وزارت علوم، تحقیقات و فناوری

دانشگاه دامغان
دانشکده فیزیک

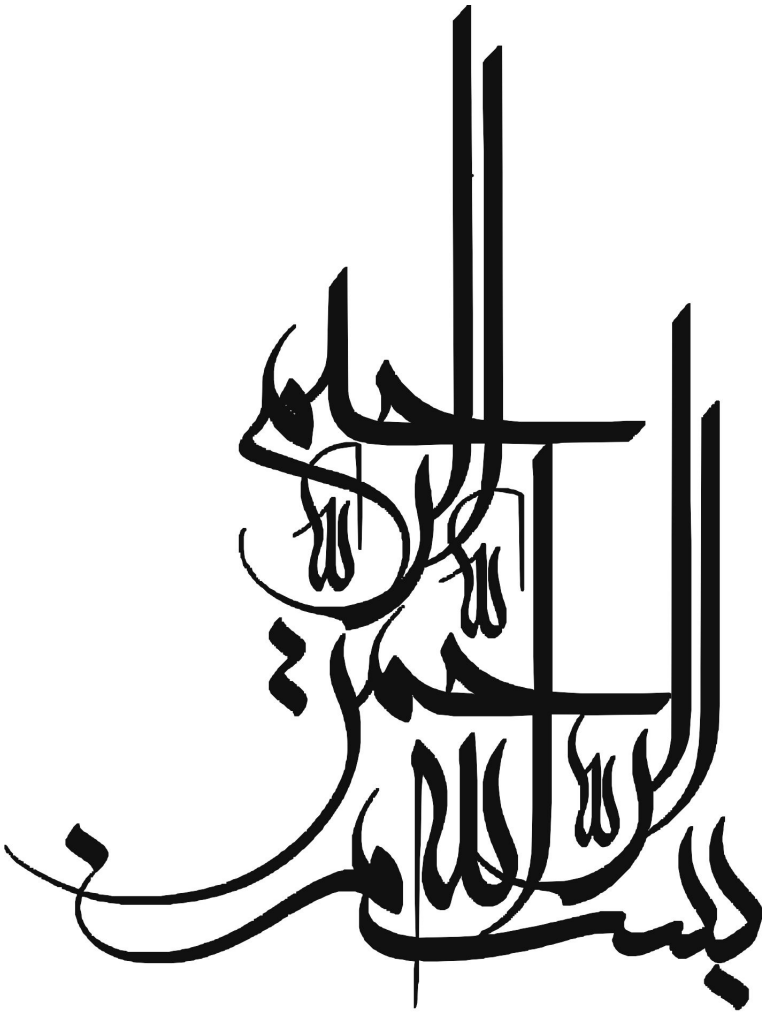
پایان‌نامه کارشناسی ارشد
فیزیک (گرایش نجوم و اختر فیزیک)

جریان های برافزایشی وشکسان و مقاومتی در حضور فوران

به وسیله‌ی:
اعظم ملاطایفه

استاد راهنما:
دکتر کاظم فاقعی

شهریور ۱۳۹۱


بسم الله الرحمن الرحيم

به نام خدا

جریان های برافزایشی وشکسان و مقاومتی در حضور فوران

به وسیله‌ی:

اعظم ملاطایفه

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: **عالی**

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

دکتر علیرضا خصالی 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)

شهریور ۱۳۹۱

تقدیم به

او که چشم جهان به چشمه‌ی دستان سبز اوست

و تقدیم به آنانی که

می‌نویسم تا یادم نرود وجودم را از عروجشان دارم...

سپاسگزاری

استاد بزرگوارم جناب آقای دکتر کاظم فاقعی،

اساتید محترم جناب آقای دکتر علیرضا خصالی و آقای دکتر مسعود جعفری،

و تمامی اساتید دانشکده‌ی فیزیک دانشگاه دامغان،

صمیمانه‌ترین سپاس‌هایم نثار بزرگوارانه‌ترین همراهی‌هاتان باد.

چکیده

جریان های برافزایشی وشکسان و مقاومتی در حضور فوران

به وسیله‌ی:
اعظم ملاطایفه

حضور فوران در جریان‌های برافزایشی از طریق شواهد مشاهداتی و شبیه‌سازی‌های مغناطوهیدرودینامیکی [۱] یا به اختصار MHD، تأیید شده است. در این تحقیق جریان‌های برافزایشی با غلبه‌ی پهن‌رفت [۲] را در حضور فوران و میدان مغناطیسی سمتی بررسی می‌کنیم. علت اتلاف انرژی در سیال، وشکسانی و مقاومت اهمی است که درنتیجه‌ی تلاطم به‌وجود آمده‌اند. فوران در قرص‌های برافزایشی [۳] مانند چاهکی و بخشی از جرم، تکانه زاویه‌ای و انرژی را به خارج از سیستم حمل می‌کند. برای حل معادلات انتگرالی حاکم بر رفتار جریان برافزایشی در حضور فوران، از روش خود مشابهی [۴] استفاده می‌کنیم. حل‌ها نشان می‌دهند که هر چه فوران قوی‌تر باشد، قرص سریع‌تر چرخیده و سردترمی‌شود. از طرفی افزایش پخشندگی مغناطیسی، باعث کاهش چگالی سطحی و سرعت چرخش سیال می‌شود. درحالی‌که سرعت شعاعی و دما با پخشندگی مغناطیسی افزایش می‌یابند. مطالعه‌ی مدل حاضر، بیان می‌کند که با قوی‌ترشدن میدان مغناطیسی، قرص سریع‌تر چرخیده، داغ‌تر می‌شود و سریع‌تر برافزایش می‌کند؛ اما چگالی سطحی کاهش می‌یابد. ضخامت قرص با افزایش میدان مغناطیسی یا مقاومت بیشتر شده، در حالی‌که با خروج بیشتر جرم و انرژی از طریق باد، نازک‌تر می‌گردد.

---

[۱] magnetohydrodynamic

[۲] advection dominated accretion flows (ADAFs)

[۳] accretion discs

[۴] self-similar

فهرست مطالب

فهرست مطالب ه

فهرست شکل‌ها ح

۱ مروری بر فرایندهای برافزایشی ۱

۱-۱ مقدمه ۲

۱-۲ فرایندهای برافزایشی ۳

۱-۳ طبقه بندی اصلی قرص‌ها در اخترفیزیک ۵

۱-۳-۱ قرص‌های پیش سیاره‌ای ۶

۱-۳-۲ ستاره‌های دوتایی با اثر متقابل ۷

۱-۳-۳ هسته‌های کهکشانی فعال ۹

۱-۳-۴ انواع دیگر قرص‌های اخترفیزیکی ۱۰

۱-۴ خروج انرژی از طریق تابش ۱۱

۱-۵ تابندگی و تابندگی بحرانی قرص‌های برافزایشی ۱۲

۱-۶ توزیع مجدد تکانه ی زاویه ای و اتلاف انرژی ۱۵

۱-۷ خواص قرص‌های نازک ۱۸

۱-۷-۱ شاره‌ی ابَرصوتی ۱۸

۱-۷-۲ ضخامت قرص ۱۹

۱-۷-۳ گسترش وشکسانی ۲۰

۱-۸ معادلات قرص نازک ۲۲

۱-۸-۱ برافزایش حالت پایا ۲۴
۱-۸-۲ دمای قرص ۲۶
۱-۸-۳ قرص‌ها با غلبه‌ی فشار تابشی ۲۹
۱-۸-۴ مقیاس‌های زمانی در قرص‌های نازک ۳۱
۱-۹ آهنگ برافزایش خیلی کوچکتر از حد ادینگتون ۳۲
۱-۹-۱ جریان‌های از نظر تابشی ناکارامد ۳۳
۱-۹-۲ آهنگ برافزایش بیشتر از حد ادینگتون ۳۴
۱-۹-۳ هیدرودینامیک جریان‌های برافزایشی با غلبه‌ی پهن‌رفت ۳۵
۱-۱۰ میدان‌های مغناطیسی در قرص های برافزایشی ۳۸
۱-۱۰-۱معادلات مغناطو هیدرو دینامیکی ۳۸
۱-۱۰-۲ جت‌ها و میدان‌های مغناطیسی بزرگ‌مقیاس ۴۲

۲ تعریف مسأله و معادلات اساسی ۴۴
۲-۱ مقدمه ۴۵
۲-۲ معادلات اساسی ۴۷
۲-۳ معادله‌ی پیوستگی ۴۹
۲-۴ معادله‌ی تکانه ۵۱
۲-۴-۱ معادله‌ی شعاعی تکانه ۵۵
۲-۴-۲ معادله‌ی زاویه‌ای تکانه ۵۶
۲-۴-۳ تعادل هیدرواستاتیکی ۵۷
۲-۵ معادله‌ی انرژی ۵۸
۲-۶ حل‌های خودمشابه ۶۱

۳ بررسی نتایج ۷۲
۳-۱ مقدمه ۷۳
۳-۲ بررسی نمودارها بر حسب عدد پرندل مغناطیسی ۷۴
۳-۲-۱ بررسی نمودارهای سرعت صوت ۷۴
۳-۲-۲ بررسی نمودارهای چگالی سطحی قرص ۷۷
۳-۲-۳ بررسی نمودارهای سرعت شعاعی ۷۹
۳-۲-۴ بررسی نمودارهای سرعت چرخشی ۸۱
۳-۲-۵ بررسی نمودارهای ضخامت قرص ۸۳

۳-۳ بررسی نمودارها بر حسب میدان مغناطیسی ۸۴
۳-۳-۱ بررسی نمودارهای سرعت صوت یا دما ۸۵
۳-۳-۲ نمودارهای تغییر چگالی سطحی ۸۷
۳-۳-۳ بررسی نمودارهای سرعت شعاعی ۸۹
۳-۳-۴ بررسی تغییرات سرعت زاویه‌ای ۹۱
۳-۳-۵ بررسی تغییر ضخامت قرص ۹۳
۳-۴ پارامتر برنولی ۹۵

۴ خلاصه و نتیجه‌گیری **۹۷**

مراجع **۱۰۰**

فهرست شکل‌ها

۱-۱ برافزایش کروی ۴
۱-۲ فروریزش یک ابر غیر چرخشی ۵
۱-۳ فروریزش یک ابر در حال چرخش ۵
۱-۴ قرص برافزایشی در یک سیستم دوتایی ۸
۱-۵ نمایش شبیه سازی شده از یک سیاهچاله در برابر ابر ماژلانی بزرگ. ۱۰
۱-۶ تصویری از سیاره‌ی زحل و حلقه‌های اطراف آن. ۱۱
۱-۷ نمودار سرعت زاویه‌ای برای برافزایش قرص روی ستاره ۱۶
۱-۸ نیم‌پهنای زاویه‌ای در قرص برافزایشی ۲۰
۱-۹ نمودار دمای سطحی قرص برافزایشی پایا ۲۷
۱-۱۰ برافزایش قرص روی ستاره‌ی شدیداً مغناطیده ۳۸

۳-۱ نمودار تغییر دما بر حسب مقاومت برای مقادیر مختلف جرم خروجی ۷۵
۳-۲ نمودار تغییر دما بر حسب مقاومت برای مقادیر مختلف انرژی خروجی ۷۶
۳-۳ نمودار تغییر چگالی سطحی بر حسب مقاومت برای مقادیر مختلف جرم خروجی . . . ۷۷
۳-۴ نمودار تغییر چگالی سطحی بر حسب مقاومت برای مقادیر مختلف انرژی خروجی . . ۷۸
۳-۵ نمودار تغییر سرعت برافزایش برحسب مقاومت برای مقادیر مختلف جرم خروجی . . ۷۹
۳-۶ نمودار تغییر سرعت برافزایش بر حسب مقاومت برای مقادیر مختلف انرژی خروجی . ۸۰
۳-۷ نمودار تغییر سرعت چرخشی بر حسب مقاومت برای مقادیر مختلف جرم خروجی . . ۸۱
۳-۸ نمودار تغییر سرعت چرخشی بر حسب مقاومت برای مقادیر مختلف انرژی خروجی . ۸۲
۳-۹ نمودار تغییر ضخامت قرص بر حسب مقاومت برای مقادیر مختلف جرم خروجی . . . ۸۳

۳-۱۰ نمودار تغییر ضخامت قرص بر حسب مقاومت برای مقادیر مختلف انرژی خروجی . . ۸۴
۳-۱۱ نمودار تغییر دما بر حسب میدان مغناطیسی برای مقادیر مختلف جرم خروجی ۸۵
۳-۱۲ نمودار تغییر دما برحسب میدان مغناطیسی برای مقادیر مختلف انرژی خروجی ۸۶
۳-۱۳ نمودار تغییر چگالی سطحی بر حسب میدان مغناطیسی برای مقادیر مختلف جرم خروجی ۸۷
۳-۱۴ نمودار تغییر چگالی سطحی بر حسب میدان مغناطیسی برای مقادیر مختلف انرژی خروجی ۸۸
۳-۱۵ نمودار تغییر سرعت برافزایش بر حسب میدان مغناطیسی برای مقادیر مختلف جرم خروجی ۸۹
۳-۱۶ نمودار تغییر سرعت برافزایش بر حسب میدان مغناطیسی برای مقادیر مختلف انرژی
خروجی ۹۰
۳-۱۷ نمودار تغییر سرعت زاویه‌ای بر حسب میدان مغناطیسی برای مقادیر مختلف جرم خروجی ۹۱
۳-۱۸ نمودار تغییر سرعت زاویه‌ای بر حسب میدان مغناطیسی برای مقادیر مختلف انرژی خروجی ۹۲
۳-۱۹ نمودار تغییر ضخامت قرص بر حسب میدان مغناطیسی برای مقادیر مختلف جرم خروجی ۹۳
۳-۲۰ نمودار تغییر ضخامت قرص بر حسب میدان مغناطیسی برای مقادیر مختلف انرژی خروجی ۹۴
۳-۲۱ ثابت برنولی بر حسب مقاومت برای مقادیر مختلف میدان مغناطیسی ۹۶

فصل ۱

مروری بر فرایندهای برافزایشی

۱-۱ مقدمه

شناخت ماهیت اجرام نجومی به طور حتم مهم‌ترین قسمت اختر فیزیک محسوب می‌شود. تا همین چند دهه پیش، گستره‌ی تنوع اجرام نجومی بسیار محدود بود. اما امروزه شاهد انواع مختلف اجرام نجومی هستیم؛ از ستاره‌های بسیار فشرده و مغناطیده گرفته تا اختروش‌ها و . . . که در این میان یکی از جالب‌ترین اجرام نجومی قرص‌های برافزایشی هستند. قرص برافزایشی توده‌ای از ماده‌ی چرخان است که ضمن چرخش حول یک جسم مرکزی، روی آن نیز فرو می‌ریزد. چنین قرص‌هایی در اطراف اجرام فشرده‌ای نظیر سیاهچاله‌ها و یا ستاره‌های نوترونی مشاهده شده‌اند. درحقیقت چنین اجرام فشرده‌ای، مرحله‌ی پایانی زندگی یک ستاره محسوب می‌شوند. اما حتی در مراحل آغازینِ زندگی یک ستاره نیز، چنین قرص‌هایی وجود دارند. امروزه داده‌های رصدی بسیاری وجود دارند که نشان می‌دهند معمولاً در نواحی شکل‌گیری ستاره‌ها (محیط‌های میان‌ستاره‌ای)، در اطراف پیش‌ستاره‌ها قرص‌های عظیمی از ماده وجود دارند.

اگر توجه کنیم که این قرص‌ها در اطراف یکی از عجیب‌ترین اجرام عالم، یعنی سیاهچاله‌ها وجود دارند، بیش از پیش اهمیت قرص‌ها روشن می‌شود؛ زیرا اطلاعات رصدی درباره‌ی سیاهچاله‌ها بسیار کم است و هرآن‌چه به‌دست می‌آوریم، بر پایه‌ی اطلاعاتی است که از تأثیرات سیاهچاله بر محیط اطرافش (یعنی قرص برافزایشی) به دست می‌آید. از این‌رو هرچه شناخت کامل‌تری از قرص‌های برافزایشی داشته باشیم، قطعاً اطلاعات بیشتری درباره‌ی سیاهچاله‌ها و خصوصیات آن‌ها به دست خواهیم آورد.

برافزایش را به گونه‌ای دیگر نیز می‌توان تعریف کرد. استخراج انرژیِ پتانسیل گرانشی از مواد در حال سقوط در یک میدان گرانشی، برافزایش نامیده می‌شود. اگر چه همجوشیِ هسته‌ای، منبع انرژی ستاره‌ی مرکزی است و اجازه می‌دهد که ستاره در مقابل نیروی گرانش حاصل از جرم خودش ایستادگی کند، ولی بیشتر پدیده‌های پرانرژی در جهان به وسیله‌ی انرژی پتانسیل گرانشی قوت می‌گیرند که این انرژی از طریق برافزایش آزاد می‌شود. این پتانسیل می تواند ناشی از شیء بسیار پرجرم فشرده‌ای باشد که در مرکز کهکشان‌ها متمرکز شده‌اند [۱]، یا اجرام فشرده‌ای که به عنوان محصول نهایی در تحول ستاره‌ای شکل گرفته اند [۲] و یا اجرام ستاره ای بسیار جوانی که به وسیله‌ی گازی که از فروریزش ابر باقی مانده است، محاصره شده‌اند. در تمامی این موارد، مواد به‌وسیله‌ی جرم فشرده‌ی مرکزی در حال برافزایش می‌باشند و انرژی پتانسیل گرانشی به صورت تابش و گرما آزاد می‌شود.

۱-۲ فرایندهای برافزایشی

برافزایش مهم است زیرا اولاً باعث بزرگ‌شدن اجرام می‌شود و ثانیاً راهی برای آزادسازی انرژی می‌باشد. برای این‌که گاز چرخان بتواند برافزایش کند، باید بخشی از گاز تکانه زاویه‌ای خود را از دست بدهد و به سمت داخل حرکت کند. از آن‌جایی که تکانه زاویه‌ای کل باید پایسته بماند، بخش دیگر گاز باید تکانه زاویه‌ای به دست آورده به سمت خارج حرکت کند. اتلاف وشکسانی در انتقال تکانه زاویه‌ای ضروری است و باعث گرم‌شدن گاز می‌شود. این گرما می‌تواند در نزدیکی جایی که تولید شده است، تابش شود و یا با گاز در حال برافزایش به سمت داخل پهن‌رفت کند [۳].

اگر یک ذره به جرم m، از بی‌نهایت سقوط کرده و روی یک ستاره به جرم M وشعاع R_* بیفتد، انرژی آزاد شده برابر است با

$$\frac{GMm}{R_*} = (\frac{r_s}{۲R_*})mc^۲, \qquad (۱.۱)$$

که در آن

$$r_s = \frac{۲GM}{c^۲}, \qquad (۲.۱)$$

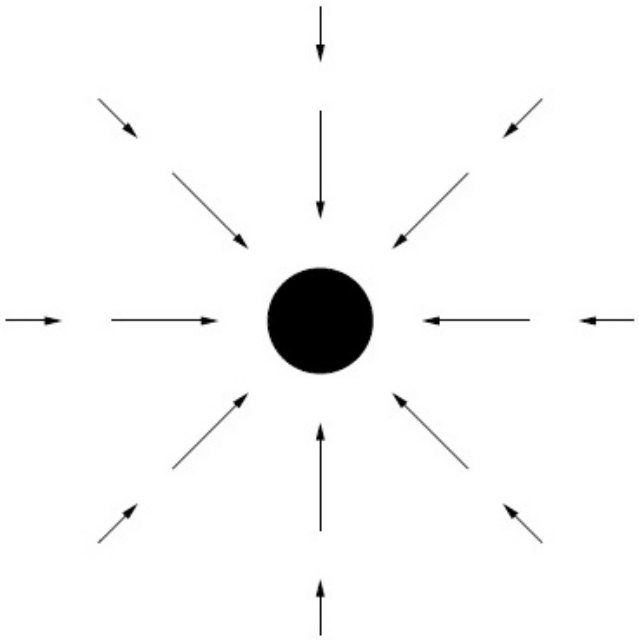
شعاع شوارتز شیلد [۱] است. برای یک ستاره‌ی متراکم مانند ستاره‌ی نوترونی

$$M \approx ۳ \times ۱۰^{۳۳} g, R_* \approx ۱۰^۶ cm.$$

درنتیجه انرژی آزاد شده کسر مهمی از انرژی سکون ذرات است (حدود ۲۰ درصد) و برافزایش یک منبع انرژی کارآمدتر از همجوشی هسته‌ای می‌باشد.

برای ستاره‌ای که در یک محیط گازی یکنواخت قرار دارد، جرم از اطراف بر روی ستاره‌ی مرکزی برافزایش خواهد کرد. این نوع برافزایشِ کروی یا برافزایشِ باندی، ساده‌ترین نوع جریان برافزایشی است، اما فقط زمانی که گاز تکانه‌ی زاویه‌ای ناچیزی دارد، به کار می‌رود (شکل ۱ − ۱).

[۱] Schwarzschild



شکل ۱-۱: برافزایش کروی [۴].

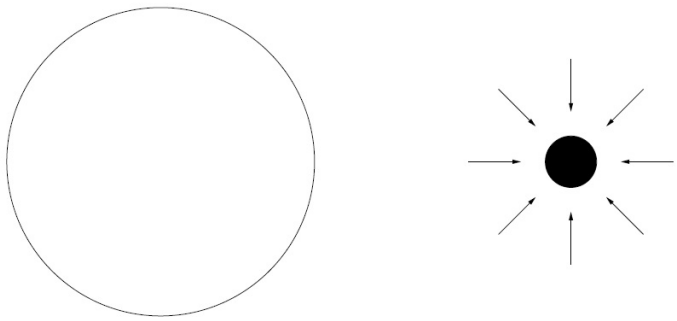
حال ذره‌ای را در نظر می‌گیریم که در یک مدار دایروی در اطراف یک ستاره قرار دارد. با حرکت از شعاع بزرگ‌تر R به شعاع خیلی کوچک‌تر r $(r \ll R)$، انرژی آزاد شده تقریباً برابر با انرژی بستگی مدار کوچکتر می‌باشد. یعنی

$$\frac{GMm}{۲r}.$$

با این حال برای دسترسی به این انرژی تقریباً باید تمام تکانه‌ی زاویه‌ای مدار بزرگتر

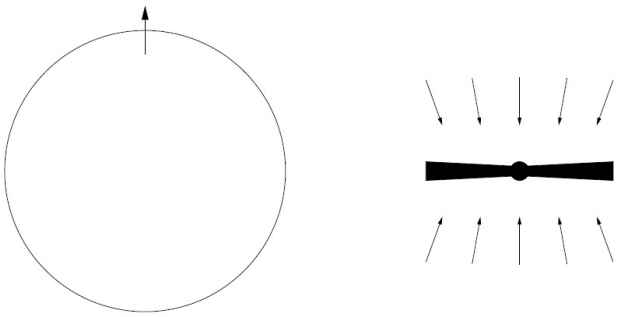
$$(GMR)^{۱/۲}m,$$

منتقل شود. بیشتر جریان‌های برافزایشی در اخترفیزیک به‌سرعت در حال چرخش هستند و یکی از مشکلات اصلی این است که چگونه تکانه زاویه‌ای منتقل می‌شود تا برافزایش بتواند اتفاق بیفتد. این درحالی است که برای جریان‌های اتلافی که در آن‌ها انرژی می‌تواند به گرما تبدیل شده و سپس تابش شود، تکانه زاویه‌ای سخت‌تر منتقل می‌شود. در واقع یک قرص برافزایشی جریانی است که به انتقال تکانه‌ی زاویه‌ای به بیرون می‌انجامد. با وجود اینکه عالم در کل در حال انبساط است، بسیاری از اجرام مورد مطالعه در علم نجوم درنتیجه‌ی رمبش گرانشی شکل گرفته‌اند. یک ابر گازی ایستا، یکنواخت و کروی تحت گرانش خود فرو می‌ریزد (شکل ۱ − ۲). فرض می‌شود فروریزش متقارن و کروی باشد و جرمی که تشکیل می‌شود، در برابر جاذبه به‌وسیله‌ی فشار حمایت می‌شود.



شکل ۱-۲: فروریزش یک ابر غیر چرخشی [۴].

اگر چه در ابتدا چرخش یکنواخت است، با این حال نیروی گریز از مرکز دینامیک سیستم را تحت تأثیر قرار خواهد داد و در برابر فروپاشی در صفحه‌ی عمود بر محور چرخش، مقاومت می‌کند. حتی اگر نیروی گریز از مرکز در حالت اولیه قابل چشم‌پوشی باشد، این نیرو همزمان با فروریزش ابر، به علت پایستگی تکانه زاویه‌ای آن، مهم‌تر خواهد شد. قرص چرخانی که در اطراف مرکز متراکم شکل می‌گیرد، به طور عمده در مقابل نیروی گرانش، توسط نیروی گریز از مرکز حمایت می‌شود (شکل ۱ – ۳) [۴].



شکل ۱-۳: فروریزش یک ابر در حال چرخش [۴].

۱-۳ طبقه بندی اصلی قرص‌ها در اخترفیزیک

قرصهای اختر فیزیکی را می‌توان به چهار دسته‌ی اصلی تقسیم کرد:

۱) قرص‌های پیش‌سیاره‌ای [۲]

[۲] Protoplanetary discs

۲) قرص‌های اطراف ستاره‌های دوتایی با اثر متقابل [۳]
۳) قرص‌های اطراف هسته‌های کهکشانی فعال [۴]
۴) انواع دیگر قرص‌های اخترفیزیکی

۱-۳-۱ قرص‌های پیش سیاره‌ای

از انقلاب کوپرنیکی به بعد، دریافتیم که تمامی سیارات منظومه‌ی شمسی همگی حول خورشید در یک جهت و تقریباً در یک صفحه می‌چرخند. در قرن هجدهم کانت [۵] و لاپلاس [۶] به این باور رسیدند که این وضعیت نمی‌تواند اتفاقی باشد. آن‌ها پیشنهاد کردند که سیارات در سال‌های اولیه‌ی زندگی خود از گاز چرخان اطراف خورشید، خارج از یک ابر مسطح، شکل گرفته‌اند. مدل‌های آن‌ها از سحابی خورشیدی مفهوم یک قرص پیش‌سیاره‌ای را معرفی کرد. به بیانی دیگر از آن‌جایی‌که ستاره‌ها از ابرهای مولکولی واقع در محیط‌های میان ستاره‌ای شکل می‌گیرند، به بخش مرکزی آن‌ها که در حال انقباض و تشکیل ستاره‌ای جوان است، پیش‌ستاره گویند. در این حالت قرصی گازی اطراف ستاره جوان را احاطه کرده و به جهت آن‌که در آینده سیارات از این قرص‌ها شکل می‌گیرند، این نوع قرص‌ها را قرص‌های پیش‌سیاره‌ای می‌نامند.

از سال ۱۹۹۵ به بعد، تلسکوپ فضایی هابل تصاویری از قرص‌های پیرامون ستارگان جوان که در سحابی جبار [۷] می‌باشند، تهیه کرده است. به هرحال این قرص‌ها زادگاه سیارات می‌باشند و یک بخش ضروری از فرایندهای شکل‌گیری ستاره محسوب می‌شوند. آن‌ها از گاز نسبتاً سرد هیدروژن به‌همراه گرد و غبار تشکیل شده‌اند و اعتقاد بر این است که چند میلیون سال عمر می‌کنند.

در آن دوران تصور می‌شد که سیارات به صورت گرد و غبار جمع می‌شوند و مدام زیادتر می‌شوند و در نهایت هسته‌های صخره‌ای سیارات شکل می‌گیرند. پیش‌ستاره‌های مرکزی که تازه متولد شده‌اند، توسط پوش‌های گازی چگالی که در حال چرخش و فروریزش دینامیکی به سمت ستاره‌های مرکزی هستند، احاطه شده‌اند. چون این پوش‌ها به شدت چگالند، پیش‌ستاره‌های مرکزی قابل رویت نیستند. درعوض، تابش فروسرخ گرد و غبار پوش‌ها، در طیف تابشی غالب است. برای شکل‌گیری سیارات

[۳] Interacting binary stars

[۴] Active galactic nuclei

[۵] Kant

[۶] Laplace

[۷] orion

غول گازی مثل مشتری [۸]، هسته باید توسط پوش گازی قابل توجهی از قرص اطراف برافزایش شود. یک تئوری ضعیف این است که سیارات غول گازی، مستقیماً از یک ناپایداری گرانشی سریع قرص شکل می‌گیرد.

از سال ۱۹۹۵ بیش از صد سیاره در اطراف ستاره‌های نزدیک خورشید کشف شده‌اند. از آن‌جایی که یک ستاره و یک سیاره خود یک مدار بسیار کوچک حول مرکز جرم سیستم را طی می‌کنند، این حرکت باعث انتقال دوپلریِ دوره‌ای قابل آشکارسازی در طیف ستاره می‌شود. در سیستم‌هایی مانند منظومه‌ی شمسی، قرص پیش‌سیاره‌ای پیش از این مرحله از هم می‌پاشند. محدودیت‌های مشاهداتی باعث شده‌اند که تاکنون سیارات اطراف ستاره‌های جوان آشکارسازی نشوند.

پارامترهای نوعی قرص‌های پیش‌ستاره‌ای: جرم مرکزی $۱M_\odot$ ، جرم قرص کوچکتر یا مساوی $۰/۱M_\odot$ ، شعاع بیرونی $۱۰۰ - ۱۰۰۰AU$ ، نیم‌پهنای زاویه‌ای $۰/۱ - ۰/۵ \approx \frac{H}{R}$ ، پارامتر وشکسانی بدون بعد $۰/۰۱ - ۰/۰۰۱ \approx \alpha$ و آهنگ برافزایش $\dot{M} \approx ۱۰^{-۸} M_\odot yr^{-۱}$.

داده‌های مفید:

$$M_\odot = ۱/۹۹ \times ۱۰^{۳۳} g,$$

$$R_\odot = ۶/۹۶ \times ۱۰^{۱۰} cm,$$

$$۱AU = ۱/۵ \times ۱۰^{۱۳} cm.$$

داده‌های مشتری [۴]:

$$M_J = ۱/۹ \times ۱۰^{۳۰} g \approx ۰/۰۰۱ M_\odot,$$

$$R_J = ۷/۴ \times ۱۰^{۹} cm \approx ۰/۱ R_\odot.$$

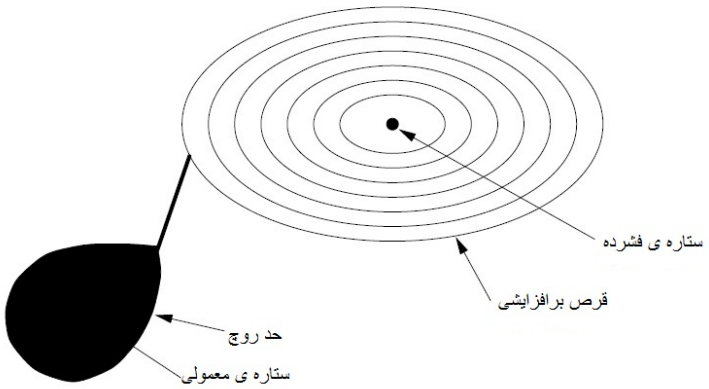
۱-۳-۲ ستاره‌های دوتایی با اثر متقابل

بیشتر ستاره‌ها در سیستم‌های دوتایی شکل می‌گیرند. ستاره‌ی پر جرم‌تر یا ستاره‌ی اولیه با سرعت بیشتری متحول می‌شود و نهایتاً به یک جرم فشرده مانند کوتوله‌ی سفید، ستاره‌ی نوترونی و یا سیاهچاله تبدیل می‌شود. در این مرحله ممکن است هنوز ستاره‌ی ثانویه روی رشته‌ی اصلی تحول ستاره‌ای باشد. اگر مدار دوتایی به اندازه‌ی کافی کوچک باشد، به علت جاذبه‌ی گرانشی بسیار شدید، ستاره‌ی ثانویه از سطح هم‌پتانسیل بحرانی یا حد روچ [۹] سرریز کرده و سپس روی همدم فشرده‌اش می‌ریزد.

---

[۸] jupiter

[۹] Roche lobe



شکل ۱-۴: قرص برافزایشی در یک سیستم دوتایی[۴].

به خاطر چرخش مواد در مدار دوتایی، تکانه زاویه‌ای گاز منتقل شده بیشتر از آن است که مستقیماً روی ستاره‌ی اولیه سقوط کند. درنتیجه یک قرص برافزایشی اطراف ستاره‌ی اولیه شکل می‌گیرد (شکل ۱ – ۴). تحت عمل گشتاور وشکسانی درون قرص، گاز به‌تدریج تکانه زاویه‌ای خود را از دست می‌دهد و با حرکت مارپیچی به سمت داخل بر روی جرم مرکزی برافزایش می‌کند. همان‌طور که گاز در پتانسیل عمیق‌تری سقوط می‌کند، انرژی بیشتری آزاد می‌شود و قرص درخشانی شکل می‌گیرد.

دوتایی‌ها بر حسب جرم ستاره‌ی اولیه به چند دسته تقسیم می‌شوند:

دوتایی‌هایی که در آن‌ها ستاره‌ی اولیه کوتوله‌ی سفید می‌باشد، متغیرهای کاتالیسمیک [۱۰] نامیده می‌شوند؛ زیرا تعداد زیادی از آن‌ها باعث انفجارهای چشمگیری می‌شوند. متغیرهای کاتالیسمیک شامل دو دسته‌ی نواختر کلاسیکی [۱۱] و نواختر کوتوله [۱۲] هستند. در نواختر کلاسیکی گاهی اوقات هیدروژن‌سوزی در سطح کوتوله‌ی سفید اتفاق می‌افتد که فرایندی کنترل نشده است. درنتیجه درخشندگی سیستم ناگهان در بازه زمانی کوتاهی ده برابر می‌شود و سپس در بازه ده‌ها یا صدها روز فروکش می‌کند.

در نواختر کوتوله انفجارهای دوره‌ای در خود قرص اتفاق می‌افتد. در فازهای فوران، روشنایی به اندازه‌ی ۵ – ۲ برابر نسبت به فاز خاموشی افزایش می‌یابد. مدت زمان استمرار این فوران‌ها نیز از مرتبه چند روز تا چند هفته متغیر است. این درحالی است که چندین هفته طول می‌کشد تا این فوارن‌ها متوقف شوند. اعتقاد براین است که ناپایداری‌های قرص برافزایشی منشأ فوران‌های نواخترهای کوتوله هستند.

این اجرام بیشتر از یک قرن است که شناخته شده‌اند. هر چند که در آن دوران ماهیت فیزیکی آن‌ها

[۱۰] cataclysmic variables

[۱۱] classical novae

[۱۲] dwarf novae

ناشناخته بود.

دوتایی‌هایی که در آن‌ها ستاره‌ی اولیه ستاره‌ی نوترونی یا سیاهچاله می‌باشند، دوتایی‌های پرتو ایکس [۱۳] نامیده می‌شوند. زیرا طیف آن‌ها در ناحیه‌ی پرتو ایکس درخشان است و اولین بار توسط ماهواره‌ی پرتو ایکس که در سال ۱۹۶۰ به فضا فرستاده شد، کشف شدند.

دوتایی‌های پرتو ایکس با جرم کم [۱۴]، شامل ستاره‌ی ثانویه با جرم کم است که با لبریز شدن حد روچ برافزایش می‌کند.

در دوتایی‌های پرتو ایکس با جرم زیاد [۱۵]، قرص برافزایشی نوعاً از باد شدید ستاره‌ی ثانویه که در گرانش ستاره‌ی اولیه گیر می‌افتد، شکل می‌گیرد.

قرص‌ها معمولاً شامل هیدروژن یا هلیوم به شکل گازی یا یونیده هستند. شناخت دینامیک و ساختار قرص‌های پیرامون سیستم‌های دوتایی بسیار اهمیت دارد؛ زیرا درحقیقت بخش قابل ملاحظه‌ای از طیفی که از این اجرام دریافت می‌کنیم به همین قرص برافزایشی مربوط می‌شود [۴].

۱-۳-۳ هسته‌های کهکشانی فعال

امروزه بر این باور هستیم که بیشتر کهکشان‌ها شامل یک سیاهچاله‌ی پر جرم (تا چند میلیون برابر جرم خورشید) در مرکز هستند که ستارگان اطراف خود را با گرانش به سمت خود می‌کشند (شکل ۱ – ۵). برخی از کهکشان‌ها که هسته‌های فعال دارند، در همه‌ی طول موج‌ها درخشان هستند و در حال بلعیدن مواد از محیط میان‌ستاره‌ای اطراف خود می‌باشند. گاز و غباری که به درون سیاهچاله فرو می‌ریزد، دارای مقدار معینی تکانه زاویه‌ای است که از حرکت پیرامون مرکز کهکشان حاصل شده است. ذرات گاز در حال فروریزش به هم برخورد می‌کنند و قبل از این‌که در یک قرص برافزایشی ساکن شوند، مقداری از انرژی‌شان را از دست خواهند داد. نیروهای وشکسانی در درون قرص چرخان، انرژی و تکانه زاویه‌ای را از مواد می‌گیرد تا این مواد بتوانند آرام‌تر و به شکل مارپیچی به طرف سیاهچاله پیش روند. بیشتر انرژی آزاد شده در قرص‌های برافزایشی به بیرون تابش می‌شود. این قرص‌ها به صورت یک منبع بسیار تابان در هسته‌ی کهکشان‌های فعال مشاهده شده اند [۵].

---

[۱۳] X-ray

[۱۴] Low-mass X-ray binaries

[۱۵] high-mass X-ray binaries