بسم الله الرحمن الرحیم

وزارت علوم، تحقیقات و فناوری

دانشگاه دامغان

دانشکده فیزیک

پایان نامه کارشناسی ارشد فیزیک (گرایش نجوم و اخترفیزیک)

اثر هدایت گرمایی بروی قرص‌های برافزایشی در حضور میدان چنبره‌ای؛ بررسی صحت جواب‌های خود مشابهی

نگارش:

منیره عابدزیدی

استاد راهنما:

دکتر شهرام عباسی

بهمن ماه ۱۳۸۹

وزارت علوم، تحقیقات و فناوری

دانشگاه دامغان
دانشکده فیزیک

پایان نامه کارشناسی ارشد فیزیک (گرایش نجوم و اخترفیزیک)

اثر هدایت گرمایی بروی قرص‌های برافزایشی در حضور میدان چنبره‌ای؛ بررسی صحت جواب‌های خود مشابهی

نگارش:
منیره عابدزیدی

استاد راهنما:
دکتر شهرام عباسی

بهمن ماه ۱۳۸۹

اثر هدایت گرمایی بروی قرص‌های برافزایشی در حضور میدان چنبره‌ای؛ بررسی صحت جواب‌های خود مشابهی

نگارش:

منیره عابدزیدی

پایان نامه
ارائه شده به تحصیلات تکمیلی دانشگاه به عنوان بخشی
از فعالیت های تحصیلی لازم برای اخذ درجه کارشناسی ارشد

در رشته‌ی:

فیزیک (گرایش نجوم و اخترفیزیک)

از دانشگاه دامغان

ارزیابی و تأیید شده توسط کمیته پایان نامه با درجه:

دکتر شهرام عباسی، استادیار دانشکده فیزیک، (استاد راهنما)

دکتر جعفری، استادیار دانشکده فیزیک (استاد داور)

دکتر فاقعی، استادیار دانشکده فیزیک (استاد داور)

دکتراله دادی، استادیار دانشکده زیست(نماینده تحصیلات تکمیلی)

تقدیم به

حضور سبز پدرم

و

نگاه مهربان مادرم

سپاسگزاری

با سپاس از پدر و مادر عزیزم که گنجینه ی مهر و محبت هستی اند؛
و یکتا برادرم که شور و شوق دانش را از او آموختم ؛
و خواهر خوبم که حضورش در زندگی‌ام مایه‌ی امید و دلگرمی است؛
و از همسر مهربان و صبورم که به حق همسفر شایسته ای برای طی طریق علمی ام بوده اند؛
وبسیار بار سپاس، از استاد عزیزم جناب آقای دکتر شهرام عباسی که با رهنمودها و کمک های بی شائبه شان راهنمای صبوری در تمام مراحل این پایان نامه بوده اند؛
و از آقایان دکتر جعفری و دکتر فاقعی که زحمت مطالعه‌ی این پایان‌نامه را کشیدند متشکرم؛
و سپاس از دوستان خوبم که همدم شب و روزهای تلخ وشیرین تحصیلی ام بوده اند؛

چکیده

اثر هدایت گرمایی بروی قرص‌های برافزایشی در حضور میدان چنبره‌ای؛ بررسی صحت جواب‌های خود مشابهی

نگارش:

منیره عابدزیدی

در این کار، تأثیر میدان مغناطیسی چنبره‌ای برروی قرص وشکسان با پهن‌رفت غالب تحت اثر هدایت گرمایی در اطراف سیاه‌چاله با استفاده از روش خود مشابه مورد بررسی قرار می‌گیرد. حل‌های خود مشابهی را برای سرعت شعاعی، سرعت زاویه‌ای، سرعت صوت و سرعت آلفون در نظر می‌گیریم. نتایجی که بدست آوردیم نشان می‌دهد هدایت گرمایی می‌تواند به شدت بر نمایه‌های سرعت شعاعی، سرعت زاویه‌ای، ضخامت و دما تأثیرگذار باشد. نشان خواهیم داد هدایت گرمایی باعث کاهش سرعت شعاعی می‌شود و برای پارامترهای ورودی خواهیم دید جواب‌ها به ازای مقادیری از ϕ به یک حدّ غیر چرخشی می‌رسد.

فهرست مطالب

عنوان صفحه

فصل اول: مفهوم قرص‌های برافزایشی ۱

۱-۱- مقدمه ۱

۱-۲- برافزایش به عنوان منبع انرژی ۲

۱-۳- برافزایش چیست؟ ۳

۱-۴- مفهوم قرص های برافزایشی ۴

۱-۵- مدل استاندارد قرص برافزایشی ۶

۱-۶- برافزایش بوندی ۹

۱-۷- انواع قرص‌های برافزایشی در اخترفیزیک ۱۱

۱-۸- دسته‌بندی قرص‌های برافزایشی با توجه به شکل ظاهری ۱۸

فصل دوم: قرص‌های مغناطیدهِ پهن‌رفت غالب، تحت اثر هدایت گرمایی ۲۳

۲-۱- مقدمه ۲۰

۲-۲- ساز و کار تکانه‌ی زاویه‌ای و فرآیند وشکسانی در جریان‌های برافزایشی ۲۲

۲-۳- منشأ تلاطم و آشفتگی ۲۷

۲-۴- وشکسانی تلاطمی ۲۸

۲-۵- قرص‌های مغناطیده و اثر میدان مغناطیسی بر ساختار قرص ۵۱

۲-۶- اثر هدایت گرمایی ۳۰

۲-۷- اثر خود گرانش قرص بروی ساختار آن ۳۴

فصل سوم: معادلات حاکم بر سیستم ۳۷

۳-۱- مقدمه ۳۸

۳-۲- روابط و محاسبات ۳۹
۳-۳- حل خود مشابه ۴۶
فصل چهارم: نتایج ۵۵
۴-۱- نتایج ۵۶
مراجع ۷۳

فهرست جدول‌ها

عنوان و شماره صفحه

جدول ۱-۱: جرم مرکزی در اجرام مختلف ۱۱

فهرست شکل‌ها

عنوان صفحه

شکل ۱-۱: تصویر شماتیکی از برافزایش قرص بر روی سیاهچاله..... ۵

شکل ۱-۲: تصویر شماتیکی از قرص برافزایشی استاندارد پیرامون یک سیاه چاله، قرص از نظر هندسی نازک و از نظر اپتیکی ضخیم است..... ۶

شکل ۱-۳: تصویر شماتیکی از ستاره تی-تائوری..... ۱۲

شکل ۱-۴: تحول شبه ستاره از گروه صفر تا گروه سه(برگرفته از ناتا ۱۹۹۹)..... ۱۳

شکل ۱-۵: تصویر شماتیکی از متغیرهای کاتاکلیسمیک و منابع قوی پرتوهای ایکس..... ۱۵

شکل ۲-۱: تصویر شماتیکی از ADAF و SSD در قرص برافزایشی پیرامون سیاه‌چاله..... ۲۲

شکل ۲-۴: تصویر شماتیکی از خطوط میدان مغناطیسی در قرص برافزایشی..... ۳۱

شکل ۲-۵: چگونگی تولید مؤلفه‌ی چنبره‌ای میدان مغناطیسی در قرص..... ۳۲

شکل ۴-۱: نمودار c_1 بر حسب پارامتر f: این نمودار بیان‌گر دو جواب معادله‌ی درجه چهار(۳-۵۴) برای c_1 است..... ۵۷

شکل ۴-۲: مؤلفه‌ی c_1 (case1) بر حسب پارامتر f رسم شده است، با افزایش ضریب هدایت گرمایی سرعت شعاعی کاهش می‌یابد..... ۵۹

شکل ۴-۳: مؤلفه‌ی c_1 (case2) بر حسب پارامتر f رسم شده است، با افزایش ضریب هدایت گرمایی سرعت شعاعی کاهش می‌یابد..... ۵۹

شکل ۴-۴: مؤلفه‌ی c_2 (case1) بر حسب پارامتر f رسم شده است، با افزایش ضریب هدایت گرمایی سرعت زاویه‌ای کاهش می‌یابد..... ۶۰

شکل ۴-۵: مؤلفه‌ی c_2 (case2) بر حسب پارامتر f رسم شده است، با افزایش ضریب هدایت گرمایی سرعت زاویه‌ای کاهش می‌یابد..... ۶۰

شکل ۴-۶: مؤلفه‌ی c_1 (case1) بر حسب پارامتر f رسم شده است، با کاهش پارامتر وشکسانی سرعت شعاعی کاهش می‌یابد..... ۶۱

شکل ۴-۷: مؤلفه‌ی c_1(case2) بر حسب پارامتر f رسم شده است، با کاهش پارامتر وشکسانی سرعت شعاعی کاهش می‌یابد. ۶۲
شکل ۴-۸: مؤلفه‌ی c_2(case1) بر حسب پارامتر f رسم شده است، با افزایش پارامتر وشکسانی سرعت زاویه‌ای افزایش می‌یابد. ۶۲
شکل ۴-۹: مؤلفه‌ی c_2(case2) بر حسب پارامتر f رسم شده است، با افزایش پارامتر وشکسانی سرعت زاویه‌ای افزایش می‌یابد. ۶۳
شکل ۴-۱۰: مؤلفه‌ی c_1(case1) بر حسب پارامتر f رسم شده است، با افزایش پارامتر میدان مغناطیسی سرعت شعاعی افزایش می‌یابد و منجر به نازک شدن قرص می‌گردد. ۶۴
شکل ۴-۱۱: مؤلفه‌ی c_1(case2) بر حسب پارامتر f رسم شده است، با افزایش پارامتر میدان مغناطیسی سرعت شعاعی افزایش می‌یابد. ۶۴
شکل ۴-۱۲: مؤلفه‌ی c_2(case1) بر حسب پارامتر f رسم شده است، با افزایش پارامتر میدان مغناطیسی سرعت زاویه‌ای افزایش می‌یابد. ۶۵
شکل ۴-۱۳: مؤلفه‌ی c_2(case2) بر حسب پارامتر f رسم شده است، با افزایش پارامتر میدان مغناطیسی سرعت زاویه‌ای افزایش می‌یابد. ۶۵
شکل ۴-۱۴: ضخامت قرص نسبت به شعاع بر حسب پارامتر f رسم شده است(case1)، به ازای مقادیر بزرگتری از نسبت H/r بیشتر خواهد شد. ۶۶
شکل ۴-۱۵: ضخامت قرص نسبت به شعاع بر حسب پارامتر f رسم شده است(case2)، با افزایش پارامتر میدان مغناطیسی ضخامت قرص بیشتر می‌شود. ۶۶
شکل ۴-۱۶: مؤلفه‌ی c_1 بر حسب پارامتر □ رسم شده است، با افزایش پارامتر پهن‌رفت سرعت شعاعی افزایش می‌یابد و به ازای های بزرگتر جواب‌ها به یک حدّ غیر چرخشی می‌رسند. ۶۷
شکل ۴-۱۷: مؤلفه‌ی c_2 بر حسب پارامتر □ رسم شده است، با افزایش پارامتر پهن‌رفت سرعت زاویه‌ای افزایش می‌یابد و به ازای های بزرگتر جواب‌ها به یک حدّ غیر چرخشی می‌رسند. ۶۸
شکل ۴-۱۸: مؤلفه‌ی c_3 بر حسب پارامتر □ رسم شده است، با افزایش پارامتر پهن‌رفت سرعت صوت افزایش می‌یابد و به ازای های بزرگتر جواب‌ها به یک حدّ غیر چرخشی می‌رسند. ۶۸
شکل ۴-۱۹: مؤلفه‌ی c_1 بر حسب پارامتر □ رسم شده است، با افزایش پارامتر میدان مغناطیسی سرعت شعاعی افزایش می‌یابد و به ازای های بزرگتر جواب‌ها به یک حدّ غیر چرخشی می‌رسند. ۶۹
شکل ۴-۲۰: مؤلفه‌ی c_2 بر حسب پارامتر □ رسم شده است، با افزایش پارامتر میدان مغناطیسی سرعت زاویه-ای افزایش می‌یابد و به ازای های بزرگتر جواب‌ها به یک حدّ غیر چرخشی می‌رسند. ۶۹
شکل ۴-۲۱: مؤلفه‌ی c_3 بر حسب پارامتر □ رسم شده است، با افزایش پارامتر میدان مغناطیسی سرعت صوت افزایش می‌یابد و به ازای های بزرگتر جواب‌ها به یک حدّ غیر چرخشی می‌رسند. ۷۰
شکل ۴-۲۲: نمایه دمای قرص برحسب شعاع. دمای قرص در لایه‌های درونی بیشتر است، با افزایش پارامتر پهن‌رفت دمای قرص نیز افزایش می‌یابد. ۷۱

شکل ۴-۲۳: نمایه دمای قرص برحسب شعاع. افزایش پارامتر میدان مغناطیسی منجر به افزایش دمای قرص می‌گردد. ۷۱
شکل ۴-۲۴: نمایه دمای قرص برحسب شعاع به ازای مقادیر مختلفی از پارامتر هدایت گرمایی. با افزایش پارامتر هدایت گرمایی دمای قرص کاهش می‌یابد. ۷۲

فصل اول

مفاهیم قرص‌های برافزایشی

۱-۱ مقدمه

ارائه مدل نظری از قرص برافزایشی به وقتی بر می‌گردد که ویسکر[۱]مقاله اش را در سال ۱۹٤۸ در مورد چرخش گاز کیهانی منتشر کرد[۱۵]. اولین بحث‌ها در مورد برافزایش در میانه قرن هجدهم در کارهای کانت[۲] و لاپلاس[۳] مطرح گردید و بعد از آن فرد هویل[۴] به همراه اختر-فیزیکدان معروف کمبریج ریموند لیتلتون[۵] بحثی را در مورد تغییر تابندگی ستارگان خورشید مانند، در اثر برافزایش گاز از ابر گازی میان ستاره‌ای آغاز کردند. مقاله آنها در سال ۱۹۳۹ چاپ شد و موضوع برافزایش را در اخترفیزیک وارد کرد[۳۹]. بعد از آن مفهوم برافزایش نمودی دیگر گرفت و مقاله‌های زیادی در این باره به چاپ رسید.

مهمترین مقاله بعدی توسط هرمان بوندی[۶] نوشته شد که حالت برافزایش کروی غیر چرخان را در نظر گرفته بود. از دیگر مقاله‌ها در زمینه‌ی برافزایش در دهه‌ی ۱۹۷۰ توسط شاکورا[۷] و سانیو[۸] ارائه شد. آنها یک نظریه‌ی کامل از تعادل شاره‌های برافزایشی با تکانه‌ی غیر صفر و آهنگ برافزایشی بسیار کم ارائه دادند. توصیف آنها از وشکسانی به الگوی آلفا مشهور شد که در سال‌های بعد به شدت مورد علاقه‌ی اخترفیزیکدان‌ها قرار گرفت.

---

[1] Weizs*ac̈ker*

[2] Kant

[3] Laplace

[4] Fred Hoyle

[5] Reymond Lyttelton

[6] Herman Bondi

[7] Shakura

[8] Sunyaev

اغلب چارچوب اساسی برای تحقیق‌ها در فهم هسته‌های فعال کهکشانی [۱] بر پایه‌ی توصیف-های قرص برافزایشی در مقاله‌های کلاسیکی است که توسط ناویگف[۲] و سورن [۳] و همچنین شاکورا و سانیو در سال ۱۹۷۳ ارائه شده است. توصیف دانشمندان فوق از قرص برافزایشی الهام گرفته از روشنایی خیلی زیاد هسته‌های فعال کهکشانی بود.

در طی دو دهه‌ی اخیر اطلاعات ارزشمندی در مورد وجود قرص‌های برافزایشی عظیم در قسمت مرکزی برخی کهکشان‌ها بدست آمده است. همانطور که می‌دانیم اطلاعات رصدی درباره سیاه چاله‌ها بسیار کم است و هر آنچه بدست می‌آوریم بر پایه‌ی اطلاعاتی است که از تأثیرات سیاه چاله‌ها بر محیط اطرافش(یعنی قرص‌های برافزایشی) بدست می‌آید. به همین دلیل هر چه شناخت کامل تری از قرص‌های برافزایشی داشته باشیم، قطعاً اطلاعات بیشتری درباره سیاه چاله‌ها و خصوصیات آن‌ها بدست می‌آوریم.

۱-۲ برافزایش به عنوان منبع انرژی

دو منبع مهم انرژی در جهان، انرژی هسته‌ای و انرژی گرانشی است. برای مقایسه این دو انرژی از ضریب تبدیل انرژی استفاده می کنیم، که نسبت انرژی آزاد شده به انرژی ماده (mc^2) است، که آن را با η نشان می دهیم.

این نسبت برای گداخت هسته‌ای هیدروژن که در آن چهار اتم هیدروژن به یک اتم هلیوم تبدیل می‌شود برابر۰.۰۰۷می‌باشد و برای جرم M که در فاصله نامعین R از نظر گرانشی قرار دارد η_G به صورت زیر بدست می‌آید:

$$\eta_G = \frac{GM}{Rc^2} \cong 2 \times 10^{-6}$$

[1] AGN

[۲] Novikov

[۳] Thoren

درقرن نوزدهم فیزیکدانان تصور می‌کردند که گرانش تنها منبع انرژی است که از اجرام سماوی دریافت می‌شود. اما گرانش، انرژی کافی برای عمر شناخته شده‌ی خورشید نبود. از طرفی در آغاز قرن بیستم، اجرام درخشان زیادی دیده شد که انرژی هسته‌ای ستاره‌ها برای آن کاملا ناکافی بود. فروریزش مواد برروی جسمی که دارای گرانش است باعث آزاد شدن انرژی پتانسیل گرانشی است که هم اکنون آن را به عنوان منبع اصلی انرژی در انواع مختلفی از سیستم‌های دوتایی و همچنین در هسته‌های فعال کهکشانی و اختروش‌ها می‌دانند. بنابراین یک نقش جدید برای گرانش به وجود آمد، زیرا برافزایش بر روی اجرام فشرده یک سازوکار طبیعی و قدرتمند در تولید تابش‌های با انرژی بالا است.

برای یک جسم به جرم M وشعاع R_*، انرژی پتانسیل گرانشی آزاد شده به وسیله‌ی برافزایش جرم m روی سطح آن برابر خواهد بود با:

$$\Delta E_{acc} = \frac{GMm}{\mathrm{R}_*}$$

که در آن G ثابت گرانش است. اگر جرم مرکزی یک ستاره نوترونی با شعاع 10 km بوده و حاوی جرمی برابر جرم خورشید باشد، ΔE_{acc} در حدود 10^{20} erg g^{-1} خواهد بود. اگر بخواهیم انرژی فوق را با انرژی آزاد شده از گداخت هسته‌ای مقایسه کنیم ، می‌بینیم که واکنش H→He منجر به آزاد شدن انرژی:

$$\Delta E = 0.007mc^2 \cong 6 \times 10^{18}\mathrm{erg}\ g^{-1}$$

می‌شود که ۱/۲۰ انرژی آزاد شده از برافزایش است.

اگر ذره‌ای را در نظر بگیریم که در یک مدار دایروی دور ستاره‌ای می‌چرخد، چنانچه این ذره به مدار کوچکتری منتقل شود انرژی آزاد شده تقریباً با انرژی قیدی مدار کوچکتر برابر خواهد بود. این انرژی برای مدارهای اجرامی که به اندازه‌ی کافی فشرده‌اند می‌تواند به کسر مشخصی از انرژی جرم در حال سکون آن‌ها تبدیل شود. به طور مثال حدود ۱۰ درصد انرژی جرم در حال سکون از مدار اطراف ستاره‌ی نوترونی می‌تواند به انرژی پتانسیل گرانشی تبدیل شود، در مورد سیاه‌چاله‌ها این مقدار به بیشتر از ۴۰ درصد انرژی سکون می‌رسد[۳۹]،[۴۰].

۱-۳ برافزایش چیست؟

اگر ستاره‌ای در یک محیط گازی همگـن و سـاکن قـرار بگیـرد، مـواد بـر روی آن برافـزایش خواهند کرد. این نوع برافزایش را برافزایش بوندی یا کروی می‌نامند که ساده‌ترین نـوع شـارش برافزایشی است و زمانی به کار می‌رود که گاز تکانه‌ی زاویـه‌ای چنـدانی نداشـته باشـد، کـه در ادامه به آن خواهیم پرداخت.

حال ذره‌ای را در نظر می‌گیریم که در یک مدار دایروی دور ستاره‌ای می‌چرخد. اگر این ذره بـه مدار کوچکتری منتقل شود انرژی آزاد شده تقریبا با انرژی قیدی مـدار کـوچکتر برابـر خواهـد بود. این انرژی برای اجرام فشرده می‌تواند مقدار قابل توجهی از انـرژی جـرم سـکون ذره باشـد. همانطور که گفته شد برای مدارهای اطراف یک ستاره نـوترونی حـدود ۱۰درصـد و بـرای یـک سیاهچاله بیش از ۴۰ درصد انرژی جرم سکون ذره است. بیشتر شاره‌های اخترفیزیکی به شدت چرخان هستند و یکی از مشکلات اساسی این است که چگونه تکانه زاویه‌ای انتقال مـی‌یابـد تـا برافزایش رخ دهد. درحالیکه در این‌گونه شاره‌ها انرژی می‌تواند به گرما تبدیل شـود و از محـیط خارج گردد، توجیه چگونگی انتقال تکانه زاویه‌ای کار مشکلی است[۴۱].

۱-۴ مفهوم قرص های برافزایشی

قرص های برافزایشی ، یک ساختار قرص مانند از مواد است که به شکل حلقوی به دور یک جسم خاص می چرخند، قرص گازیِ چرخان به دلیل وجود گرانش اطراف گونه‌های خاصی از ستاره‌ها مانند ستاره‌های جوان تی-تائوری[۱]، ستاره‌های رشته اصلی[۲]، کوتوله‌های سفید[۳]، های نوترونی[۴] و یا دیگر اشیاء پر جرم آسمانی مانند سیاه‌چاله‌ها شکل می‌گیرد[۳۹].

[1] T-Tauri

[2] MS’s

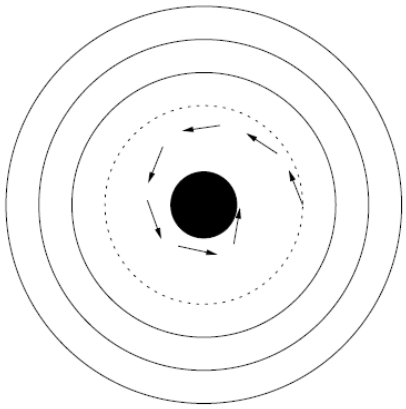
[3] WDs

[4] NSs

این قرص چرخان می‌تواند در سیستم‌های ستاره‌های دوتایی نزدیک به هم که یکی از آن‌ها به صورت کوتوله‌ای سفید، ستاره‌ای نوترونی یا به صورت سیاه‌چاله باشد و یا سیاهچاله پر جرمی که مرکز بعضی از کهکشان‌ها را تشکیل می‌دهند وجود داشته باشد.

مواد از محیط اطراف یا یک ستاره بزرگ که گرانش سطحی برای نگه داشتن لایه‌های بیرونی آن ناچیز است مانند ستاره‌ی غول قرمز به سمت ستاره متراکم‌تر (مانند کوتوله سفید یا سیاهچاله) حرکت کرده(انتقال جرم) و در اثر برافزایش در اطراف ستاره تشکیل یک قرص می‌دهند. مواد درون این قرص حول جرم مرکزی حرکتی چرخشی داشته و نهایتاً به سطح آن سقوط می‌کنند.

این سقوط می‌تواند به تولید اشعه ایکس یا گاما یا ماوراء بنفش منجر شود. این تابش برای ستارگان جوان، مادون قرمز و برای بازماندگان ستاره‌ای، پرتو ایکس است. در مورد سیاهچاله-های پر جرم می‌توان انتظار تشکیل جت‌هایی از موادی مانند الکترون‌های پر سرعت داشت که به صورت عمود بر صفحه قرص و مرکز آن و از دوسمت آن به خارج پرتاب می‌شوند. این جت‌ها منبع امواج قوی رادیویی هم می‌باشند.

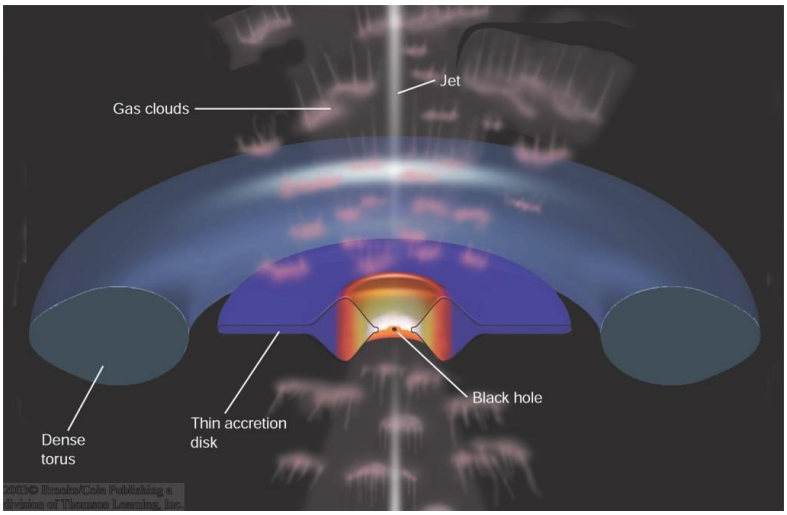


۱-۱ تصویر شماتیکی از برافزایش قرص بروی سیاه‌چاله

بطور کلی فرآیند برافزایش در بسیاری از پدیده‌های اختر فیزیکی موثر است، از شکل گیری منظومه شمسی گرفته تا تشکیل حلقه‌های زحل، شکل‌گیری ستاره‌های دوتایی تولید کننده اشعه ایکس ، منابع قوی رادیویی و تپنده‌ها.

دو دسته اشعه در طیف تابش سیستم‌های دوتایی که از قرص برافزایشی تابش می‌گردد دیده می‌شود که یکی از این دو، تابش جسم سیاه بوده و دسته دوم اشعه‌ی ایکس سخت تا انرژی ۱۵۰ Kev است. در واقع طیف این دسته دوم شاهدی بر وجود سیاهچاله بعنوان زوج نامرئی این دوتایی است. البته اگر این زوج، ستاره‌ی نوترونی هم باشد اشعه ایکس تولید می‌شود ولی نشان داده شده است که در این صورت اشعه ایکس دارای انرژی حدود ۱۰۰ Kevخواهد بود .

اخیرا اشعه گاما پرانرژی هم برای ستاره‌های دوتایی نزدیک به هم مشاهده شده است که بر سیاهچاله بودن شئ غیرقابل رویت این دوتایی تاکید می‌کند. تاکنون تعداد زیادی از این سیستم‌های دوتایی که می‌تواند شاهد وجود سیاهچاله باشد کشف شده است و امروزه یکی از زمینه‌های مشاهده‌ای کشف و بررسی این گونه دوتایی‌هاست.



۱-۲ تصویر شماتیکی از قرص برافزایشی استاندارد پیرامون یک سیاه چاله، قرص از نظر هندسی نازک و از نظر اپتیکی ضخیم است.