وزارت علوم، تحقیقات و فناوری
دانشگاه دامغان
دانشکده فیزیک

پایان‌نامه کارشناسی ارشد
فیزیک (گرایش نجوم و اخترفیزیک)

اثر رسانش گرمایی بر جریان های برافزایشی وشکسان و مقاومتی در حضور میدان مغناطیسی چنبره ای

به وسیله‌ی:
بهزاد صالحی نژاد فرد

استاد راهنما:
دکتر کاظم فاقعی

بهمن ۱۳۹۱

بسم الله الرحمن الرحیم

به نام خدا

اثر رسانش گرمایی بر جریان های برافزایشی وشکسان و مقاومتی در حضور میدان مغناطیسی چنبره ای

به وسیله‌ی:

بهزاد صالحی نژاد فرد

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 اخترفیزیک)

از دانشگاه دامغان

ارزیابی و تأیید شده توسط کمیته پایان‌نامه با درجه: بسیار خوب

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

دکتر محسن نژاد اصغر دانشیار رشته فیزیک، گرایش نجوم و اخترفیزیک، دانشکده فیزیک، دانشگاه مازندران (داور اول)

دکتر مسعود جعفری استادیار رشته فیزیک، گرایش نجوم و اخترفیزیک، دانشکده فیزیک، دانشگاه دامغان (داور دوم)

دکتر مهدی اردیانیان استادیار رشته فیزیک، گرایش ماده چگال، دانشکده فیزیک، دانشگاه دامغان (نماینده تحصیلات تکمیلی)

بهمن ۱۳۹۱

تقدیم به

تقدیم به

سپاسگزاری

سپاسگزاری می‌کنم از

چکیده

اثر رسانش گرمایی بر جریان های برافزایشی وشکسان و مقاومتی در حضور میدان مغناطیسی چنبره ای

به وسیله‌ی:
بهزاد صالحی نژاد فرد

قصد داریم اثرات رسانش گرمایی را بر ساختار جریان های برافزایشی وشکسان و مقاومتی در حالت تحت غلبه پهن رفت مورد بررسی قرار دهیم. در این تحقیق رسانش گرمایی به شکل اشباع شده در نظر گرفته می شود. همچنین وشکسانی و مقاومت مربوط به تلاطم و وابسته به میدان مغناطیسی فرض می شوند. در این حالت ضریب سینماتیک وشکسانی و انتشار مغناطیسی ثابت نیستند. برای توصیف آن ها از مدل α استفاده کرده ایم. برای حل معادلات حاکم بر ساختار این نوع جریان ها از روش خود-مشابهی بهره می بریم. مقایسه انتقال انرژی به وسیله رسانش با دیگر سازوکارها بیانگر این مطلب است که رسانش گرمایی می تواند به عنوان سازوکاری مناسب برای انتقال انرژی در قرص های برافزایشی مغناطیسی باشد. این خاصیت توسط شبیه سازی های مغناطوهیدرودینامیکی غیر ایده ال تایید می شود.

فهرست مطالب

فهرست مطالب ه

فهرست شکل‌ها ز

۱ مقدمه ای بر قرص های برافزایشی ۱

۱-۱ مقدمه ۱

۱-۲ برافزایش به عنوان منبع انرژی ۲

۱-۳ اهمیت فرآیندهای برافزایشی ۵

۱-۳-۱ مفهوم قرص های برافزایشی ۶

۱-۴ انواع قرص های برافزایشی در اخترفیزیک ۸

۱-۴-۱ قرص های پیش سیاره ای ۹

۱-۴-۲ قرص های اطراف ستارگان دوتایی ۱۰

۱-۴-۳ قرص های اطراف هسته های فعال کهکشانی ۱۲

۱-۴-۴ دیگر قرص های اخترفیزیکی ۱۳

۱-۵ سازوکار انتقال تکانه زاویه ای و فرآیند وشکسانی ۱۵

۱-۵-۱ مدل استاندارد قرص های برافزایشی ۱۶

۱-۶ آهنگ برافزایش ادینگتون ۱۷

۱-۶-۱ وقتی آهنگ برافزایش کمتر از حد ادینگتون باشد چه رخ می دهد؟ . . . ۱۸

۱-۶-۲ فیزیک جریان های از نظر تابندگی ناکارآمد چیست؟ ۱۹

۱-۶-۳ وقتی آهنگ برافزایش بیشتر از حد ادینگتون باشد چه رخ می دهد؟ . . . ۲۱

۱-۷ اثر میدان مغناطیسی بر ساختار قرص ۲۲
۱-۷-۱ ناپایداری های مغناطوچرخشی ۲۳

۲ تعریف مسئله و معادلات اساسی **۲۵**
۲-۱ مقدمه ۲۵
۲-۲ معادلات مغناطوهیدرودینامیک ۲۷
۲-۳ معادلات اساسی ۲۹
۲-۳-۱ معادله پیوستگی ۳۰
۲-۳-۲ معادله اندازه حرکت ۳۱
۲-۳-۳ معادله انرژی ۳۳
۲-۳-۴ معادله القا ۳۵
۲-۴ راه حل های خود-مشابهی ۳۶

۳ حل عددی و بررسی نتایج **۴۵**
۳-۱ مقدمه ۴۵
۳-۲ بررسی نمودارها ۴۶
۳-۲-۱ رفتار کمیت ها بر اساس تغییر کسر فشار مغناطیسی β ۴۷
۳-۲-۲ رفتار کمیت ها بر اساس تغییر مقاومت η. ۵۱
۳-۲-۳ رفتار کمیت ها بر اساس تغییر اندیس آدیاباتیک γ ۵۴

۴ خلاصه و نتیجه گیری **۵۷**

مراجع **۵۹**

فهرست شکل‌ها

۱-۱ سیاهچاله ای فعال در مرکز کهکشان NGC۷۷۴۲ . . . . . ۲
۱-۲ اختروش RXJ۱۱۳۱ . . . . . ۳
۱-۳ نمایی از یک متغیر کاتاکلیسمیک ۵
۱-۴ برافزایش کروی ۶
۱-۵ رمبش یک ابر گازی غیرچرخان ۷
۱-۶ رمبش یک ابر گازی چرخان ۸
۱-۷ نگاره ای از شکل گیری سیارات در قرص های پیش سیاره ای ۹
۱-۸ سحابی جبار، معروف به M۴۲ . . . . . ۱۰
۱-۹ نگاره ای از قرص برافزایشی اطراف دوتایی ها ۱۱
۱-۱۰ مراحل تشکیل قرص برافزایشی در ستاره های دوتایی ۱۱
۱-۱۱ دوتایی پرتو ایکس با جرم کم ۱۲
۱-۱۲ کهکشان M۸۷ . . . . . ۱۳
۱-۱۳ کهکشان مارپیچی M۸۳ . . . . . ۱۳
۱-۱۴ سیاره زحل ۱۴
۱-۱۵ نگاره ای از یک ستاره نوع Be ۱۵
۱-۱۶ هندسه ی قرص برافزایشی نازک ۱۹
۱-۱۷ قرص برافزایشی تحت غلبه پهن رفت ۲۰
۱-۱۸ تفاوت بین برافزایش اطراف هسته فعال کهکشانی و برافزایش از لحاظ تابشی ناکارآمد ۲۱
۱-۱۹ دونات لهستانی خوراکی(سمت راست)، دونات لهستانی اخترفیزیکی(سمت چپ) . . ۲۲

۱-۲۰ نگاره ای از میدان مغناطیسی اطراف یک قرص برافزایشی ۲۳
۱-۲۱ نگاره ای سه بعدی از ناپایداری مغناطوچرخشی در یک قرص ۲۴

۳-۱ رفتار سرعت فروریزش بر اساس تغییر مقدار کسر فشار مغناطیسی β ۴۸
۳-۲ رفتار سرعت صوت بر اساس تغییر مقدار کسر فشار مغناطیسی β ۴۸
۳-۳ رفتار سرعت چرخش بر اساس تغییر مقدار کسر فشار مغناطیسی β ۴۹
۳-۴ رفتار انتقال پهن رفتی انرژی بر اساس تغییر مقدار کسر فشار مغناطیسی β ۵۰
۳-۵ رفتار سرعت فروریزش بر اساس تغییر مقدار مقاومت η. ۵۱
۳-۶ رفتار سرعت صوت بر اساس تغییر مقدار مقاومت η. ۵۲
۳-۷ رفتار سرعت چرخش بر اساس تغییر مقدار مقاومت η. ۵۲
۳-۸ رفتار انتقال پهن رفتی انرژی بر اساس تغییر مقدار مقاومت η. ۵۳
۳-۹ رفتار سرعت فروریزش بر اساس تغییر اندیس آدیاباتیک γ ۵۴
۳-۱۰ رفتار سرعت صوت بر اساس تغییر اندیس آدیاباتیک γ ۵۵
۳-۱۱ رفتار سرعت چرخش بر اساس تغییر اندیس آدیاباتیک γ ۵۶
۳-۱۲ رفتار انتقال پهن رفتی انرژی بر اساس تغییر اندیس آدیاباتیک γ ۵۶

فصل ۱

مقدمه ای بر قرص های برافزایشی

۱-۱ مقدمه

دانش ستاره شناسی، دانشی بی آغاز و بی پایان است. از گذشته تا به امروز، دانشمندان و دانش پژوهان زیادی سعی در شناخت این دانش و جهان هستی داشته اند. اما هر آنقدر که بشر در راستای شناسایی پدیده های ستاره شناسی گام برداشته، بیشتر از آنچه دری بگشاید درهای بسته به روی خود دیده است. با این حال در دهه های پیشین و با پیشرفت فن آوری و یاری گرفتن دانش از آن، پیشروی در شناخت پدیده های گوناگون شتاب روزافزونی گرفته است. یکی از پدیده هایی که مورد توجه بسیاری از ستاره شناسان بوده، قرص های برافزایشی است. این قرص ها در میانه قرن بیستم بر سر زبان ها افتاد و توسط بسیاری از دانش پژوهان مورد بررسی قرار گرفت. با وجود اینکه جنبه های فیزیکی فراوانی از این قرص ها هنوز ناشناخته است اما کماکان محور اصلی مطالعه بسیاری را شامل می شود، زیرا این قرص ها می توانند راهی برای درک بهتر اجرامی باشند که تحت احاطه آن ها هستند. به طور مثال یکی از پدیده های بسیار رازآلود دانش ستاره شناسی سیاهچاله ها[1] هستند، که علت نامگذاری آن ها نیز به همین دلیل است که هیچ اطلاعاتی از درون آن ها قابل دسترس نیست. قرص های برافزایشی می توانند در اطراف سیاهچاله ها شکل بگیرند و از طریق آن ها می توان اطلاعاتی از سیاهچاله، مانند جرم را بدست آورد. یعنی یک پدیده ی ناشناخته خود راهی برای شناخت پدیده ای ناشناخته تر می گردد !

[1] Black Holes

۱-۲ برافزایش به عنوان منبع انرژی

برای فیزیکدانان قرن ۱۹ گرانش تنها منبع انرژی قابل درک در اجرام آسمانی بود، اما گرانش برای فراهم کردن انرژی خورشید در طول عمر شناخته شده آن کافی نبود. در مقابل، در آغاز قرن ۲۱ این گرانش بود که به تابنده ترین اجسام در گیتی که برای آن ها منابع هسته ای ناکافی هستند انرژی می بخشید. اکنون استخراج انرژی پتانسیل گرانشی از موادی که روی یک جسم برافزایش[۲] می کنند، به عنوان اصلی ترین منبع نیرو در چندین نوع از سیستم های دوتایی نزدیک شناخته شده است و به طور گسترده باور بر این است که منبع نیرو در هسته های فعال کهکشانی[۳] و اختروش ها[۴] را برافزایش تامین می کند.

شکل ۱-۱: سیاهچاله ای فعال در مرکز کهکشان NGC۷۷۴۲ [۱]

[۲] Accretion

[۳] Active Galactic Nuclei

[۴] Quasars

شکل ۱-۲: اختروش RXJ۱۱۳۱ [۲]

بالا رفتن درک اهمیت برافزایش با گسترش برجسته فنون رصدی در دانش ستاره شناسی، به ویژه بهره گیری از گستره کاملی از طیف الکترومغناطیسی، از رادیویی تا اشعه ایکس و اشعه گاما همراه شد. در همان زمان، با کشف تپ اخترها[۵] و سیاهچاله ها از وجود اجسام فشرده پرده برداشته شد. بنابراین نقش جدیدی برای گرانش به وجود آمد، زیرا برافزایش روی اجسام فشرده یک سازوکار قدرتمند و طبیعی برای تولید تابش با انرژی بالاست.

برای اجسامی به جرم M و شعاع R_* انرژی پتانسیل گرانشی آزاد شده توسط برافزایش یک جرم m روی سطح برابر است با:

$$\Delta E_{acc} = GMm/R_* \qquad (۱.۱)$$

[۵] Pulsars

که G ثابت گرانش است. اگر جسم در حال برافزایش یک ستاره نوترونی[۶] با شعاع ۱۰ کیلومتر و جرمی در حدود جرم خورشید باشد، در نتیجه ΔE_{acc} بدست آمده به ازای هر گرم از جرم برافزایش شده حدود $۱۰^{۲۰}$ ارگ[۷] است. انتظار می رود در نهایت این انرژی بیشتر به شکل تابش الکترومغناطیسی آزاد شود. برای مقایسه، انرژی که از جرم m توسط واکنش های همجوشی هسته ای می تواند استخراج شود در نظر بگیرید. اگر ماده در ابتدا هیدروژن باشد، سهم اصلی انرژی آزاد شده، از سوختن هیدورژن و تبدیل آن به هلیوم بدست می آید که برابرست با:

$$\Delta E_{nuc} = ۰/۰۰۷mc^{۲} \qquad (۲.۱)$$

که در آن c سرعت نور است. پس در این مورد این انرژی در حدود $۶ \times ۱۰^{۱۸}\frac{erg}{g}$ یا یک بیستم انرژی حاصل از برافزایش بدست می آید.

از معادله (۱.۱) مشخص است که کارآمدی برافزایش به عنوان یک سازوکار آزاد سازی انرژی به شدت وابسته به فشردگی جسم برافزاینده می باشد؛ بنابراین برای نسبت $\frac{M}{R_*}$ بزرگتر، کارآمدی بیشتر را انتظار داریم. بنابراین برای برقراری فرآیند برافزایش مستلزم در نظر گرفتن ستاره های نوترونی با شعاع $(R_* \sim ۱۰km)$ و یا سیاهچاله هایی با شعاع $R_* \sim ۲GM/c^{۲} \sim ۳(M/M_\odot)km$ هستیم. برای کوتوله های سفیدی[۸] با جرم در حدود جرم خورشید و شعاع $۱۰^{۹}cm$، سوخت هسته ای با فاکتور ۲۰ تا ۲۵ مرتبه کارآمدتر از برافزایش است. البته این بدان معنا نیست که برافزایش در کوتوله های سفید برای مشاهدات اهمیت زیادی ندارد. وقتی گداخت هسته ای در سطح یک کوتوله سفید اتفاق می افتد، رویدادی با درخشندگی زیاد اما در مدت زمانی کوتاه به نام نواختر[۹] رخ می دهد، که در آن سوخت هسته ای موجود به سرعت مصرف می شود. سیستم های دوتایی که در آن ها یک کوتوله سفید از یک ستاره همدم[۱۰] برافزایش می کند به نام متغیرهای کاتاکلیسمیک[۱۱] شناخته شده اند. اهمیت آن ها از این حقیقت ناشی می شود که آن ها بهترین فرصت را برای مطالعه جداگانه فرآیند برافزایش وقتی که دیگر منابع تابندگی به ویژه ستاره همدم نسبتا بی اهمیت هستند فراهم می کنند.

برای برافزایش روی یک ستاره معمولی با فشردگی کمتر مثل خورشید، معیار برافزایش با یک عامل چندین هزارتایی کوچکتر از معیار پتانسیل هسته ای است. پس حتی برافزایش روی چنین ستارگانی

---

[۶] Neutron Star

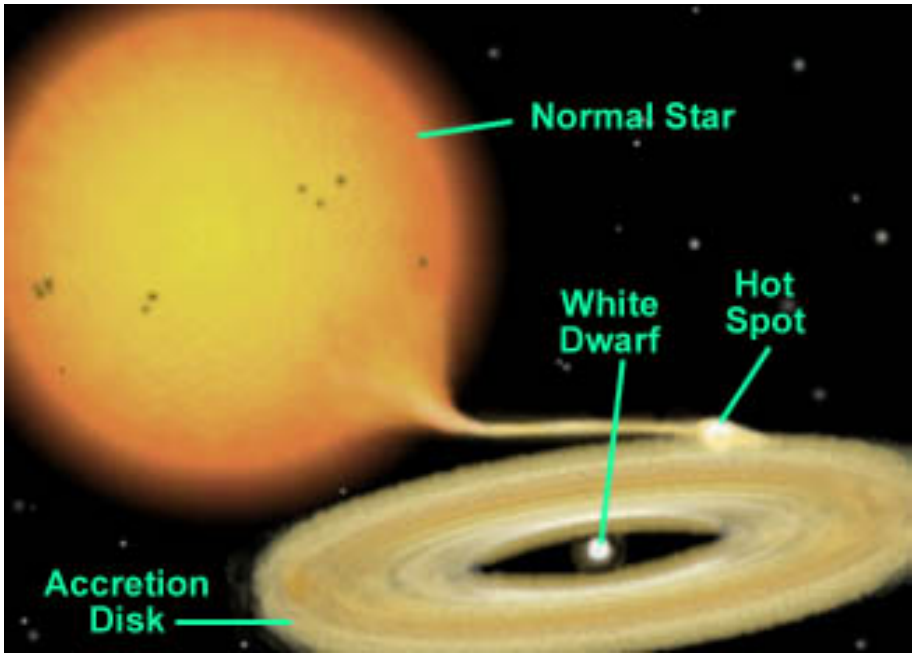
[۷] Erg

[۸] White Dwarfs

[۹] Nova

[۱۰] Companion Star

[۱۱] Cataclysmic Variables



شکل ۱-۳: نمایی از یک متغیر کاتاکلیسمیک [۳]

می تواند از نظر مشاهداتی مهم باشد. برای مثال یک سیستم دوتایی شامل یک ستاره رشته اصلی در حال برافزایش به عنوان یک مدل برای چنین ستارگانی پیشنهاد می شود.

برای یک معیار فشردگی ثابت، $\frac{M}{R_*}$ ، تابندگی یک سیستم برافزاینده، وابسته به آهنگ $\dot{M}$ است که ماده با آن برافزایش می کند. در تابندگی های زیاد، آهنگ برافزایش می تواند توسط تکانه انتقال یافته از تابش به مواد در حال برافزایش، بوسیله پراکندگی یا جذب کنترل شود. این می تواند منجر به پدیدار شدن یک بیشینه تابندگی برای یک جرم معین شود که به عنوان تابندگی ادینگتون[۱۲] معروف است [۴]. درباره این تابندگی در بخش۶-۱ بحث خواهیم نمود.

۱-۳ اهمیت فرآیندهای برافزایشی

برافزایش مهم است زیرا:

الف) راهی است برای رشد و بزرگ شدن اجسام

ب) راهی است برای آزاد شدن انرژی گرانشی

برافزایش و قرص های برافزایشی[۱۳]، پدیده ای همه جا حاضر در اخترفیزیک هستند؛ هسته های

[۱۲] Eddington Luminosity

[۱۳] Accretion Discs

فعال کهکشانی، قرص های پیش ستاره ای[۱۴] و پیش سیاره ای[۱۵]،ستاره های دوتایی[۱۶] و غیره شامل این پدیده می باشند. از این رو از برافزایش و قرص های برافزایشی می توان به عنوان دریچه ای رو به شناخت بیشتر اجسام موجود در گیتی نام برد.

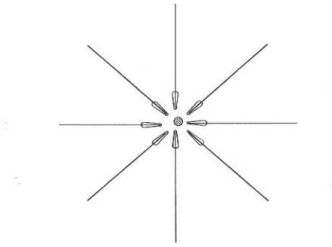
۱-۳-۱ مفهوم قرص های برافزایشی

اگر ذره ای به جرم m از بی نهایت سقوط کند و روی سطح یک ستاره به جرم M و شعاع R_* به حالت سکون درآید، انرژی آزاد شده برابرست با

$$\frac{GMm}{R_*} = (\frac{R_s}{۲R_*})mc^۲ \qquad (۳.۱)$$

که در آن $R_s = ۲GM/c^۲$ شعاع شوارتزشیلد[۱۷] است. برای یک ستاره فشرده مانند ستاره نوترونی، $(M \approx ۳ \times ۱۰^{۳۳} gr, R_* \approx ۱۰^۶ cm)$، انرژی آزاد شده کسر معینی در حدود ۲۰ درصد از انرژی جرم سکون ذره است و برافزایش منبع انرژی پر کاربردتری حتی نسبت به همجوشی هسته ای می باشد.

یک ستاره از محیط گازی یکنواخت اطرافش جرم برافزایش خواهد کرد. این برافزایش کروی[۱۸] یا برافزایش بوندی[۱۹] ساده ترین نوع جریان برافزایشی است و تنها زمانی کاربرد دارد که گاز تکانه زاویه ای ناچیزی دارد [۵].



شکل ۱-۴: برافزایش کروی [۶]

[۱۴] Protostellar

[۱۵] Protoplanetary

[۱۶] Binary Stars

[۱۷] Schwarzschild Radius

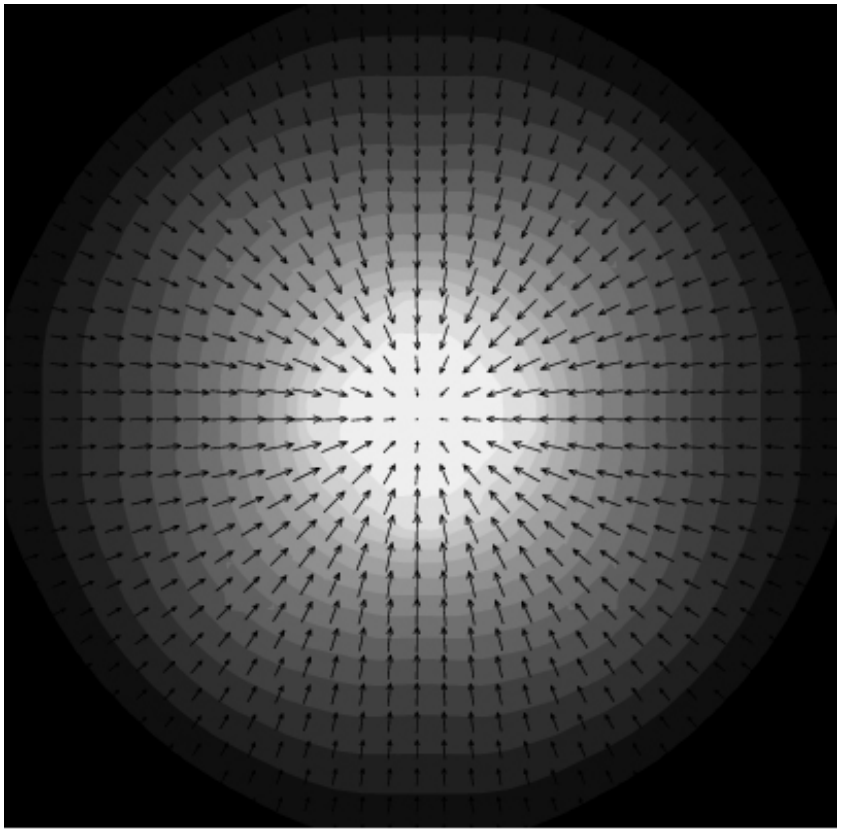
[۱۸] Spherical Accretion

[۱۹] Bondi Accretion

حال ذره ای را در یک مدار دایروی حول ستاره در نظر بگیرید. اگر مدار از یک شعاع بزرگ R به شعاع بسیار کوچکتر $r \ll R$ تغییر کند، انرژی آزاد شده تقریبا برابر با انرژی بستگی مدار کوچکتر است، $GMm/۲r$. بنابراین برای دست یابی به این مقدار، تقریبا تمام تکانه زاویه ای مدار بزرگتر باید از بین برود، $(GMR)^{\frac{۱}{۲}}m$.

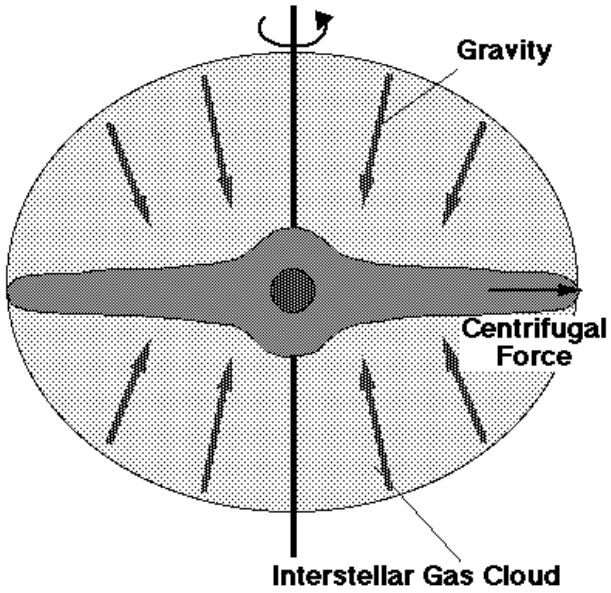
بیشتر جریان های برافزایشی در اخترفیزیک به سرعت چرخان هستند و چگونگی از دست دادن تکانه زاویه ای و در پی آن اتفاق افتادن برافزایش یکی از مشکلات اصلی است. مادامی که در جریان های اتلافی انرژی می تواند به گرما تبدیل شده و سپس به بیرون تابش شود، تکانه زاویه ای سخت تر از دست می رود. یک قرص برافزایشی جریانی است که به این نوع از انتقال تکانه زاویه ای به بیرون رسیده است.

اگرچه عالم به طور کلی در حال انبساط است، بیشتر اجرام مطالعه شده در دانش ستاره شناسی در نتیجه رمبش گرانشی شکل گرفته اند. یک ابر گازی با تقارن کروی را در نظر بگیرید که تحت گرانش خودش رمبش می کند. پس جرمی شکل خواهد گرفت که در آن در طی فرایند فروریزش ابر، نیروی حاصل از فشار با نیروی گرانش مقابله می کند.



شکل ۱-۵: رمبش یک ابر گازی غیرچرخان [۷]

در آغاز اگر ابر چرخش یکنواختی داشته باشد، حرکت اجسام توسط نیروی مرکزگرا که در برابر رمبش در صفحه عمود بر محور چرخش ایستادگی می کند، تحت تاثیر قرار خواهد گرفت. حتی اگر نیروی مرکزگرا در حالت اولیه ناچیز باشد، برای ابر در حال رمبش مهم است که تکانه زاویه ای خود را پایسته نگه دارد. پس یک قرص به سرعت چرخان اطراف مرکز چگالیده شکل خواهد گرفت که به طور عمده توسط نیروی مرکزگرا در برابر گرانش حمایت می شود.



شکل ۱-۶: رمبش یک ابر گازی چرخان [۸]

۱-۴ انواع قرص های برافزایشی در اخترفیزیک

قرص های برافزایشی را می توان به گونه های زیر دسته بندی کرد:

الف) قرص های پیش سیاره ای

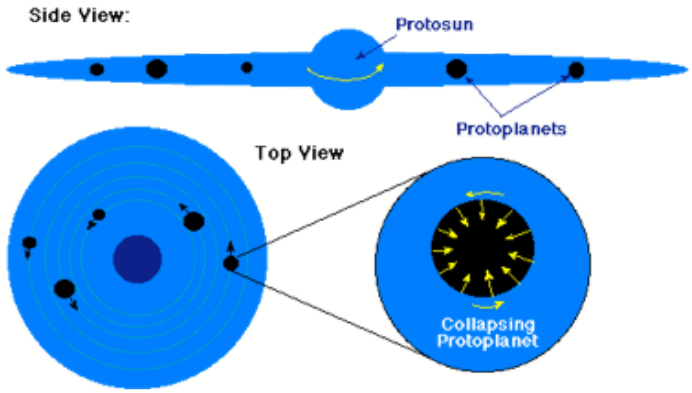
ب) قرص های اطراف ستارگان دوتایی

پ) قرص های اطراف هسته های فعال کهکشان

ت) دیگر قرص ها

۱-۴-۱ قرص های پیش سیاره ای

از انقلاب کوپرنیکی تا کنون، فهمیدیم که تمام سیارات منظومه خورشیدی در یک جهت و تقریبا در یک صفحه حول خورشید می چرخند. در قرن هجدهم کانت[۲۰] و لاپلاس[۲۱] دریافتند که چنین وضعیتی نمی تواند اتفاقی و از روی شانس باشد و پیشنهاد کردند که سیارات پیشتر از یک ابر گازی پهن شده چرخان حول خورشید شکل گرفته اند. مدل های سحابی خورشیدی[۲۲] این دو، مفاهیم قرص های پیش سیاره ای را معرفی کردند [۹].



شکل ۱-۷: نگاره ای از شکل گیری سیارات در قرص های پیش سیاره ای [۱۰]

از سال ۱۹۹۵، تلسکوپ فضایی هابل تصاویری از چنین قرص هایی اطراف ستارگان جوان در سحابی جبار[۲۳] و نزدیک ناحیه شکل گیری ستاره تهیه کرده است. چه آن ها منجر به تشکیل سیارات بشوند چه نشوند، چنین قرص هایی یک قسمت ضروری در فرآیند تشکیل ستاره هستند (و اغلب قرص های پیش ستاره ای نامیده می شوند). آن ها شامل گاز نسبتا سرد، اغلب H_2 همراه با مقداری گرد و غبار هستند و باور بر این است که برای میلیون ها سال عمر می کنند.

در آن زمان گمان می رفت که سیارات از متراکم شدن پی در پی گرد و غبار تشکیل شده و نهایتا هسته صخره مانند سیارات را به وجود می آورند. به منظور تشکیل یک سیاره بزرگ گازی، مانند مشتری، هسته باید در ادامه به یک پوش گازی از قرص اطراف برافزایش کند. یک نظریه جایگزین که کمتر معروف است می گوید که سیارات بزرگ گازی مستقیما از طریق یک ناپایداری گرانشی در قرص شکل می گیرند.

---

[۲۰] Kant

[۲۱] Laplace

[۲۲] Solar Nebula

[۲۳] Orion Nebula

شکل ۱-۸: سحابی جبار، معروف به M۴۲ [۱۱]

۱-۴-۲ قرص های اطراف ستارگان دوتایی

بیشتر ستارگان در سیستم های دوتایی شکل گرفته اند. ستاره سنگین تر اصلی[۲۴] سریعتر متحول می شود و در پایان عمر خود به عنوان یک جرم فشرده تبدیل می شود؛ کوتوله سفید، ستاره نوترونی و یا سیاهچاله. در این زمان ستاره دوم می تواند هنوز جزء ستارگان رشته اصلی[۲۵] باشد. اگر مدار دوتایی به اندازه کافی نزدیک باشد، ستاره دومی می تواند سطح هم پتانسیل بحرانی یا همان حد روچ[۲۶] خود را پر کرده و سپس مواد را به سمت همدم فشرده خود بریزد.

به علت چرخش موجود در مدار دوتایی، گاز انتقال یافته تکانه زاویه ای زیادی دارد و به صورت مستقیم روی سطح ستاره اصلی سقوط نمی کند، در عوض یک قرص برافزایشی اطراف آن شکل می دهد. تحت عمل گشتاور وشکسانی درون قرص، گاز پی در پی تکانه زاویه ای از دست داده و به صورت مارپیچ به سمت جرم مرکزی برافزایش می کند. هر چقدر گاز بیشتر سقوط می کند (روی جسم مرکزی می ریزد) انرژی بیشتری آزاد کرده و قرص را درخشان تر می سازد.

---

[۲۴] Primary

[۲۵] Main Sequence Stars

[۲۶] Roche lobe