بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه سیستان و بلوچستان
تحصیلات تکمیلی

پایان نامه کارشناسی ارشد در رشته فیزیک (گرایش فیزیک نجومی)

عنوان:

تعیین طیف توان ساختارهای بزرگ مقیاس به کمک جنگل لیمان آلفا

اساتید راهنما:

دکتر علیرضا آقائی

دکتر سهراب راهوار

تحقیق و نگارش:

نیره عرفانیان ثبات خانی

(این پایان نامه از حمایت مالی معاونت پژوهشی دانشگاه سیستان و بلوچستان بهره مند شده است)

شهریور ۱۳۹۱

بسمه تعالی

این پایان‌نامه با عنوان تعیین طیف توان ساختارهای بزرگ مقیاس یه به کمک جنگل لیمان آلفا قسمتی از برنامه آموزشی دوره کارشناسی ارشد فیزیک نجومی توسط دانشجو نیره عرفانیان ثبات خانی تحت راهنمایی اساتید پایان نامه دکتر علیرضا آقائی و دکتر سهراب راهوار 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 امضاء 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:			
استاد راهنما:			
استاد مشاور:			
داور ۱:			
داور ۲:			
نماینده تحصیلات تکمیلی:			

دانشگاه سیستان و بلوچستان

تعهدنامه اصالت اثر

اینجانب نیره عرفانیان ثبات خانی تأیید می‌کنم 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:

امضاء

تقدیم به:

پدر و مادرم؛

که دریای بی کران گذشت و عشق هستند، وجودم برایشان همه رنج است و وجودشان برایم همه مهر.

همسرم؛

به استواری کوه، به زلالی چشمه و به صمیمیّت باران . . .

سپاسگزاری

"آموزگاری که در سایه معبد، در میان شاگردانش گام برمی‌دارد، از فرزانگی خویش چیزی به آنها نمی‌دهد، بلکه از ایمان و مهر خویش به آنها می‌بخشد."

در این مجال بسی شایسته است که با نهایت فروتنی از استاد گرانقدر، جناب آقای دکتر آقائی که به حق راهنمایی‌ها، دلسوزی‌ها و پیگیری‌های ایشان، راه تحقیق و پژوهش را بر من هموار نمود، قدردانی نمایم.

همچنین بر خود لازم می‌دانم از راهنمایی‌های ارزشمند جناب آقای دکتر سری آنند و دانشجویان ایشان در مرکز آیوکا (IUCAA) هندوستان صمیمانه تشکر نمایم.

از جناب آقای مهندس اسماعیلی (مرکز کامپیوتر دانشگاه)، جناب آقای مهندس ریگی (مرکز کامپیوتر دانشکده ریاضی) و جناب آقای فتحی (دانشجوی دکترای فیزیک دانشگاه تبریز) به خاطر کمک‌های صبورانه‌شان در حل و فصل موانع کامپیوتری که با آنها روبه‌رو بودم، بی‌نهایت سپاسگزارم.

چکیده

طیف توان ساختارهای بزرگ مقیاس به عنوان معیاری از دامنه و رشد افت و خیزها در دوران‌های مختلف، کلیدی اساسی برای کاوش‌های کیهان‌شناسی مربوط به چگونگی شکل‌گیری و تحول ساختارهای بزرگ مقیاس می‌باشد. یک روش مفید و قدرتمند برای انجام چنین تحقیقی استفاده از ویژگی‌های خطوط جذبی لیمان آلفا می‌باشد. این خطوط جذبی که بر اثر گذار الکترون از تراز ۱ به تراز ۲ اتم‌های هیدروژن خنثی واقع در فضای میان کهکشانی تولید می‌شوند، با توجه به انتقال به سرخ محیط جاذب می‌تواند در محدوده مرئی طیف اختروش قرار گرفته و از کنار هم قرار گرفتن این خطوط جذبی بسیار زیاد، جنگل لیمان آلفا ساخته می‌شود. این جنگل می‌تواند در پژوهش‌های مربوط به شکل‌گیری و تحول ساختارهای بزرگ مقیاس در کیهان مورد استفاده قرار گیرد. در این پژوهش طیف توان جنگل لیمان آلفا بر پایه طیف‌های به‌دست‌آمده از طیف‌سنج UVES که بر روی تلسکوپ بسیار بزرگ رصدخانه جنوبگان اروپا (VLT) نصب می‌باشد، اندازه‌گیری شده است.

کلمات کلیدی: کیهان‌شناسی مشاهده‌ای – ساختارهای بزرگ مقیاس – محیط میان‌کهکشانی – اختروش– جنگل لیمان آلفا – طیف توان

فهرست

عنوان	صفحه
فصل اول: ساختارهای بزرگ مقیاس در کیهان	
۱-۱- مقدمه	۲
۱-۲- شکل‌گیری ساختارها	۴
۱-۲-۱- ناپایداری گرانشی و تمایز چگالی	۴
۱-۲-۲- ماده تاریک	۷
۱-۲-۳- سنجش مدل	۸
فصل دوم: کیهان در انتقال به سرخ‌های بالا	
۲-۱- اختروش‌ها	۱۱
۲-۲- محیط میان‌کهکشانی	۱۲
۲-۲-۱- حالت یونیدگی و شرایط فیزیکی بعد از دوره بازترکیب	۱۳
۲-۲-۲- تحول فضای میان کهکشانی	۱۶
۲-۲-۲-۱- تحول گرمایی	۱۶
۲-۲-۲-۲- تحول یونشی	۱۷
۲-۳- دوران بازیونش کیهان	۱۸
۲-۴- تابش ۲۱ سانتیمتری	۱۹
۲-۵- طیف اختروش‌ها	۲۰
۲-۶- ویژگی‌های کلی خطوط جذبی	۲۰
۲-۶-۱- پهن‌شدگی‌های طبیعی و نمایه‌های وویت	۲۱
۲-۶-۲- عرض معادل و چگالی ستونی	۲۳
۲-۶-۳- سیستم‌های خطوط جذبی معمول اختروش‌ها	۲۴
۲-۷- جنگل لیمان آلفا	۲۵

۲-۷-۱- ویژگی‌های محیط جاذب ۲۶
۲-۷-۱-۱- اندازه جاذب‌ها ۲۷
۲-۷-۱-۲- فلزیت ۲۸
۲-۷-۱-۳- خوشه‌ای شدن ۲۹
۲-۷-۲- مدل‌هایی برای جنگل لیمان آلفا ۲۹
۲-۷-۲-۱- پربند فشار ۳۰
۲-۷-۲-۲- پربند گرانش ۳۱
۲-۸- سیستم لیمان آلفا محدود ۳۲
۲-۹- سیستم لیمان آلفا میرا ۳۳
۲-۱۰- سیستم خطوط جذبی فلزی ۳۵

فصل سوم: بررسی آماری فضای میان کهکشانی

۳-۱- طیف توان ۳۸
۳-۱-۱- توابع احتمالاتی ۳۹
۳-۱-۲- تابعک احتمال گاوسی ۴۱
۳-۱-۳- نرمالیزاسیون طیف توان ۴۴
۳-۱-۴- محدودیت‌ها بر روی طیف توان ۴۵
۳-۱-۵- اندازه گیری طیف توان ۴۶
۳-۲- تابع همبستگی ۴۷

فصل چهارم:تحلیل داده‌ها

۴-۱- آرایه تلسکوپ بسیار بزرگ ۵۱
۴-۲- طیف سنج مقیاس مرئی و فرابنفش ۵۲
۴-۳- داده‌ها ۵۳
۴-۴- نرم‌افزارهای به کار برده شده ۵۴
۴-۴-۱- سیستم عامل لینوکس ۵۴

۴-۴-۲- نرم‌افزار VPFIT ۵۵
۴-۴-۳- برنامه IDL ۵۶
۴-۴-۴- نرم افزار Mathematica ۵۷
۴-۵- تحلیل طیفی ۵۷
۴-۵-۱- تعیین محدوده جنگل لیمان آلفا ۵۷
۴-۵-۲- تحلیل وویت ۶۱
۴-۵-۳- سنجش برازش ۶۵
۴-۶- آمار شار گذرنده ۶۵
۴-۶-۱- عمق اپتیکی ۶۶
۴-۶-۲- تابع همبستگی شار ۶۸
۴-۶-۳- طیف توان شار ۷۰
فصل پنجم: بحث و نتیجه‌گیری
۵-۱- مقدمه ۷۴
۵-۲- تابع همبستگی جنگل لیمان آلفا ۷۵
۵-۳- طیف توان جنگل لیمان آلفا ۷۶
منابع ۷۷

فهرست جدول‌ها

عنوان جدول	صفحه
جدول۴-۱. مشخصات فنی تلسکوپ بسیار بزرگ رصدخانه جنوبگان اروپا	۵۲
جدول۴-۲. محدوده جنگل لیمان آلفا برای اختروش‌های مورد استفاده در این تحقیق	۶۰
جدول ۴-۳. مقادیر مجاز چگالی ستونی هیدروژن خنثی و پارامتر دوپلری برای سیستم‌های گوناگون جذبی	۶۳

فهرست شکل‌ها

عنوان شکل **صفحه**

شکل۲-۱. رشته‌های میان کهکشانی داغ در انتقال به سرخ۳ ۱۵

شکل ۲-۲. ویژگی‌های مختلف خطوط جذبی ۲۴

شکل۲-۳. پراکندگی فضایی چگالی ستونی هیدروژن خنثی در انتقال به سرخ حدود۲ ۳۲

شکل ۲-۴. نمایش یک سیستم لیمان آلفا میرا و یک سیستم خطوط جذبی فلزی ۳۴

شکل ۴-۱. آرایه تلسکوپ بسیار بزرگ ۵۲

شکل ۴-۲. طیف سنج UVES ۵۳

شکل ۴-۳. قسمتی از طیف اولیه اختروش HE ۱۳۴۷-۲۴۵۷ شامل طول موج، شار، خطا و پیوستار ۵۴

شکل ۴-۴. طیف بهنجار نشده اختروش HE۲۲۱۷-۲۸۱۸ ۵۸

شکل ۴-۵. قسمتی از طیف بهنجار شده اختروش HE۲۲۱۷-۲۸۱۸ شامل جنگل لیمان آلفا ۵۹

شکل ۴-۶. قسمتی از طیف اختروشHE۰۱۵۱-۴۳۲۶ که توسط برنامهIDL رسم شده است. ۶۲

شکل ۴-۷. نمونه‌ای از فایل خروجی برازش مربوط به اختروش HE۲۳۴۷-۲۴۵۷ ۶۳

شکل ۴-۸. یک نمونه فایل خروجی برازش با مقادیر غیر قابل قبول ۶۳

شکل ۴-۹. تصویر فایل برازش شده مقادیر موجود در شکل۴-۷ ۶۴

شکل ۴-۱۰. برازش همزمان سه خط جذبی لیمان الفا در طیف اختروش Q۰۰۰۲-۴۲۲ ۶۴

شکل۴-۱۱. برازش یک خط جذبی لیمان آلفا در طیف اختروش HE۱۳۴۱-۱۰۲۰ ۶۵

شکل۴-۱۲. نمودار عمق اپتیکی لیمان آلفا بر حسب انتقال به سرخ ۶۷

شکل ۴-۱۳. کاهش شار اختروش‌های مورد مطالعه، اثر گان- پترسون ۶۷

شکل ۴-۱۴. تابع همبستگی شار بر حسب طول موج ۶۹

شکل ۴-۱۵. تابع همبستگی شار بر حسب سرعت ۷۰

شکل ۴-۱۶. طیف توان شار ۷۲

فصل اول

ساختارهای بزرگ‌مقیاس در کیهان

۱-۱- مقدمه

دانش کیهان‌شناسی به مطالعه ویژگی‌های کلی جهان می‌پردازد. آنچه از اهمیت بالایی در کیهان‌شناسی پیشرفته امروزی، برخوردار است، رصد کیهان می‌باشد. هدف اصلی کیهان‌شناسی مشاهده‌ای، بیان ویژگی‌های گرمایی، شیمیایی و حالت‌های ساختاری جهان کنونی می‌باشد.

اگر در بزرگ مقیاس به کیهان بنگریم، کهکشان‌ها واحدهای سازنده ساختارهای بزرگ‌مقیاس[۱] می‌باشند. کهکشان‌ها سیستم‌های متشکل از ستارگان، گاز و ماده تاریک می‌باشند. یک خاصیت مهم و ویژه جمعیت کهکشانی پراکندگی فضایی کلی آنها می‌باشد. از آنجایی که هر کهکشان در برگیرنده مقادیر عظیمی از ماده می‌باشد، انتظار می‌رود که توزیع کهکشان در فضا، بیانگر پراکندگی ماده در بزرگ مقیاس باشد. از طرف دیگر اگر فرآیند شکل‌گیری کهکشان‌ها، تصادفی نیز باشد یا اینکه کهکشان‌ها تنها در یک محیط مرجح و ویژه شکل گرفته باشند، رابطه میان به‌دست‌آوردن توزیع کهکشان‌ها در فضا و توزیع ماده کار آسانی به‌نظر نمی‌رسد[۱].

پرواضح است که پراکندگی کهکشان‌ها در جهان تصادفی نمی‌باشد ولی نشان دهنده تنوع در ساختارها می‌باشد. برخی از کهکشان‌ها در خوشه‌هایی با چگالی بالا قرار دارند که دربرگیرنده صدها کهکشان می‌باشند و برخی نیز در خوشه‌های کوچکتر با کهکشان‌های کمتر. با این وجود، بیشتر کهکشان‌ها در یک ساختار صفحه گونه یا رشته‌ای با چگالی کم توزیع شده‌اند. این ساختارها که فضای خالی را در برگرفته‌اند نواحی با قطر ۱۰۰MPc راشامل می‌شوند که شامل تعداد بسیار کم یا هیچ کهکشان می‌باشد[۱].

گرانش تنها نیرو در طبیعت است که در مقیاس نجومی مهم می‌باشد. اگر نیروی گرانش کمی نیرومندتر از حال بود، در این صورت خورشید میلیونها سال پیش عمرش به انتها می رسید. از طرف دیگر اگر نیروی گرانش ضعیفتر می‌بود، ستاره مجاور ما (خورشید) سردتر از آن بود تا حیات را بر روی زمین پشتیبان باشد. گرانش باعث اندرکنش میان ستارگان و کهکشان‌ها می‌شود. هر مدل ریاضی از جهان بایستی گرانش را به همراه داشته باشد. مشاهدات ثابت نموده‌اند که نظریه نسبیت عام، بیان صحیح‌تری از گرانش نسبت به نظریه

[۱] Large Scale Structures

کلاسیک نیوتنی می‌باشد. گرچه انیشتین[۲] نظریه صحیحی از گرانش داشت، لیکن او در کوشش خود برای ساختن مدل ریاضی جهان موفق نبود زیرا جهان مورد علاقه او جهانی ساکن بود ولی فرمول های ریاضی چیزی غیر از این را نشان می دادند. با اسرار بر اینکه مدل های او از جهان ساکن باشند، انیشتین حداقل یک دهه فرصت پیش بینی کشف هابل را از دست داد. از سال ۱۹۲۹ میلادی واضح بود که ما در یک جهان منبسط شونده زندگی می کنیم. به نظر نمی رسید که مدل‌های ساکن کاری از پیش ببرند. در سال‌های بعد انیشتین از وارد کردن ثابت کیهان‌شناسی در معادلات نسبیت عام برای یک جهان ساکن، به عنوان «بزرگترین اشتباه زندگی» خود اظهار تاسف نمود[۲].

معجزه ظاهری دیگر در کیهان، چگالی خیلی فشرده ماده در اطراف ما می باشد. اگر تمام مواد قابل مشاهده در کیهان در کل فضا به طور یکنواختی پخش می شدند، به طور میانگین در هر صد مترمکعب تنها چند عدد باریون وجود می‌داشت. اما فضای مجاور ما در منظومه شمسی مقدار بیشتری از این ماده را در خود جای داده است. مثلاً در زمین، یک متر مکعب از مواد معمولی نظیر آب، ماسه و یا چوب، $۱۰^{۳۰}$ عدد باریون را داراست. پس بایستی فضاهای خالی عظیمی در میانه موجود باشد تا میانگین یک باریون به ازای هر مترمکعب فراهم آید. از توزیع یکنواخت حاصل از مهبانگ در می‌یابیم که گرانش در نهایت مواد را به شکل توده‌های خیلی فشرده درآورده است و فضای خالی را به جای گذاشته است. بدین صورت کهکشان‌ها و سیستم‌های ستاره‌ای ایجاد شده‌اند[۳]. حال باید ببینیم که این ادغام ماده از توزیع یکنواخت اولیه چگونه بوده است و چگونه جهان به شکل کنونی متحول شده است؟

از آن‌جایی که ساختار کیهان علاوه بر کهکشان‌ها شامل غبار میان‌کهکشانی و ... می‌باشد، مدل‌های رایج در کیهان‌شناسی و نیز نظریه‌های مربوط به تشکیل ساختارهای بزرگ مقیاس، علاوه بر مطالعه ماده تاریک، در بازه گسترده‌ای نیازمند مطالعه فضای میان‌کهکشانی[۳] و نیز فضای میان‌خوشه‌ای[۴] می‌باشد[۵].

[۲] Albert Einstein

[۳] Intergalactic Medium (IGM)

[۴] Intercluster Medium (ICM)

۱-۲- شکل‌گیری ساختارها

در مدل استاندارد کیهان‌شناسی فرض بر آن است که کیهان در زمان‌های اولیه از درجه بالایی همگن بوده است. بر اساس این مدل، ساختارهایی که امروز در کیهان مشاهده می‌شوند مانند کهکشان‌ها و خوشه‌های کهکشانی بر اثر تقویت اختلالات چگالی اولیه توسط گرانش به وجود آمده‌اند. از این نقطه نظر تشکیل ساختارها در کیهان از دوجنبه قابل بررسی می‌باشد: اول مبدأ و ویژگی‌های اختلالات چگالی اولیه و دوم تحول زمانی این آشوب‌ها در کیهان در حال انبساط.

۱-۲-۱- ناپایداری گرانشی و تمایز چگالی

می‌توان کیهان را جرم کاملاً همگنی از هیدروژن و هلیوم گازی تصور کرد که برای همیشه در حال انبساط است برای شکل‌گیری ساختارها مهم است که گازهای برخی مناطق، در مقایسه با سایر ناحیه‌ها، متراکم‌تر و چگال‌تر شوند. به طور مثال میانگین چگالی ماده داخل یک کهکشان حدود 10^{-24} $gr\ cm^{-3}$ است که تقریباً یک میلیون برابر بیشتر از چگالی میانگین کیهان است. بنابراین مقداری از این گاز باید متراکم شود تا جایی‌که چگالی از مرتبه بالایی نسبت به چگالی زمینه افزایش یابد و سیستم‌هایی نظیر کهکشان‌ها شکل گیرند. این اثر را ما با عنوان تمایز چگالی[۵] می‌شناسیم[۳]. سازوکاری که بتواند این توزیع یکنواخت گاز را به ماده تبدیل کند نیروی گرانش است که می‌تواند به رشد غیر یکنواخت چگالی در هر محیط مادی کمک کند. ناحیه‌ای را در فضا در نظر می‌گیریم که دارای تمایز چگالی اندکی نسبت به نواحی اطراف خود است. به دلیل نیروی گرانش بیشتر این منطقه، نواحی اطراف به سمت آن متمایل می‌شوند. این فرآیند باعث شکل‌گیری نواحی چگال‌تر در فضا می‌شود و آن‌را ناپایداری گرانشی[۶] می‌نامیم[۲].

در حالی که ناپایداری گرانشی سازوکاری کلیدی در مبحث تشکیل ساختارهای بزرگ مقیاس در کیهان می‌باشد، اما درهمه مقیاس‌های شکل‌گیری نمی‌توان از آن استفاده کرد. در برخی از این مقیاس‌ها فرآیندهای فیزیکی نقش مهمی را ایفا می‌کنند. مثلاً ساختارهای بزرگتر نظیر گروه‌ها و خوشه‌های کهکشانی می‌توانند از برهمکنش گرانشی مشترک بین کهکشان‌ها بوجود آیند. توده‌های گازی درون کهکشانی می‌توانند تحت تأثیر وزنشان برمبند و ستاره‌های درون کهکشان را بسازند و یا انفجارهای ابر نواختری ستارگان پیرتر مقداری گاز را در درون فضای داخل کهکشان پراکنده می‌سازند که خود باعث بوجود آمدن ستاره‌های بعدی می‌شوند. به نظر

---

[۵] Density contrast

[۶] Gravitational instability

می‌رسد نخستین واحدی که باید شکل گیرد کهکشان است[۳]. اکنون باید بدانیم که آیا ناپایداری گرانشی تنها عامل شکل‌گیری ساختارهای بزرگ مقیاس است یا خیر؟ در پاسخ باید گفت خیر. فرآیند مهم‌تری نیز در چگال‌تر شدن این نواحی نقش دارد. با گذشت زمان و افزایش جرم این توده مادی، خودگرانش[۷] توده نیز به فرآیند تمایز چگالی کمک می‌نماید[۲].

وقتی که گاز می‌رمبد، فشار آن افزایش می‌یابد. لذا فرآیند رمبش و ناپایداری گرانشی تا زمانی ادامه می‌یابد که این فشار با فشار خودگرانشی به تعادل برسد. دوم آن‌که اگر انبساط خیلی سریع باشد، ناپایداری گرانشی در افزایش چگالی چندان مؤثر نخواهد بود. سوم آن‌که مدل ما بر این فرض قرار دارد که ناپایداری اندکی در توده اولیه وجود دارد. سؤال آن‌است که اگر چنین افت‌وخیز کوچکی وجود نداشته باشد،آیا در آینده نیز آن ناحیه به همان صورت یکنواخت باقی خواهد ماند؟ لذا به سازوکاری نیاز است که افت‌وخیز کوچکی را در ابتدا بوجود آورد[۳].

عامل اصلی که در لحظه فرار نور از ماده اجازه داد تا اسکلت جهان اولیه شکل بگیرد همان تابش زمینه کیهانی[۸] است . از ظاهر حرارتی این تابش و توزیع آن در فضا می‌توان به نتایج مهمی راجع به شکل گیری ساختارها رسید. جدایی آنی میان ماده و تابش هنگامی حاصل شد که جهان قدمتی در حدود ۲۰۰۰۰۰ سال داشت . درست قبل از آن لحظه پلاسمای داغی از الکترونها و پروتون های آزاد به همراه هلیوم وجود داشت . این ذره‌های مادی در دریای بی‌کران فوتون‌ها و تابش‌های الکترومغناطیسی غوطه‌ور بودند. هنگامی‌که دما تا $۳۰۰۰^{\circ}K$ پایین آمد الکترون‌ها با بار منفی انرژی کافی برای ماندن در حالت شناور را نداشتند، لذا شروع به چسبیدن به هسته‌هایی با بار مثبت کرده و اتم‌های خنثی نظیر هیدروژن و هلیوم را پدید آوردند[۲]. در نهایت فوتون‌ها از ماده آزاد شده و توانستند بدون مانع در گاز خیلی رقیق کاینات اولیه که به یکباره مانند هوا شفاف شده بود، شروع به حرکت کنند. در حقیقت ماده و تابش مشارکتشان را قطع کردند و جدایی[۹] بین آن‌ها حاصل شد. این پرتوها درست قبل از فرار از ماده با طول موجی بیشتر از طول موجهای مرئی شکل گرفته بودند[۴]. بنابراین برای سنجش این مدل نیاز به سنجش تابش ریزموج زمینه[۱۰] است. فوتون‌هایی که در تابش ریزموج زمینه کیهانی وجود دارد، همان فوتون‌هایی هستند که در دوره جدایی ماده و تابش از آن جدا شده‌اند.

---

[۷] Self-Gravitation

[۸] Cosmic Background Radiation

[۹] decoupled

[۱۰] Cosmic Microwave Background

بعد از جداشدن هم تابش نمی توانست از کیهان جدا شود، در نتیجه باقیمانده این پرتوها بایستی هنوز در اطراف ما باشند. تشخیص این نوع پرتو در سال ۱۹۶۴ حاصل شد که مهبانگ[۱۱] بزرگ اخترشناسی با آن پایه-ریزی گردید و جایزه نوبل فیزیک را در سال ۱۹۷۸ نصیب پنزیاس و ویلسون[۱۲] کرد. امروزه به هر جهتی که نظر افکنده شود، اثر حرارتی این پرتوها هم سطح هستند. یگانه ناهماهنگی که تا به حال قطعی شده است، تغییرات مشهور به دو قطبی[۱۳] است[۴].

تا قبل از دوره جدایی ماده و تابش، هر تغییری در افت‌وخیز ماده، افت‌وخیز تابش را نیز به همراه داشت. که این افت و خیز متناسب با تغییر دما در تابش بوده است. پس اگر کیهان در آن دوران دچار ناهمگنی بوده است این ناهمگنی در تابش ریز موج زمینه امروزی نیز بایستی وجود داشته باشد. همچنین اگر افت وخیز در چگالی ماده وجود داشته، افت وخیز در دمای تابش نیز باید امروزه وجود داشته باشد. بنابراین برای تأیید چنین نظریه‌ای نیاز به تأیید ناهمگنی و یا ناهمسانگردی تابش ریز موج زمینه کیهانی داریم؛ داریم چیزی که در آزمایشات زمینی مورد تأیید واقع نشد. با اعزام ماهواره COBE[۱۴] توسط سازمان فضایی آمریکا، ناسا[۱۵]، ناهمسانگردی مورد نیاز برای تأیید نظریه از مرتبه یک در صدهزارم کشف شد[۳].

البته اندازه‌گیری‌های دیگری نیز با استفاده از آنتن‌های قدرتمندی نظیر هلمدل در دانشگاه‌های پریسنتون، برکلی، رم و نیوجرسی انجام شده است که نشان‌دهنده اختلاف یک جزء در ۱۰۰۰ در بین دو جهت مشخص با تفرق ۱۸۰ درجه است. در یک جهت، تابش ریزموج کمی در جهت سرخ طیف است و در جهت مخالف به همان میزان به سمت انتهای آبی طیف حرکت کرده است. این تغییر کوچک نتیجه حرکت خود زمین در تابش زمینه کیهانی است. موقعی که برای حرکت نسبی زمین و خورشید در اطراف راه شیری تصحیحاتی انجام می‌شود، مشاهده می شود که کهکشان‌ها با سرعتی معادل ۶۰۰ کیلومتر در ثانیه نسبت به بقیه کیهان در حرکت هستند. این سرعت ۱/۵ میلیون مایل در ساعت در جهت خوشه بزرگ مجاور ویرگو[۱۶] و هیدراسنتورس[۱۷] است[۵].

---

[۱۱] BIG BANG
[۱۲] Arthur Pansies-Robert Wilson
[۱۳] dipole
[۱۴] Cosmic Background Explorer
[۱۵] National Aerostatics and Space Agency (NASA)
[۱۶] Virgo
[۱۷] Hydra Centaurs

پس از اینکه مشخص شد نظریه‌های تشکیل ساختارهای بزرگ مقیاس از نظر بنیادی صحیح می‌باشند بایستی عواملی که رشد افت‌وخیزها به آن‌ها وابسته هستند شناسایی شوند.

۱-۲-۲- ماده تاریک

ماده تاریک در سال ۱۹۳۴ توسط فریتز زوویسکی[۱۸] کشف شد. او در هنگام بررسی سرعت شعاعی هشت کهکشان در خوشه کهکشانی کما[۱۹]، متوجه پراکندگی سرعت غیرمنتظره‌ای از مرتبه ۱۰۰۰km/sشد. او با استفاده از قضیه ویریال[۲۰] جرم خوشه را محاسبه نمود که در حدود ۳۰۰ برابر بیش از ماده درخشان آن بود. وی این جرم گمشده را به ماده تاریک نسبت داد که پس از آن نیز در تحقیق‌ها و مشاهدات گوناگونی، وجود آن اثبات شد. این نوع از ماده از ذرات غیر برهمکنشی تشکیل یافته است که تحت تأثیر میدان‌های الکترومغناطیس قرار نمی‌گیرند و با آن‌ها برهمکنشی ندارند. به این مواد غیر باریونیک[۲۱] گفته می‌شود و در مقابل مواد باریونیک قرار می‌گیرد که تمام مواد قابل مشاهده اطراف ما را در بر می‌گیرد[۴].

در مباحث مربوط به کیهان‌شناسی، ماده تاریک به دو دسته تقسیم می‌شود: ماده تاریک داغ[۲۲] و ماده تاریک سرد[۲۳]. از آن‌جایی که می‌دانیم ماده تاریک از نظر الکتریکی خنثی می‌باشد، لذا ویژگی اصلی ذره بنیادی تشکیل دهنده آن، جرم خواهد بود. هم‌چنین می‌دانیم که در کیهان اولیه تمامی ذرات با یکدیگر برخورد داشته و همگی به یک دمای تعادلی به نسبت یکسان رسیده بودند. اکنون اگر ذره‌ای با جرم کمتر از جرم الکترون را برای ذرات تشکیل دهنده ماده تاریک در نظر بگیریم، آنگاه این ذرات برای آن‌که دارای دمای مشابهی با دمای سایر ذرات باشند، بایستی سریع‌تر از آن‌ها حرکت نمایند. از این‌رو این ذرات ماده تاریک در این سناریو را ماده تاریک داغ می‌نامیم. ولی اگر ذرات ماده تاریک سنگین‌تر از ذرات بنیادین شناخته شده در نظر گرفته شوند، آن‌گاه این ذرات به طور حتم با سرعتی کمتر از سرعت الکترون‌ها و پروتون‌ها در حرکت بوده است. به این نوع از ماده تاریک، ماده تاریک سرد گفته می‌شود[۲].

---

[۱۸] Fritz Zwicky
[۱۹] Coma Galactic Cluster
[۲۰] Virial Theorem
[۲۱] Nonbaryonic matter
[۲۲] Hot Dark Matter(HDM)
[۲۳] Cold Dark Matter(CDM)