بسم الله الرحمن الرحیم

دانشگاه سیستان و بلوچستان
تحصیلات تکمیلی

پایان نامه کارشناسی ارشد در رشته فیزیک گرایش فیزیک نجومی

عنوان:

تعیین طیف پیوسته‌ی کوازار به کمک آنالیز مؤلفه‌های اصلی طیف

استاد راهنما:
دکتر علیرضا آقائی

تحقیق و نگارش:
زینب کیامهر

بهمن ۱۳۹۰

بسمه تعالی

این پایان نامه با عنوان **تعیین طیف پیوسته‌ی کوازار به کمک آنالیز مؤلفه‌های اصلی طیف** قسمتی از برنامه آموزشی دوره کارشناسی ارشد فیزیک توسط دانشجو **زینب کیامهر** تحت راهنمایی استاد پایان نامه **جناب آقای دکتر علیرضا آقائی** تهیه شده است. استفاده از مطالب آن به منظور اهداف آموزشی با ذکر مرجع و اطلاع کتبی به حوزه تحصیلات تکمیلی دانشگاه سیستان و بلوچستان مجاز می باشد.

(نام و امضا دانشجو)

این پایان نامه ..... واحد درسی شناخته می شود و در تاریخ ..... توسط هیئت داوران بررسی و درجه ..... به آن تعلق گرفت.

	نام و نام خانوادگی	**امضاء**	**تاریخ**
استاد راهنما:	دکتر علیرضا آقائی		
استاد مشاور:			
داور ۱:	دکتر موسی علی احمد		
داور ۲:	دکتر بهرام خالصه		

نماینده تحصیلات تکمیلی:

دانشگاه سیستان و بلوچستان

تعهدنامه اصالت اثر

اینجانب زینب کیامهر تأیید می کنم که مطالب مندرج در این پایان نامه حاصل کار پژوهشی اینجانب است و به دستاوردهای پژوهشی دیگران که در این نوشته از آن استفاده شده است مطابق مقررات ارجاع گردیده است.این پایان نامه پیش از این برای احراز هیچ مدرک هم سطح یا بالاتر ارائه نشده است.

کلیه حقوق مادی و معنوی این اثر متعلق به دانشگاه سیستان و بلوچستان می باشد

نام و نام خانوادگی دانشجو: زینب کیامهر

امضاء

چکیده:

دسته‌ای از منابع رادیویی که ظاهری شبیه ستارگان دارند اما رده‌ای از هسته‌های کهکشانی فعال هستند را کوازار[1] می‌نامند. در طیف کوازارهای دور و در ناحیه‌ی طول‌موج‌های کوچکتر از تابش لیمان‌آلفای کوازار، تعداد زیادی خطوط جذبی مشاهده می‌گردد که ناشی از هیدروژن خنثی موجود در فضای بین‌کهکشانی است. این خطوط جذبی که تعلق به خط لیمان‌آلفای هیدروژن دارند و به دلیل فراوانی بالای آنها، جنگل لیمان‌آلفا نامیده می‌شوند. جهت تعیین مقدار نور جذب شده‌ی کوازار توسط فضای بین‌کهکشانی در انتقال به سرخ‌های مختلف، بایستی طیف پیوسته‌ی کوازار در ناحیه‌ی جنگل لیمان‌آلفا تعیین گردد. هدف ما پیش‌بینی طیف پیوسته‌ی کوازارهای تابان در این ناحیه، با استفاده از طیف طول‌موج‌های بزرگتر از خط نشری لیمان‌آلفای کوازار به روش آماری تجزیه-تحلیل مؤلفه‌های اصلی طیف است. بدین منظور تعداد ۸۹۲ کوازار از مجموعه‌ی بیش از ۱۰۵۰۰۰ کوازار انتشاری در هفتمین سری از داده‌های پیمایش SDSS که انتقال به سرخ‌های ۲/۷≤ z ≤۴/۷ و قدرمطلق در صافی آبی آن‌ها کوچکتر از ۲۸- است ($M_B \leq$ ۲۸-)، را انتخاب نمـودیم. پس از تعیین طیف پیوسته‌ی این کوازارها و اندازه‌گیری مقدار متوسط جذب هیدروژن خنثی فضای بین‌کهکشانی در انتقال به سرخ‌های متـفاوت، بستـگی به انتـقال به سرخ آن‌ها بررسی و با آخریـن اندازه‌گیـری‌های انجام شده توسط گروه‌های دیگر مقایسه گردید.

کلمات کلیدی: کیهان‌شناسی مشاهده‌ای، طیف پیوسته‌ی کوازار، فضای بین‌کهکشانی، آنالیز مؤلفه‌های اصلی.

۱ - کوازار: QUASAR or QUASi-stellAR

فهرست

عنوان **صفحه**

۱- فصل اول ۱

۱-۱- مقدمه ۲

۲- فصل دوم ۴

۲-۱- مقدمه ۵

۲-۲- هسته‌ی کهکشانی فعال ۵

۲-۳- منبع مرکزی (اَبَرسیاهچاله) ۷

۲-۴- قرص برافزایشی ۷

۲-۵- جت در هسته‌ی کهکشانی فعال ۹

۲-۶- میدان مغناطیسی ۱۱

۲-۷- باد ناشی از سطح قرص برافزایشی ۱۲

۲-۸- روابط انتقال به سرخ ۱۲

۲-۹- اندازه و جرم منبع مرکزی ۱۳

۲-۱۰- الگوی یکانی برای هسته‌های کهکشانی فعال ۱۴

۲-۱۰-۱- تقسیم‌بندی کهکشان‌های فعال ۱۵

۲-۱۱- کهکشان‌های سیفرت ۱۶

۲-۱۲- بلازار ۱۶

۲-۱۳- کهکشان رادیویی ۱۷

۲-۱۴- کوازار ۱۷

۲-۱۵- عمر کوتاه کهکشان فعال..... ۲۰

۳- فصل سوم ۲۲

۳-۱- مقدمه ۲۳

۳-۲- مروری بر روش‌های چندمتغیره..... ۲۳

۳-۳- روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی ۲۳

۳-۳-۱- پیش‌زمینه‌ی ریاضی این روش..... ۲۴

۳-۳-۲- بیان کلی روش تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های اصلی ۲۵

۳-۳-۳- تحلیل مؤلفه‌های اصلی با استفاده از ضریب رگرسیون ۲۶

۳-۳-۴- تحلیل مؤلفه‌های اصلی با استفاده از ضرائب وزنی ۲۸

۳-۴- ویژگی‌های مؤلفه‌های اصلی ۳۱

۴- فصل چهارم ۳۲

۴-۱- مقدمه ۳۳

۴-۲- روش‌های تعیین طیف پیوسته ۳۳

۴-۳- تخمین طیف پیوسته‌ی کوازار ۳۴

۴-۴- تجزیه_تحلیل مؤلفه‌های اصلی خطوط طیفی کوازار ۳۵

۴-۵- پیش‌بینی طیف‌ها..... ۳۸

۴-۵-۱- روش‌ها ۳۸

۴-۵-۲- ارائه‌ی پیش‌بینی..... ۳۹

۵- فصل پنجم..... ۴۲

۵-۱- مقدمه ۴۳

۵-۲- انتخاب داده‌ها ۴۳
۵-۳- چگونگی روند کار ۴۴
۵-۴- نتایج ۴۵
۵-۴-۱- نمودار فراوانی ۴۵
۵-۴-۲- پیش‌بینی طیف‌های پیوسته ۴۵
۵-۴-۳- تعیین مقدار جذب هیدروژن خنثی ۴۹
جمع‌بندی و نتیجه‌گیری ۵۱
پیشنهادها ۵۲
مراجع ۵۴
پیوست‌ها ۶۰
پیوست الف ۶۱

فهرست جدول‌ها

عنوان جدول **صفحه**

جدول ۳-۱. روش‌های چند متغیره و اهداف آنها ۲۴

جدول ۵-۱. مقدار جذب هیدروژن خنثی فضای بین کهکشانی برحسب انتقال به سرخ ۵۰

فهرست شکل‌ها

عنوان شکل **صفحه**

شکل ۲-۱. تصویری از هسته‌ی کهکشانی فعال به همراه مؤلفه‌های تشکیل دهنده‌ی آن..... ۶

شکل ۲-۲. حرکت مارپیچی ماده به طرف اَبَرسیاهچاله و تشکیل قرص برافزایشی ۷

شکل ۲-۳. هسته‌ی کهکشان رادیویی NGC 4261، اطراف هسته‌ی ۹

شکل ۲-۴. جت‌ها، شارش‌های به غایت قدرتمندی از پلاسما هستند..... ۱۰

شکل ۲-۵. خطوط میدان مغناطیسی مانند یک طناب پیچ خورده ۱۱

شکل ۲-۶. الگوی یکانی برای دسته‌بندی کهکشان‌های فعال..... ۱۵

شکل ۲-۷. زاویه‌ی دید ناظر زمینی به یک کوازار ۱۸

شکل ۲-۸. تصویری از کهکشان ۳C۲۷۳ که با تلسکوپ فضایی هابل گرفته شده است. ۱۹

شکل ۲-۹. طیف دو کوازار ۳C۲۷۳ و Q۱۴۲۲+۲۳۰۹ به ترتیب با z=۰/۱۵۸ و z=۳/۶۲ را نشان می‌دهد ... ۲۰

شکل ۲-۱۰. تعداد کهکشان‌های فعال از زمان تولد جهان تا زمان حال..... ۲۱

شکل ۳-۱. انتقال داده‌ها به عوامل اصلی..... ۲۷

شکل ۴-۱. طیف‌های پیوسته‌ی بدست آمده توسط روش‌های متفاوت ۳۴

شکل ۴-۲. همبستگی بین قسمت‌های قرمز و آبی طیف به دست آمده با استفاده از ماتریس همبستگی. ۳۷

شکل ۴-۳. طیف پیوسته کوازار با z~۴ بدست آمده از روش تجزیه-تحلیل مؤلفه‌های اصلی ۴۰

شکل ۴-۴. طیف میانگین، طیف‌های پیوسته‌ی به دست آمده برای ۵۰ کوازار. ۴۱

شکل ۵-۱. تصویری از کوازاری با داده‌های کامل..... ۴۳

شکل ۵-۲. نمودار فراوانی کوازارها بر حسب انتقال به سرخ نشری کوازارها..... ۴۵

شکل ۵-۳. طیف مشاهده‌ای و طیف پیوسته‌ی پیش‌بینی شده..... ۴۷

شکل ۵-۴. میانگین طیف‌های پیوسته‌ی پیش‌بینی شده برای هریک از ۶۶۵ کوازار..... ۴۸

شکل ۵-۵. مقدار متوسط جذب هیدروژن خنثی DA، برحسب تابعی از طول‌موج. ۵۱

فصل اول

مقدمه

۱-۱- مقدمه

در مرکز هر کهکشان، ناحیه‌ی کوچک و چگال از ماده وجود دارد که هسته نامیده می‌شود. در کهکشان‌های فعال این هسته درخشان‌تر از همه‌ی قسمت‌های دیگر درون کهکشان است و به آن هسته‌ی کهکشانی فعال[۲] (AGN) می‌گویند. تابش یک هسته‌ی کهکشانی فعال، تمام گستره‌ی طیف الکترومغناطیسی از رادیویی تا پرتو ایکس و حتی پرتو گاما را شامل می‌شود. هسته‌های کهکشانی فعال شامل ابر سیاهچاله‌های پرجرم[۳]، قرص برافزایشی و جت‌ها[۴] می‌شوند. اَبَرسیاهچاله‌های پرجرم و قرص برافزایشی آن‌ها به وسیله‌ی چنبره‌هایی از گاز و گرد و غبار احاطه شده‌اند و نوع هسته‌ی کهکشانی فعالی که دیده می‌شود به جهت چنبره‌ها و جت‌ها نسبت به خط دید ناظر وابسته است. بر این اساس هسته‌های کهکشانی فعال به چند گروه تقسیم می‌شوند:

- کوازارها
- بلازارها
- کهکشان‌های رادیویی
- کهکشان‌های سیفرت

اگر زاویه‌ی دید ما به یک هسته‌ی کهکشانی فعال بگونه‌ای باشد که تمام مؤلفه‌های تشکیل دهنده‌ی آن قابل دیدن باشد، ما یک کوازار را خواهیم دید. کوازارها نیز به نوبه‌ی خود شامل کوازارهای رادیویی آرام و کوازارهای رادیویی فعال می‌شوند. در مقایسه با انواع دیگر هسته‌های کهکشانی فعال، کوازارها با قله‌ی لیمان‌آلفا مشخص می‌شوند.

کوازارها به عنوان زیرگروهی از هسته‌های کهکشانی فعال بسیار پرانرژی و دور شناخته می‌شوند. آنها منبع رادیویی شبه‌ستاره‌ای هستند و بسیار درخشان‌اند. در پیمایش[۵] (SDSS) بیش از ۱۰۵۰۰۰ کوازار مشاهده شده‌اند، این کوازارها دارای انتقال به سرخ‌هایی از حدود ۰/۰۶ تا بیش از ۶ می‌باشند. در طیف کوازارهای دور و در ناحیه‌ی طول‌موج‌های کوچکتر از تابش لیمان‌آلفای کوازار تعداد زیادی خطوط جذبی مشاهده می‌گردد که

---

۲ - هسته‌ی کهکشانی فعال: Active Galactic Nucleus

۳ - گستره‌ی جرم ابرسیاهچاله‌های پرجرم از ۱۰ میلیون تا چند میلیارد برابر جرم خورشید را شامل می‌شود.

۴ - جت‌ها جفت شارش‌های به غایت قدرتمندی از پلاسما هستند که با سرعت‌های نزدیک به سرعت نور در جهات مخالف از مرکز دیسک بیرون می‌آیند.

۵- Sloan Digital Sky Survey

ناشی از هیدروژن خنثی موجود در فضای بین‌کهکشانی است. این خطوط جذبی که تعلق به خط لیمان‌آلفای هیدروژن دارند و به دلیل فراوانی بالای آنها، به جنگل لیمان‌آلفا شهرت دارند.

جهت تعیین مقدار نور جذب شده‌ی کوازار توسط فضای بین‌کهکشانی در انتقال به سرخ‌های مختلف بایستی طیف پیوسته‌ی کوازار در ناحیه‌ی جنگل لیمان‌آلفا تعیین گردد. تعیین این طیف پیوسته در طیف‌هایی که تفکیک‌پذیری آنها پایین و انتقال به سرخ آنها بالاست، به دلیل فراوانی خطوط جذبی تقریباً غیر ممکن است. روش‌های متفاوتی در تعیین این طیف پیوسته وجود دارد که در مقاله‌ی آقائی و همکارانش در سال ۲۰۱۰ به آن پرداخته شده است [۱].

هدف ما در این پایان‌نامه، به کار بردن روش آماری تجزیه-تحلیل مؤلفه‌های اصلی[۶] (PCA) به منظور پیش‌بینی طیف پیوسته‌ی کوازارهای تابان در جنگل لیمان‌آلفا (قسمت آبی طیف ۱۲۱۶-۱۰۲۰ آنگستروم)، با استفاده از طیف طول‌موج‌های بزرگتر از خط نشری لیمان‌آلفای کوازار (قسمت قرمز طیف ۱۶۰۰-۱۲۱۶ آنگستروم) است. این عمل با توجه به همبستگی بالایی که بین این دو قسمت طیف وجود دارد و در مقاله‌ی سوزوکی و همکارانش در ۲۰۰۵ [۲]، نشان داده شد، امکان‌پذیر می‌باشد.

در این روش می‌توان تعداد زیادی متغیر همبسته را با تعداد محدودی متغیر مستقل جدید که مؤلفه‌های اصلی نامیده می‌شوند و ناهمبسته‌اند، جایگزین نمود، به این ترتیب بعد مساله تقلیل می‌یابد و مؤلفه‌هایی از مجموعه داده که بیشترین تاثیر در واریانس را دارند حفظ می‌شود.

نمونه‌ی آماری داده‌ها را از مجموعه‌ی بیش از ۱۰۵۰۰۰ کوازار منتشر شده در DR7[۷] انتخاب نمودیم. در این انتخاب، کوازارهایی که انتقال به سرخ آنها در بازه‌ی $۲/۷ \leq z \leq ۴/۷$ و قدرمطلق در صافی آبی آنها کوچکتر از ۲۸- بود را انتخاب نموده تا طیف پیوسته‌ی این کوازارهای تابان را در ناحیه‌ی جنگل لیمان‌آلفا پیش‌بینی کنیم. پس از تعیین طیف پیوسته‌ی این کوازارها و اندازه‌گیری مقدار متوسط جذب هیدروژن خنثی فضای بین‌کهکشانی در انتقال به سرخ‌های متفاوت، بستگی آن به انتقال به سرخ را بررسی و با آخرین اندازه‌گیری‌های انجام شده توسط گروه‌های دیگر مقایسه نمودیم.

---

۶ - تجزیه-تحلیل مؤلفه‌های اصلی: Principal Component Analysis

۷ - اطلاعات انتشاری در هفتمین سری داده‌های پیمایش SDSS: Data Release 7

فصل دوم

هسته‌های کهکشانی فعال

(AGNs: Active Galactic Nucleus)

۲-۱- مقدمه

در این فصل ضمن تعریف جامعی از هسته‌های کهکشانی فعال، با در نظر گرفتن الگویی یکانی برای آنها به چگونگی رده‌بندی آنها خواهیم پرداخت و مشخصه‌ی شناخت هریک از انواع آنها را بیان می‌کنیم. در پایان تعریف کامل‌تری از کوازار و نواحی مختلف طیف یک کوازار ارائه خواهد شد.

۲-۲- هسته‌ی کهکشانی فعال

عبارت "کهکشان فعال" برای توصیف گستره‌ی وسیعی از کهکشان‌ها استفاده می‌شود که مشخصات غیر عادی و اغلب نا آشنایی دارند که ناشی از فعالیت بالای هسته‌ی آن‌هاست [۳]. بیشترین انرژی تابش شده به وسیله‌ی یک کهکشان عادی توسط نور ستارگان (میلیاردها ستاره و نواحی HII[۸]) و سهم کوچکی از گاز و گرد و غبار، تولید می‌شود. کهکشان فعال در گستره‌ی وسیعی از طول‌موج‌ها تابش بالایی دارد و روی هم رفته گستره‌ی توان تابشی آن‌ها از $۱۰^{۳۷}$ تا بیشتر از $۱۰^{۴۰}$ وات است (چند هزار بار بیشتر از توان تابشی کهکشانی عادی مثل راه شیری). بیشتر انرژی تابیده‌شده از یک کهکشان‌فعال توسط ذرات باردار متحرک (با سرعت بسیار بالا) در میادین مغناطیسی ساطع می‌شود. کهکشان فعال، هسته‌ای بسیار درخشان و متراکم دارد که تابندگی و روشنی‌اش به سرعت تغییر می‌کند و جت‌های باریکی از مواد تابان را به بیرون پرتاب می‌کند. این تابش اساساً از یک ناحیه‌ی مرکزی خیلی کوچک (هسته) سرچشمه می‌گیرد که هسته‌ی کهکشانی فعال (AGN) نامیده می‌شود. یک هسته‌ی‌کهکشانی فعال بطور گسترده‌ای در سرتاسر گستره‌ی وسیعی از طول‌موج‌ها تابش می‌کند بطوریکه در رادیویی، مادون‌قرمز، فرابنفش و طول‌موج‌های پرتوی X بسیار تابان‌تر از کهکشان‌های معمولی است. هسته‌های کهکشانی فعال، درخشنده‌ترین منابع پایدار تابش الکترومغناطیسی در جهان هستند و بنابراین می‌توان از آن‌ها برای ژرفیابی کیهان استفاده نمود. بیشترین انرژی تابش شده توسط کهکشان فعال مربوط به ذرات بارداری است که با سرعت‌های نسبیتی در میدان مغناطیسی حرکت می‌کنند [۴].

۸- نواحی هیدروژن یونیزه

مؤلفه‌های تشکیل دهنده‌ی هسته‌ی کهکشانی فعال عبارتند از:

۱. جسم مرکزی که میدان گرانشی قوی ایجاد می‌کند (اَبَرسیاهچاله) و دارای تکانه زاویه‌ای است.

۲. قرص برافزایشی که همراه جرم مرکزی در یک صفحه قرار گرفته است.

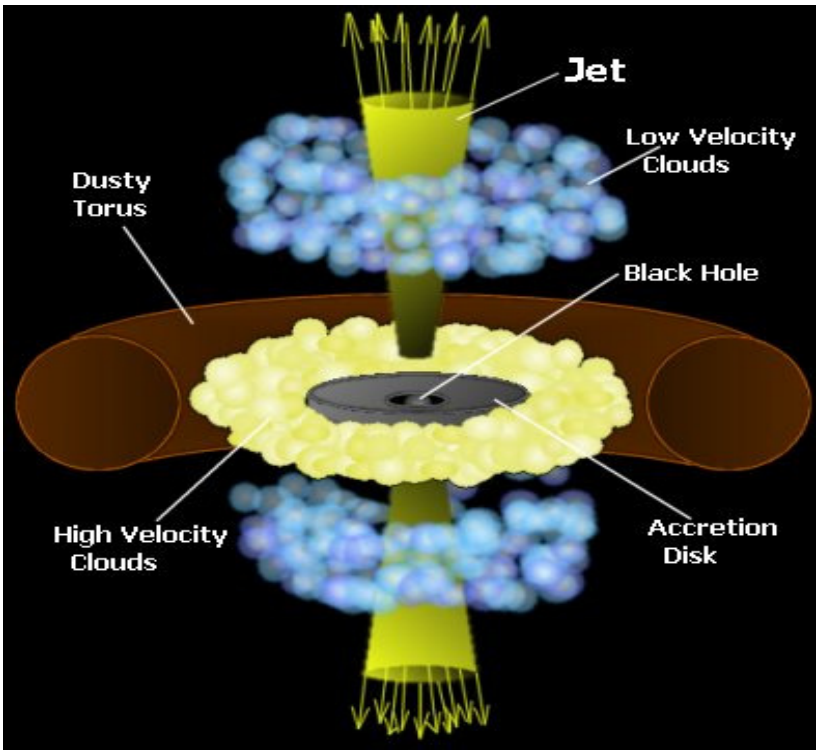
۳. میدان مغناطیسی پیرامون جسم مرکزی که بر قرص تاثیر می‌گذارد.

۴. میدان مغناطیسی قرص.

۵. شارشی قوی از ماده که در راستای محور چرخش جسم مرکزی پرتاب شده است (جت).

۶. بادی از ماده که از سطح قرص ناشی می‌شود [۵].

درشکل ۲-۱ نمای کلی یک هسته‌ی کهکشانی فعال نشان داده شده است و هریک از اجزای این هسته‌ی کهکشانی فعال از جمله قرص برافزایشی، جت‌ها، چنبره‌ی گرد و غبار و غیره در قسمت‌های بعدی این فصل معرفی خواهد شد [۶].



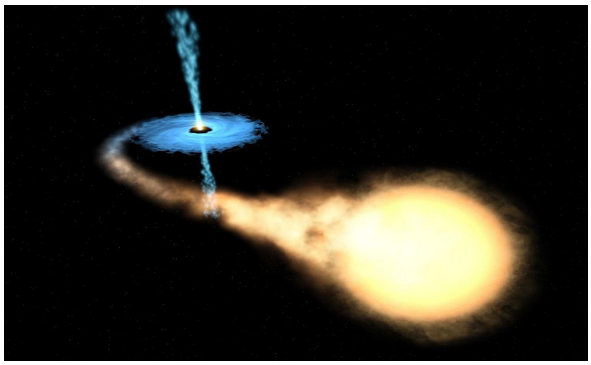
شکل ۲-۱. تصویری از هسته‌ی کهکشانی فعال به همراه مؤلفه‌های تشکیل دهنده‌ی آن [۷].

۲-۳- منبع مرکزی (اَبَرسیاهچاله)

اغلب اختر فیزیکدانان بر این باورند که هر هسته‌ی کهکشانی فعال، شامل اَبَرسیاهچاله ای با جرمی بین ۱۰ میلیون تا چند میلیارد برابر جرم خورشید است. تغییرات تابندگی هسته‌ی کهکشانی فعال در مقیاس‌های زمانی کوتاه بیانگر این است که منبع انرژی مرکزی آن‌ها بایستی در مقیاس کیهانی، بسیار کوچک باشند. اساساً روشنایی هیچ منبع نوری نمی‌تواند در دوره‌ی تناوبی کوتاه‌تر از مدت زمانی که طول می‌کشد تا نور از یک طرف منبع به طرف دیگر آن حرکت کند، تغییر کند. چون اَبَرسیاهچاله کوچک‌تر از قرص برافزایشی است با توجه به مقیاس زمانی تغییرات روشنایی، می‌توان یک حد بالا برای اندازه‌ی آن تعیین کرد. مثلاً اگر روشنایی منبع انرژی در دوره تناوبی از مرتبه‌ی ۱ روز (تقریباً 10^5 ثانیه) تغییر کند، اندازه‌ی سیاهچاله باید کمتر از ۱ روز نوری باشد. شواهد بیشتر بر وجود جسم فشرده‌ی سنگین در هسته‌ی کهکشانی فعال از تصویر برداری و طیف سنجی با تفکیک‌پذیری بالا به دست می‌آید [۳].

۲-۴- قرص برافزایشی

در الگوی استاندارد هسته‌ی کهکشانی فعال، ماده‌ی سردی که به اَبَرسیاهچاله ی مرکزی نزدیک می‌شود قرص برافزایشی تشکیل می‌دهد. گرانش و چرخش ماده سبب می‌شود ماده‌ی موجود در قرص، به صورت مارپیچی به سوی اَبَرسیاهچاله حرکت کند. قرص‌های برافزایشی باعث می‌شوند که جت‌هایی در نزدیکی جسم مرکزی به وجود آیند. جت‌ها راهی مؤثر برای از دست دادن تکانه‌ی زاویه‌ای بدون از دست دادن جرم خیلی زیاداند [۸]. درشکل ۲-۲ ، طرحواره‌ای از چگونگی تشکیل قرص برافزایشی نشان داده شده است.



شکل ۲-۲. حرکت مارپیچی ماده به طرف اَبَرسیاهچاله و تشکیل قرص برافزایشی [۹].

بقای تکانه‌ی زاویه‌ای، مانع از این می‌شود که یک جریان مستقیم از ماده به سوی اَبَرسیاهچاله شکل گیرد و در عوض یک قرص برافزایشی به وجود می‌آید. فرآیندهای پراکنده سازی در قرص برافزایشی، ماده را به درون و تکانه زاویه‌ای را به سمت خارج منتقل می‌کنند و این باعث می‌شود که قرص گرم شود. طیف قرص برافزایشی حول اَبَرسیاهچاله ی سنگین، در طول موج‌های نوری و فرابنفش به نقطه‌ی اوج خود می‌رسد. در مجموع، یک هاله از ماده‌ی داغ بالای قرص برافزایشی ایجاد می‌شود و فوتون‌های پراکندگی معکوس کامپتون تا حد انرژی‌های پرتو ایکس در آن وجود دارند. تابش قرص برافزایشی، ماده‌ی اتمی سرد نزدیک به اَبَرسیاهچاله را تحریک می‌کند و از این طریق خطوط نشری ایجاد می‌شوند. کسر بزرگی از خروجی اولیه‌ی هسته‌ی کهکشانی فعال ممکن است به وسیله‌ی گرد و غبار و گاز بین ستاره‌ای جذب شود اما در یک حالت پایا در برخی طول موج‌ها خصوصاً در مادون قرمز بازتابش خواهند کرد [۱۰].

بر اثر اصطکاک حاصل از مالش ذرات گاز با یکدیگر، قرص گرم می‌شود و با سقوط ذرات، انرژی پتانسیل گرانشی آزاد می‌شود. فرآیند تبدیل جرم به انرژی در اثر سقوط گاز به داخل اَبَرسیاهچاله بازده‌ای معادل ده برابر بزرگی بازده‌ی همجوشی هسته‌ای دارد. مقدار جرم مورد نیاز برای تداوم فعالیت هسته در کهکشان‌های فعال از یک تا ده برابر جرم خورشید در هر سال است [۱۱].

قرص برافزایشی چند تریلیون کیلومتر قطر دارد (چند ماه نوری) اما بیشترین شدت تابشی درون فاصله‌ی صد میلیارد کیلومتری از اَبَرسیاهچاله تولید می‌شود [۶]. شکل قرص برافزایشی در جهت‌دهی گاز به سوی جت‌ها مؤثر است. اطراف قرص برافزایشی ابرهای نسبتاً چگالی از گاز خیلی داغ وجود دارند که خطوط تابشی پهن را شکل می‌دهند. کمی دورتر از این ابرهای چگال، چنبره‌ای ضخیم از گرد و غبار مولکولی وجود دارد که قطری معادل ده تا چند صد سال نوری دارد. اگر قرص برافزایشی به اندازه‌ی کافی با راستای دید ما زاویه داشته باشد، حرکت سریع ابرهای خیلی داغی که خطوط نشری پهن تولید می‌کنند در طیف آن‌ها قابل دیدن است. اگر چنبره‌ی گرد و غبار، قرص برافزایشی را پنهان کند، فقط حرکت آهسته‌ی ابرهای داغی که دورتر از اَبَرسیاهچاله‌اند دیده می‌شود که در نتیجه خطوط نشری باریک حاصل از این ابرها به همراه تابش‌های مادون قرمز ناشی از چنبره نمایان می‌شود [۶].

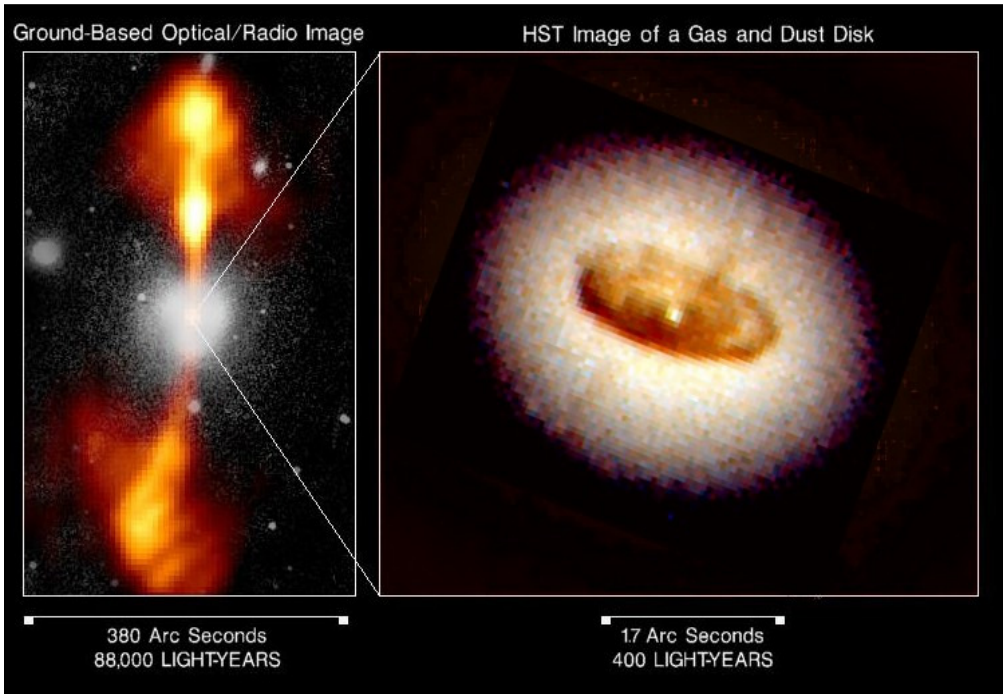
شکل ۲-۳، که تلفیقی از تصاویر نوری و رادیویی است، هسته‌ی کهکشان رادیویی NGC 4261 را نشان می‌دهد. همانطوری که از شکل مشاهده می‌شود، در اطراف هسته‌ی این کهکشان، یک حلقه‌ی گرد و غبار با قطر حدود ۴۰۰ سال نوری وجود دارد و جت‌ها به صورت عمود بر صفحه‌ی گرد و غبار بیرون آمده‌اند. افق

رویداد اَبَرسیاهچاله‌ی پرجرم، خیلی کوچکتر از آن است که از فاصله‌ای که ما داریم بتوان درباره‌ی آن اظهار نظر کرد [۱۱].

۲-۵- جت در هسته‌ی کهکشانی فعال

جت‌ها، جفت شارش‌های به غایت قدرتمندی از پلاسما هستند که با سرعت‌های نزدیک به سرعت نور در جهات مخالف از مرکز قرص بیرون می‌آیند. جهت خروج جت‌ها به وسیله‌ی محورهای تکانه زاویه‌ای قرص یا محورهای چرخش اَبَرسیاهچاله تعیین می‌شود. جت‌ها از طریق فرآیندهای سینکروترون و کامپتون معکوس در همه‌ی گستره‌ی طول‌موجی از رادیویی تا پرتو گاما تابش می‌کنند. طول آن‌ها می‌تواند به چندین هزار تا صدها هزار سال نوری برسد. فرض بر این است که جت‌ها ترکیبی از الکترون‌ها، پوزیترون‌ها و پروتون‌ها هستند [۱۲].

درشکل ۲-۴ تصویری از یک جت خارج شده از کوازار ۳C۳۳۴ آمده است که توسط تلسکوپ رادیویی گرفته شده است.



شکل ۲-۳. هسته‌ی کهکشان رادیویی NGC 4261، اطراف هسته‌ی این کهکشان یک حلقه‌ی گرد و غبار با قطر حدود ۴۰۰ سال نوری وجود دارد و جت‌ها به صورت عمود بر صفحه‌ی گرد و غبار بیرون آمده‌اند [۱۳].