی ۵۹
۲-۳-۳ معادله پواسون ۶۰
۲-۳-۴ پارامتر تومره (Q) ۶۱
۲-۴ راه حل خودمشابهی ۶۳
۲-۴-۱ پارامتر تومره (Q) تحت تبدیل خود مشابهی ۷۲
۲-۴-۲ دمای سیستم ۷۴

۳ حل عددی و بررسی نتایج ۷۵
۳-۱ مقدمه ۷۵
۳-۲ بررسی نمودارها ۷۷
۳-۲-۱ رفتار متغیرهای سیستم برحسب تغییرات پارامتر سرمایش گامی (β) . . ۷۷
۳-۲-۲ رفتار متغیرهای سیستم برحسب تغییرات پارامتر وشکسانی (α) ۸۲
۳-۲-۳ رفتار متغیرهای سیستم برحسب تغییرات پارامتر تومره Q ۸۷

۴ خلاصه و نتیجه گیری ۸۹

مراجع ۹۱

فهرست شکل‌ها

۱-۱ هسته فعال در کهکشان مارپیچی Markarian۸۱۷ . . . . . ۵
۱-۲ قرص پیش سیاره‌ای در سحابی جبار ۶
۱-۳ نحوه‌ی حرکت مواد در قرص ۷
۱-۴ اجزای مختلف کهکشان راه شیری. ۸
۱-۵ قرص نازک کهکشان M۱۰۴. . . . . ۱۰
۱-۶ کهکشان NGC۷۷۴۲ یک سیفرت نوع ۲ . . . . . ۱۳
۱-۷ کهکشان رادیویی دجاجهA ۱۴
۱-۸ جت‌های رادیویی و گاز و گرد غبار قرص NGC۴۲۶۱ . . . . . ۱۵
۱-۹ دو ستاره که به طور گرانشی مقید هستند و به دور مرکز جرم مشترک خود در حال گردش هستند ۱۶
۱-۱۰ نگاره‌ای از انواع سیستم‌های دوتایی تماسی ۱۹
۱-۱۱ طرحی کلی از دوتایی پرتوایکس ۲۰
۱-۱۲ طرحی کلی از مراحل تشکیل یک ستاره ۲۲
۱-۱۳ ساختاری کلی از پخش دوقطبه ۲۴
۱-۱۴ ساختاری کلی از نحوه تکه‌تکه شدن ۲۵
۱-۱۵ ساختاری کلی از سه مرحله‌ی اصلی در طول زندگی یک قرص پیش سیاره‌ای ۲۸
۱-۱۶ ساختاری کلی از ابرهای چرخشی تا شکل‌گیری یک قرص ۲۹
۱-۱۷ انتشار بیش‌ازحد مادون‌قرمز در ستاره تی تاوری به دلیل ساختار قرص‌های خود دیده می‌شود. ۳۰

۱-۱۸ نمایی از تبخیر فوتونی در قرص ۳۲
۱-۱۹ کهکشان مارپیچی M۸۳ . . . . . ۳۳
۱-۲۰ سیاره زحل ۳۳
۱-۲۱ ساختاری کلی از قرص پیش سیاره‌ای به همراه نمایش منطقه مرده ۳۹
۱-۲۲ ساختاری کلی از گردابه‌ها ۴۵

۳-۱ تغییر فشار سیستم با تغییرات مقدار پارامتر سرمایش گامی (β). ۷۸
۳-۲ تغییر چگالی جرمی سیستم با تغییرات مقدار پارامتر سرمایش گامی (β). ۷۹
۳-۳ تغییر دما(سرعت صوت) سیستم با تغییرات مقدار پارامتر سرمایش گامی (β). . . . ۸۰
۳-۴ تغییر سرعت سمتی سیستم با تغییرات مقدار پارامتر سرمایش گامی (β). ۸۱
۳-۵ تغییر سرعت شعاعی سیستم با تغییرات مقدار پارامتر سرمایش گامی (β). ۸۱
۳-۶ تغییر فشار سیستم با تغییرات مقدار پارامتر وشکسانی شاکورا و سونیائف (α). . . . ۸۳
۳-۷ تغییر چگالی جرمی سیستم با تغییرات مقدار پارامتر وشکسانی شاکورا و سونیائف (α). ۸۴
۳-۸ تغییر دما(سرعت صوت) سیستم با تغییرات مقدار پارامتر وشکسانی شاکورا و سونیائف (α). ۸۵
۳-۹ تغییر سرعت سمتی سیستم با تغییرات مقدار پارامتر وشکسانی شاکورا و سونیائف (α). ۸۵
۳-۱۰ تغییر سرعت شعاعی سیستم با تغییرات مقدار پارامتر وشکسانی شاکورا و سونیائف (α). ۸۶
۳-۱۱ رفتار متغیر Q با تغییرات مقدار پارامتر سرمایش گامی (β) ۸۷
۳-۱۲ رفتار متغیر Q با تغییرات مقدار پارامتر وشکسانی (α). ۸۸

پیشگفتار

شکل‌گیری سیارات و منظومه شمسی یکی از سؤالات اساسی در نجوم مدرن است و به همین دلیل است که این سؤال که یک سؤال اساسی درباره منشأ خودِ ما است، در طی قرون و اعصار گذشته مطرح بوده است. ما نمی‌توانیم امید داشته باشیم که چگونگی تکامل زندگی بر روی زمین را به طور کامل درک کنیم، اگر ندانیم که چگونه خود زمین شکل گرفته است. در طول این پژوهش مدارک بسیاری پیداکرده‌ایم که به ما برای درک یک تصویر کلی از فرآیند شکل‌گیری سیاره کمک می‌کند و همچنین تعدادی از محدودیت‌هایی که هر مدل تشکیل سیارات باید قادر به توضیح و مقابله با آن باشد. همین‌طور برای سیارات منظومه شمسی خودمان، ما در حال حاضر از صدها سیاره در مدار ستاره‌های دیگر در همسایگی خورشیدمان شناخت داریم. فرض می‌کنیم که منظومه شمسی ما به لحاظ کیهانی در موقعیت ویژه‌ای نباشد، یک الگوی عمومی شکل‌گیری سیارات باید به خوبی بتواند در درک شکل‌گیری سیارات فرا خورشیدی نیز به ما کمک کند.

قرص‌های پیش سیاره‌ای جلوه‌ی مشاهداتی از شرایط اولیه‌ی تشکیل سیارات هستند. این قرص‌ها را می‌توان به‌صورت ساختارهایی متعادل از گاز (به طور یکنواخت حاوی گردوغبار) در حال دوران که ستاره‌های جوان و به طور معمول پیش رشته اصلی را احاطه کرده‌اند تعریف کرد. اگرچه اغلب قرص‌های مشاهده‌شده اجرام اثبات‌شده‌ای دارند که کسر کوچکی از جرم ستاره‌ای است، اما هیچ تفاوت معناداری بین فرآیندهای فیزیکی در قرص‌های پیش سیاره‌ای[1] و فرآیندهایی که پیش از آن در فاز پیش ستاره‌ای[2] رخ می‌دهند که در هر دو آن‌ها قرص و ستاره به‌سرعت در حال بر افزایش هستند، نمی‌توان متصور شد. به طور مشابه، یک مجموعه از فرآیندهای مشترک، البته در درجات

[1] Protoplanetary disks

[2] Protostellar

مختلف، در قرص‌های اطراف کوتوله‌های قهوه‌ای، ستاره‌های تی تاوری[۳] کلاسیک (ستاره‌های پیش رشته‌ی اصلی کم جرم که به‌طورفعال در حال برافزایش هستند) و ستاره‌های پرجرم، عمل می‌کنند. یک علامت‌گذاری واضح قرص‌های پیش سیاره‌ای را از دیگر قرص‌ها تفکیک می‌کند؛ ساختارهای گازی گردوخاکی ناچیز در اطراف ستاره‌های پیرتر که خواص تکامل برخورد مجموعه‌ای از اجسام کوچک را منعکس می‌کند [۱].

قرص‌های پیش سیاره‌ای در اطراف ستاره‌های کم جرم پایدار هستند. این تحول آهسته به علت پایستگی اندازه حرکت زاویه‌ای است؛ قرص‌های پیش سیاره‌ای شاره‌هایی با ساختار نسبتاً پایدار هستند که تحت عمل فرآیندهای انتقال اندازه حرکت زاویه‌ای، سقوط جرم و بادهای قرص نسبتاً آهسته تکامل می‌یابند. این عوامل هم تکامل دوره‌ای و هم رفتار طغیانی در قرص‌های پیش سیاره‌ای مشاهده‌شده را کنترل می‌کنند و به طور کلی سرتاسر محیطی که در آن شکل‌گیری سیاره رخ می‌دهد را تعیین می‌کنند: جرم و زمان موجود برای تشکیل غول گازی، سرعت انتقال و غیره. علاوه‌براین در بسیاری از مدل‌ها، تکامل قرص به حضور تلاطم در داخل قرص گازی مرتبط است و قدرت و ماهیت تلاطم، رشد ذرات جامد را در طول نخستین مراحل شکل‌گیری سیارات کنترل می‌کند (برای بررسی بیشتر، به مرجع شماره‌ی [۲] مراجعه شود).

یک مدل عمومی برای تحول قرص‌های پیش سیاره‌ای بر اساس نظریه‌ی قرص‌های برافزایشی نازک است که توسط لیندن‌بل[۴] و پرینگل[۵] در سال ۱۹۷۴ ارائه شد و مدت زیادی سودمند بود، اما این مدل در پیش‌بینی خصوصیات دقیق از سازوکار انتقال اندازه حرکت زاویه‌ای و فرآیندهای کاهش جرم دارای نقطه ضعف‌هایی بود [۳]. این مدل مدت زمان زیادی را به خود اختصاص داد و نهایتاً از کار افتاد. اما در حال حاضر پیشرفت‌های قابل توجهی در درک انتقال اندازه‌حرکت زاویه ای و سازوکارهای کاهش جرم صورت گرفته است.

در این پژوهش قرص‌های پیش سیاره‌ای خودگرانش را مورد بررسی قرار می‌دهیم. سپس با در نظر گرفتن تابع سرمایش رفتار قرص را مورد مطالعه قرار می‌دهیم.

---

[۳] T Tauri

[۴] Lynden-Bell

[۵] Pringle

فصل ۱

مقدمه‌ای بر قرص‌های برافزایشی

۱-۱ مقدمه

شناخت ما از ماهیت بسیاری از اجرام نجومی، به‌ویژه طی چند دهه‌ی اخیر، تحولات شگرفی را پشت سر گذاشته است. امروزه به یاری ابزار ساخته‌شده توسط بشر، به‌ویژه تلسکوپ‌های غول‌پیکر می‌توانیم اطلاعات با ارزشی در طول‌موج‌های مختلف از این اجرام و پدیده‌های کیهانی به‌دست آوریم؛ از سوی دیگر، ظهور رایانه‌ها (و ابررایانه‌ها) این امکان را فراهم کرده است تا به شبیه‌سازی آن چه که در عالم می‌بینیم، بپردازیم. در میانه‌ی قرن گذشته، هیچ‌کدام از این‌ها نه تنها مقدور نبوده، بلکه شاید برجسته‌ترین اختر فیزیکدانان هم نمی‌توانستند چنین تحولاتی را پیش‌بینی کنند. طبیعی است که گستره‌ی تنوع اجرام نجومی که امروزه آن‌ها را بررسی می‌کنیم، بسیار متنوع تر از چند دهه‌ی پیش باشد. اغراق نیست اگر بگوییم در گذشته‌ای نه چندان دور، اجرام نجومی به ستاره‌ها، سیاره‌ها، فضای بین آن‌ها، کهکشان‌ها و خوشه‌های ستاره‌ای و یا کهکشانی خلاصه می‌شدند؛ اما امروزه می‌دانیم که اجرام نجومی فقط محدود به این‌ها نمی‌شوند و یک گروه از این اجرام شگفت‌انگیز، قرص‌های برافزایشی[1] و به طور کلی فرآیندهای برافزایشی است که در سیستم‌های مختلف نجومی مشاهده می‌شوند. حتی کسانی که سررشته‌ای از نجوم و اخترفیزیک ندارند، اگر فقط یک بار تصویری از سیاره‌ی زحل را دیده باشند، نمی‌توانند حلقه‌ی زیبا و مسحورکننده‌ی آن را از یاد ببرند. در حقیقت، این قرص زیبا که از ذرات گرد و غبار و سنگ‌هایی در ابعاد مختلف تشکیل شده است به دور سیاره‌ی زحل در گردش است. البته در اینجا شاهد برافزایش ماده نیستیم، اما در بسیاری دیگر از سیستم‌های نجومی، مواد تشکیل‌دهنده‌ی قرص همچنان که در مدارهایی به دور جسم مرکزی (مثلاً یک ستاره) می‌گردند،

[1] Accretion Disks

به‌تدریج شعاع مدارهایشان با هر دور گردش کاهش می‌یابد تا سرانجام، مواد بر روی جسم مرکزی فرومی‌ریزند، یا همان برافزایش رخ می‌دهد. امروزه، اخترشناسان در گستره‌ی متنوعی از ساختارهای نجومی، موفق شده‌اند وجود قرص‌های برافزایشی را تأیید کنند. به‌عنوان مثال، در برخی از ستاره‌های دوتایی (به‌ویژه زمانی که یکی از مؤلفه‌های سیستم، جرمی فشرده است)، منابع دوتایی پرتو ایکس[۲]، پیش ستاره‌ها[۳]، قرص‌های پیش سیاره‌ای، اختروش‌ها[۴]، اطراف سیاه‌چاله‌ی ابرپرجرم [۵]در مرکز کهکشان خودمان و هسته‌های فعال کهکشانی[۶] به‌طورقطع فرآیندهای برافزایشی اتفاق می‌افتند. جالب اینجاست که برافزایش الزاماً از طریق ساختاری قرص گونه صورت نمی‌گیرد و تحت شرایطی ممکن است مواد در حال برافزایش، ساختاری شبه کروی را تشکیل دهند [۴].

۱-۲ اهمیت قرص‌های برافزایشی در چیست؟

در قرن نوزدهم، فیزیکدانان گرانش را محتمل‌ترین منبع انرژی برای اجرام آسمانی می‌دانستند، اما در این میان یک مشکل نقش اساسی را بازی می‌کرد و آن هم مسئله‌ی طول عمر خورشید بود. داده‌های زمین‌شناسی عمر خورشید را در حدود ۴/۵ میلیارد سال تخمین می‌زنند و این در حالی است که اگر تنها منبع انرژی گرانش می‌بود خورشید عمری به‌مراتب کوتاه‌تر داشت. پس باید منبع دیگری از انرژی وجود داشته باشد که بتواند این طول عمر در اجرام آسمانی و به‌خصوص در خورشید را توجیه کند. در قرن ۲۰ انرژی حاصل از همجوشی هسته‌ای را دلیل این عامل دانستند. حال آنکه در قرن ۲۱ این گرانش بود که برای اجرام تابنده در گیتی که منابع انرژی هسته‌ای برای آن‌ها ناکافی بود، نقش اساسی را در تأمین انرژی بازی می‌کرد [۵]. هنگامی‌که برافزایش رخ می‌دهد، مقادیر زیادی انرژی در بازه‌های مختلف انرژی آزاد می‌شود که تابش گسیلی آن، با تلسکوپ‌های نوری و یا غیر نوری قابل آشکارسازی است. میزان انرژی آزادشده، گاهی به‌اندازه‌ای است که می‌توان نتیجه گرفت که همان قرص برافزایشی، موتور محرکه‌ی سیستم نجومی مورد نظر است. به‌عنوان مثال، در هسته‌های فعال کهکشانی شاهد چنین وضعیتی هستیم (مثلاً شکل ۱-۱)؛ بنابراین هر نوع اطلاعاتی که از تابش گسیلی از قرص‌های برافزایشی چنین سیستم‌هایی به‌دست آوریم به شناخت ما کمک شایانی خواهند کرد؛ اما گاهی اوقات نیز قرص‌های برافزایشی به طور مستقیم منبع غنی اطلاعات هستند. به‌عنوان مثال، اگر

[۲] Binary X-ray sources

[۳] Protostellar Disks

[۴] Quasars

[۵] Super Massive Black Hole

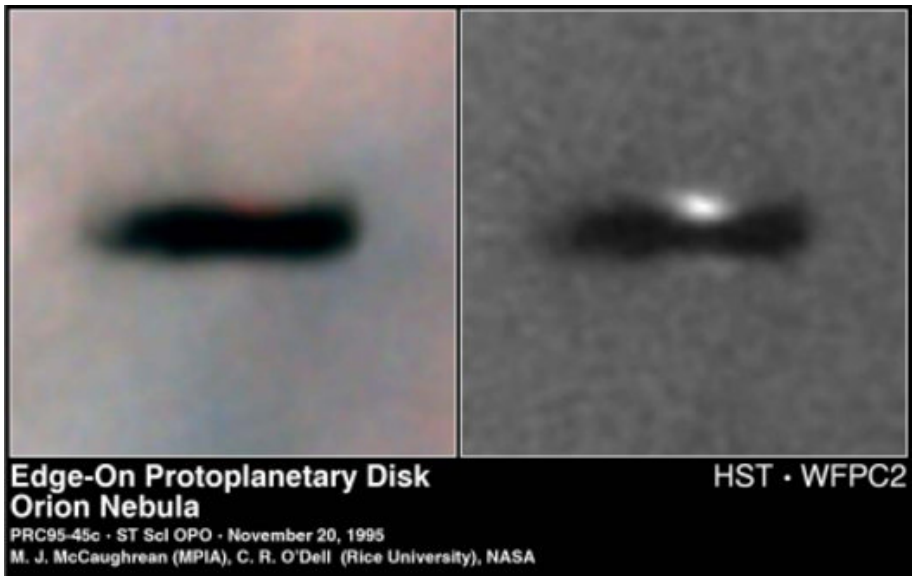
[۶] AGNs

شکل **۱-۱**: هسته فعال در کهکشان مارپیچی Markarian817 [۶]

بخواهیم سیاهچاله‌ای را بررسی کنیم، یکی از ابزارهای مهم، تأثیراتی است که می‌تواند در ساختار قرص برافزایشی اطرافش داشته باشد و بررسی این تأثیرات، ما را به درک بهتری از سیاهچاله‌ها می‌رساند. بیشتر ستاره‌ها، در مرحله‌ای پیش از تولدشان دارای قرص برافزایشی بوده‌اند. هر یک از این توده‌ها به‌تدریج تحت تأثیر جاذبه‌ی گرانشی‌شان رمبش میکنند و نه‌تنها توده‌ای متراکم‌تر در مرکز آن‌ها شکل می‌گیرد، بلکه ساختار شبه کروی نخستین آن‌ها، به قرص عظیمی از گاز پیرامون جسم مرکزی، تحول می‌یابد. جسم مرکزی سرانجام به ستاره‌ای جوان تبدیل می‌شود و مواد قرص اطرافش، طی فرآیندهای برافزایشی، به روی جسم مرکزی می‌ریزند. البته ممکن است این قرص، تکه‌تکه شود و سیاره‌هایی نیز شکل بگیرند. طبیعی است که خصوصیات نهایی ستاره‌ی مرکزی و حتی سیاره‌های احتمالی اطراف آن، همه متأثر از فرآیندهای برافزایشی خواهند بود. این موضوع اهمیت بررسی فرآیندهای برافزایشی را بیشتر می‌کند، زیرا اگر به دنبال سیارات فرا خورشیدی هستیم، شناخت قرص‌های برافزایشی پیرامون ستاره‌های جوان به ما می‌آموزد که سیارات چگونه شکل می‌گیرند.

پس به طور کلی اهمیت قرص‌های برافزایشی:

- اول به دلیل انرژی این سیستم‌ها بود. چرا که منابع انرژی در اجرام آسمانی از طریق فرآیندهای برافزایشی تأمین می‌شود.



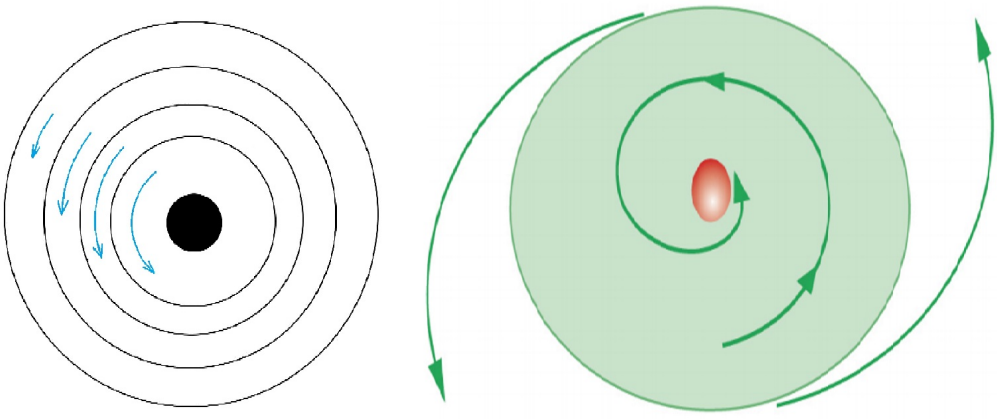
شکل **۱-۲**: قرص پیش سیاره‌ای در سحابی جبار [۷]

- دوم آنکه این فرآیند که خود جزو اسرار عالم است باعث شناخت دیگر اسرار عالم از جمله سیاه‌چاله‌ها، اختروش‌ها و... می‌شود.
- سوم آنکه فرآیند برافزایش خود عامل تشکیل اجرام نجومی از جمله ستاره و سیاره است. پس اگر به دنبال سیارات فراخورشیدی هستیم، شناخت قرص‌های برافزایشی پیرامون ستاره‌های جوان به ما می‌آموزد که سیارات چگونه شکل می‌گیرند (برای مثال قرص پیش سیاره‌ای در سحابی جبار که در شکل **۱-۲** دیده می‌شود، می‌تواند محلی برای تولد سیارات فراخورشیدی باشد).

۱-۳ مفهوم برافزایش

تا اینجا تلاش کردیم تا یک تعریف کلی از از برافزایش ارائه دهیم و جایگاه و اهمیت فرآیندهای برافزایشی را در میان اجرام شگفت‌انگیز آسمانی مورد مطالعه قرار دادیم. اما سؤالی که در ذهن خواننده باقی است و هنوز به‌صورت مفصل درباره‌ی آن بحث نشده است، مفهوم برافزایش و اینکه فرآیند برافزایش چگونه فرآیندی است؟

اصول برافزایش در واقع به داستانی معروف و قابل‌لمس برای همگان بازمی‌گردد. آنجا که در اطراف یک جرم سنگین مدارهایی متصور می‌شویم و اجرام با انرژی خاص می‌توانند بر روی این مدارها قرار گیرند، مثل داستان زمین و ماه و بعدها داستان زمین و ماهواره که آنچه از فیزیک می‌دانیم آن است

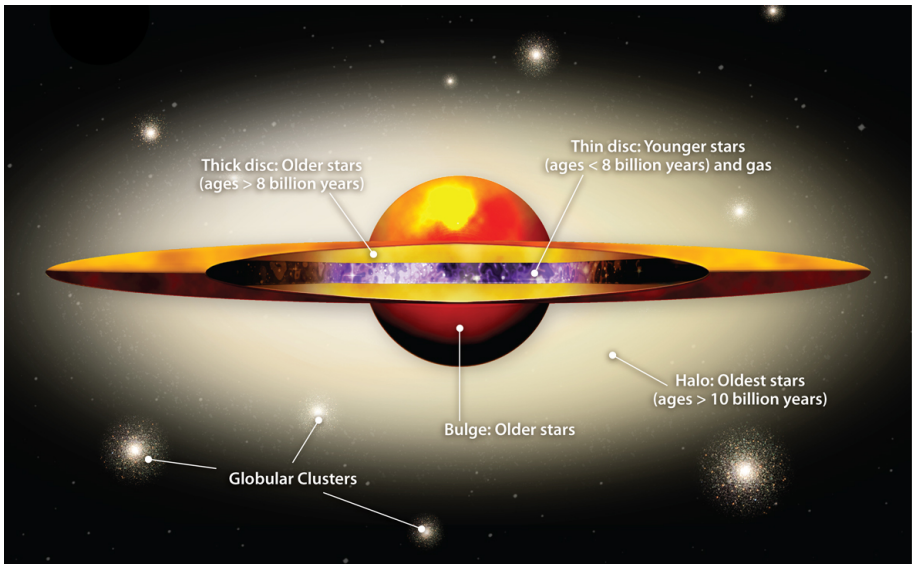


شکل **۱-۳**: نحوه‌ی حرکت مواد در قرص

که اجرام براثر از دست دادن اندازه حرکت زاویه‌ای به مدارهای پایین‌تر آمده و سرانجام بر روی جرم مرکزی رمبش می‌کنند.

همان طور که گفتیم، آهنگ دورانی قرص‌های برافزایشی تقریباً به‌صورت کپلری است. بنابراین، قرص دارای چرخشی جزئی است و سرعت چرخش هر ناحیه از آن به دور جسم مرکزی، به فاصله‌اش از آن بستگی دارد. اگر قرص چرخش جزئی نداشت، مانند یک جسم صلب می‌چرخید؛ یعنی همه‌ی نقاط آن با آهنگ یکسانی مستقل از فاصله‌ای که از جسم مرکزی دارند، می‌چرخیدند؛ اما در چرخش کپلری، لایه‌های درونی سریع تر از لایه‌های بیرونی می‌چرخند (همان‌گونه که در قسمت چپ شکل **۱-۳** دیده می‌شود)؛ بنابراین، گویی لغزشی مداوم بین لایه‌های کنار هم وجود دارد. اصطکاک ناشی از این لغزش می‌تواند به گرما تبدیل شود و این پدیده می‌تواند خاستگاه تولید انرژی و تابش در قرص‌های برافزایشی و عامل اصلی کاهش تکانه‌ی زاویه‌ای مواد قرص باشد. اگر این سازوکار وجود نداشت، انرژی دورانی کل قرص که در برهم‌کنش گرانشی‌اش با جسم مرکزی تأمین شده بود، تغییر نمی‌کرد و پایسته باقی می‌ماند؛ اما دوران جزئی به اصطکاک بین لایه‌ها و در نهایت اتلاف انرژی کل و تولید گرما می‌انجامد. مواد تشکیل‌دهنده‌ی قرص همچنان که در مدارهایی به دور جسم مرکزی می‌گردند، به‌تدریج شعاع مدارهایشان با هر دور گردش کاهش می‌یابد تا سرانجام، مواد بر روی جسم مرکزی فرومی‌ریزند، یا همان برافزایش رخ می‌دهد (همان‌گونه که در قسمت راست شکل **۱-۳** دیده می‌شود).

اتلاف انرژی؟ کاهش تکانه‌ی زاویه‌ای؟ این اتلاف و کاهش تکانه‌ی زاویه‌ای از کجا ناشی می‌شود؟ در بخش ۱-۶ به علل این رویداد در قرص‌ها خواهیم پرداخت.



شکل **۱-۴**: اجزای مختلف کهکشان راه شیری. قرص ضخیم کاملاً ستاره‌ای در قیاس با قرص نازک، غنی از گاز و باریک است [۹].

۱-۴ انواع قرص‌های بر افزایشی از نظر شکل هندسی

قرص‌های برافزایشی را به طرق مختلف دسته‌بندی می‌کنند. یکی از این روش‌های دسته‌بندی، دسته‌بندی قرص‌های بر افزایشی از نظر شکل هندسی آن‌هاست. بدین ترتیب دو دسته قرص را خواهیم داشت:

۱- قرص‌های نازک[۷]

۲- قرص‌های ضخیم[۸]

در شکل **۱-۴** یک مقایسه از شکل کلی این دو قرص دیده می‌شود.

۱- قرص‌های نازک

یک مدل عمومی برای تحول قرص‌های پیش سیاره‌ای بر اساس نظریه‌ی قرص‌های برافزایشی نازک است که توسط لیندن‌بل و پرینگل در سال ۱۹۷۴ ارائه شد و مدت زیادی مفید واقع شد، اما این مدل در پیش‌بینی خصوصیات دقیق از سازوکار انتقال اندازه حرکت زاویه‌ای و فرآیندهای کاهش جرم دارای نقطه ضعف‌هایی بود [۳]. این مدل مدت زمان زیادی را به خود اختصاص داد و نهایتاً از کار افتاد. اما در حال حاضر پیشرفت‌های قابل توجهی در درک انتقال اندازه‌حرکت زاویه ای و سازوکارهای

[۷] Thin disk

[۸] Thick disk