۵۹

۱۲۸۷۵۹

دانشگاه بوعلی سینا

دانشکـــده علوم پایه

پایان‌نامه:

برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

در رشته فیزیک

(گرایش فیزیک نظری)

عنوان:

انرژی تاریک و ارتباط آن با ثابت کیهان شناسی

استاد راهنما:

دکترعبدالحسین خدام محمدی

استاد مشاور:

دکترمحمد امیری

پژوهشگر:

فرهاد بایرامی

۱۳۸۸/۱۰/۲۰

مرکز اطلاعات و مدارک علمی ایران

دی ماه ۸۷

۱۲۸۷۵۹

همه امتیازهای این پایان نامه به دانشگاه بوعلی سینا تعلق دارد. در صورت استفاده از تمامی یا بخشی از مطالب پایان نامه در مجلات، کنفرانس ها و یا سخنرانی ها، باید نام دانشگاه بوعلی سینا (یا استاد یا اساتید راهنمای پایان نامه) و نام دانشجو با ذکر مأخذ و ضمن کسب مجوز کتبی از دفتر تحصیلات تکمیلی دانشگاه ثبت شود. در غیر اینصورت مورد پیگرد قانونی قرار خواهد گرفت.

دانشگاه بوعلی سینا

دانشکده علـــوم

گروه فیزیک

پایان‌نامه

برای دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشته فیزیک

گرایش فیزیک نظری

عنوان:

انرژی تاریک و ارتباط آن با ثابت کیهان‌شناسی

استاد راهنما:

دکتر عبدالحسین خدام محمدی

استاد مشاور:

دکتر محمد امیری

پژوهشگر:

فرهاد بایرامی

کمیته ارزیابی پایان‌نامه

۱- استاد راهنما: **دکتر عبدالحسین خدام محمدی**.....استادیار فیزیک

۲- استاد مشاور: **دکتر محمد امیری**.....استادیار فیزیک

۳- استاد مدعو: **دکتر کامران موئدی**..... استادیار فیزیک

۴- استاد داور (داخلی): **دکتر سعیده زریونی**.....استادیار فیزیک

دانشکده علوم

گروه فیزیک

جلسه دفاع از پایان‌نامه کارشناسی ارشد

رشته فیزیک گرایش نظری آقای فرهاد بایرامی

تحت عنوان:

انرژی تاریک و ارتباط آن با ثابت کیهان‌شناسی

به ارزش۶ واحد در روز یک شنبه مورخ ۸۷/۱۰/۱۵ ساعت ۱۲-۱۱ در محل آمفی تئاتر ۱ و با حضور اعضای هیأت داوران زیر برگزار گردید و با نمره .....۱۹.....درجه.....عالی..... ارزیابی شد.

ترکیب اعضای هیأت داوران:

ردیف	سمت در هیأت داوران	نام و نام خانوادگی	مرتبه علمی ـ گروه/ دانشکده/ دانشگاه	محل امضاء
۱.	استاد راهنما	دکتر عبدالحسین خدام-محمدی	استادیار- فیزیک/علوم/بوعلی سینا	
۲.	استاد مشاور	دکتر محمد امیری	استادیار- فیزیک/علوم/بوعلی سینا	
۳.	استاد مدعو	دکتر کامران موئینی	استادیار- فیزیک/ علوم/ اراک	
۴.	استاد داور(داخلی)	دکتر سعیده زریونی	استادیار- فیزیک/علوم/بوعلی سینا	
۵.				
۶.				
۷.				

نام خانوادگی: بایرامی نام: فرهاد .

عنوان پایان نامه:

انرژی تاریک و ارتباط آن با ثابت کیهان‌شناسی

استاد راهنما: دکتر عبدالحسین خدام محمدی

استاد مشاور: دکتر محمد امیری

مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد رشته: فیزیک گرایش: نظری دانشگاه: بوعلی سینا همدان

دانشکده: علوم پایه تاریخ فارغ التحصیلی : ۸۷/۱۰/۱۵ تعداد صفحه: ۱۱۹

کلید واژه ها: انرژی تاریک، ثابت کیهان شناسی، ابر نواختر، سن عالم، عنصرپنجم

چکیده :

در طی چند دهه اخیر با بررسی و تحلیل اطلاعات مربوط به ابرنواخترها و تابش پس‌زمینه ریزموج کیهانی مشخص شده است که حدود ۷۰٪ انرژی جهان، انرژی تاریک است. این واقعیت که با فرض انبساط شتابدار جهان، با استفاده از ثابت کیهان‌شناسی یا در نظر گرفتن مولفه جدیدی از ماده، با معادله حالت $p=\omega\rho$ قابل توصیف است. برای پارامتر دانسیته انرژی مقادیر $0.98 \le \Omega_{tot} \le 1.08$ با $\Omega_R \approx 5\times10^{-5}$ ، $\Omega_B \approx 0.04$ ، $\Omega_{DM} \approx 0.26$ و $\Omega_{DE} \approx 0.7$ (R:تابش ،B: ماده باریونی ،DM: ماده تاریک وDE: انرژی تاریک) در جهان برقرار است. مسئله ثابت کیهان‌شناسی برای حدود یک قرن نظر بسیاری از دانشمندان را به خود جلب کرده است. نشان می‌دهیم که ثابت کیهان‌شناسی یکی از بهترین کاندیداهای انرژی تاریک است. یک روش دیگر برای توجیه انرژی تاریک استفاده از یک میدان اسکالر quintessence یا عنصر پنجم است که طرفداران زیادی نیز به خود اختصاص داده است. در این تحقیق نشان دادیم که توجیه انرژی تاریک با ثابت کیهان‌شناسی انطباق بیشتری با مشاهدات دارد.

فهرست

فهرست مطالب و اشکال

فهرست مطالب

مقدمه..... ۱

فصل اول: کیهان‌شناسی استاندارد

۱-۱) مقدمه..... ۵

۱-۲) سرخ گرایی و قانون هابل..... ۱۲

۱-۳) افق..... ۱۵

۱-۴)فاصله، روشنایی و قدر..... ۱۶

۱-۵) اصل کیهان‌شناسی..... ۱۸

۱-۶) جهان فریدمن- رابرتسون- واکر..... ۱۹

۱-۷)پارامتر هابل- پارامتر کاهش شتاب..... ۲۵

۱-۸) پارامترهای کیهان‌شناسی..... ۲۶

۱-۹) حل‌های غبار(بدون فشار)..... ۲۷

۱-۱۰) سن جهان FRW..... ۳۰

۱-۱۱)رابطه فاصله- سرخ‌گرایی و افق..... ۳۱

۱-۱۲)فاصله قطری زاویه‌ای..... ۳۶

۱-۱۳)فاصله روشنایی..... ۳۸

فصل دوم: ثابت کیهان‌شناسی

۲-۱)مقدمه و تاریخچه ثابت کیهان‌شناسی..... ۴۳

۲-۲) نظریه گرانش انیشتین..... ۴۵

۲-۳) معادلات میدان گرانشی انیشتین..... ۴۶

۲-۴) معرفی ثابت کیهان‌شناسی..... ۴۷

۲-۵) شواهد تجربی برای یک ثابت کیهان‌شناسی غیر صفر..... ۵۳

۲-۵-۱) شواهد تجربی برای جهان شتابدار..... ۵۳

۲-۵-۲) سن جهان و ثابت کیهان‌شناسی..... ۶۱

۲-۶) باز تفسیر ثابت کیهان‌شناسی ۶۴

فصل سوم : انرژی تاریک

۳-۱) مقدمه..... ۶۸

۳-۲) مدارک مشاهده‌ای (شواهد تجربی)..... ۷۰

۳-۲-۱) ناهمسانگردی‌های CMB ۷۰

۳-۲-۲) خوشه‌ای شدن ماده..... ۷۳

۳-۲-۳)سن جهان ۷۴

۳-۲-۴) ابرنو اختر1a و اندازه‌گیری‌های روشنایی- فاصله..... ۷۶

۳-۳)توضیحی برای انرژی تاریک..... ۷۸

۳-۳-۱)انرژی خلا..... ۸۱

۳-۳-۲)Quintessence..... ۸۳

۳-۳-۳)دینامیک میدان اسکالر..... ۸۵

۳-۳-۴) مشکلات Qu..... ۸۶

۳-۳-۵) نوسانات میدانQu ۸۸

۳-۴) ماده تاریک..... ۹۱

۳-۴-۱)معرفی ماده تاریک..... ۹۱

۳-۴-۲) ماده تاریک باریونی..... ۹۳

۳-۴-۳) ماده تاریک غیر باریونی..... ۹۴

فصل چهارم: بررسی فاکتور رشد خطی

۴-۱) مقدمه..... ۹۷

۴-۲) تغیر شکل‌های سرخ‌گرایی به چه می ماند؟..... ۹۹

۴-۳) میدان چگالی حقیقی عالم..... ۱۰۱

۴-۴) نظریه تغیر شکل‌های خطی سرخ‌گرایی..... ۱۰۱

۴-۵) معادله پیوستگی خطی..... ۱۰۲

۴-۶) ترسیم نمودارهای فاکتور رشد خطی..... ۱۰۶

۴-۷)بحث و نتیجه گیری..... ۱۱۱

فهرست منابع و مآخذ..... ۱۱۶

شکل (۱-۱) نمودار انبساط جهان ۳۴

شکل (۱-۲) محاسبه رابطه فاصله-سرخ گرایی..... ۳۵

شکل(۲-۱) نمودار فازی جهان برای مدل‌های مختلف..... ۵۴

شکل(۲-۲) فاصله-روشنایی مجموعه‌ای از ابر نواختر های 1a..... ۵۵

شکل(۲-۳) فاصله-روشنایی برای تعدادی از مدل‌ها..... ۵۸

شکل(۲-۴) خطوط H_0t_0 ثابت در صفحه $\Omega_m - \Omega_\Lambda$ ۶۲

شکل(۳-۱) خطوط H_0t_0 ثابت..... ۷۵

شکل(۴-۱) یک پرچگالی کروی..... ۱۰۰

شکل(۴-۲) نمودار سه بعدی آهنگ رشد خطی..... ۱۰۶

شکل(۴-۳) نمودار سه بعدی فاکتور رشد خطی..... ۱۰۷

شکل(۴-۴) نمودار آهنگ رشد بر حسب پارامتر ماده..... ۱۰۸

شکل(۴-۵) نمودار آهنگ رشد بر حسب پارامتر ثابت کیهان‌شناسی..... ۱۰۸

شکل(۴-۶) نمودار فاکتور رشد بر حسب پارامتر ماده..... ۱۰۹

شکل(۴-۷) نمودار فاکتور رشد بر حسب پارامتر ثابت کیهان‌شناسی..... ۱۱۰

مقدمه

بشر از ابتدای پیدایش در این کره خاکی به آسمان می‌نگریست. در جستجوی آینده و سرنوشت آسمان را می پایید. برای خود ستاره‌ای می‌گرفت و زندگی خود را به آن گره‌یافته متصور بود. ستارگان را دوست می‌داشت تا جایی که عده‌ای آنها را می‌پرستیدند و از آنها طلب رزق و روزی، سلامتی، پیروزی در جنگها و ... می‌کردند. آسمانها را هفت طبقه می‌دانستند و برای آنها تقدس خاصی قایل بودند. علوم خفیه‌ای برای تفسیر وضعیت ستارگان و تاثیر آن بر وضعیت روزگار ابداع کرده بودند. این کنجکاوی در قرون وسطی وسپس در عصر انقلاب علمی و صنعتی، صورت عقلایی و منطقی به خود گرفت. با پیدایش تلسکوپ ها، افق دیدش از ستارگان قابل رویت با چشم فراتر رفت و دانست که در پس این ستارگان، ستارگان فراوان دیگری هم هست.

فلاسفه یونـان باسـتان و بعـدها فلاسـفه گونـاگون شـرق و غـرب، بـه داسـتان سـرایی در-بـاره مبـدا و پایـان جهـان مـی‌پرداختنـد و بـر اسـاس آموختـه‌هـای کاهنـان خـود بـه تعبیـر چگـونگی وچرایـی آفـرینش جهـان وچگـونگی پایـان آن مـی‌پرداختنـد و بـا ایـن مباحـث افـراد زیـادی را گـرد خـود جمـع مـی‌کردنـد. در قـرن بیسـتم، ایـن مباحـث بطـور مسـتقیم و غیـر مستقیم وارد فیزیـک شـد و عقایـد خرافـی و توهمـات سـابق، جـای خـود را بـه بیـنش و نگـرش نوین علمـی داد. علـم کیهـان‌شناسـی کـه زاییـده کنجکـاوی هـای بشـر در مـورد شـروع و پایـان عالم و سیر تحـولات آن اسـت بـر اسـاس قـوانین فیزیـک پـا بـه عرصـه علـوم جنجـالی و جـذاب نهاد. پایه نظریات کیهـان‌شناسـی در نظریـه گـرانش انیشـتین و بسـط نسـبیت عـام بـرای جهـان بزرگمقیاس بـوده اسـت. پایـه و اسـاس داده هـای تجربـی هـم از روشـهای اختـر فیزیکـی فـراهم شده است.

در فصل اول رساله حاضر، مقـدمات کیهـان‌شناسـی بـه اجمـال آمـده اسـت. مباحـث مختلفـی که در کیهان‌شناسی معاصر مطرح هسـتند و بـه کـار مـا مـرتبط مـی شـوند مثـل مـدل فریـدمن، فاصـله هـا، پارامترهـا و... بیـان شـده اسـت. در فصـل اول و دوم بـا برخـی مفـاهیم و اصـطلاحات نسبیت عام و گـرانش روبـرو مـی‌شـویم کـه بـه علـت محـدود بـودن ایـن اثـر، بحـث نشـده‌انـد و آشنایی خواننده با نکات کلیدی گرانش انیشتین مفروض ما بوده است.

در این پایان‌نامه، چند مبحث جدی در کیهان شناسـی معاصـر بحـث مـی‌شـود. بـه دو موضـوع پرداخته ایم. موضوع اول، ارتباط ثابت کیهان‌شناسـی بـا انـرژی تاریـک اسـت. ثابـت کیهـان‌شناسـی تاریخچه نسبتا طولانی و پر فراز و نشیبی داشته است. در ابتدا توسـط خـود انیشـتین وارد معـادلات نسبیت عام شد و به دلایل غلط یا ناکافی بارها پذیرفته شده و کنار گذاشته شده است. مقدار مشاهده شده کنونی ثابت کیهان شناسی فوق العاده کوچک است وباید در تاریخ عالم کاملا دقیق تنظیم شـود

تا منجر به پیدایش ساختارهای کنونی شود. این بررسی در فصل دو انجام شده است. در حالیکه انرژی تاریک، مسئله‌ای نسبتا نو ظهور است و در دهه نود میلادی وارد میدان شده است. حدود هفتاد درصد انرژی عالم از جنسی است که ما هیچ شناخت درستی نسبت به آن نداریم! همین انرژی است که موجب انبساط جهان می‌شود. فصل سوم به انرژی تاریک اختصاص داده شده است. هر دوی اینها توسط صدها پژوهشگر، مورد بررسی قرار گرفته است و کیهان‌شناسان زیادی را شبهای طولانی بی خواب کرده است. وجود انرژی تاریک، سوالی است که با داده‌های مختلفی به اثبات رسیده است ولی توجیه نظری و مدل‌سازی برای آن به نظر دشوار می‌آید.

اخیرا بسیاری از کیهان‌شناسان، متقاعد شده‌اند که می‌توان انرژی تاریک را همان ثابت کیهان شناسی گرفت. با این کشف، با یک تیر دو نشان زده‌ایم. نخست اینکه، مسئله ثابت کیهان‌شناسی و انرژی تاریک را همزمان حل کرده‌ایم و دیگر اینکه ساده ترین، توجیه پذیرترین و پذیرفته شده ترین راه حل را برای انرژی تاریک ارائه داده‌ایم.

موضوع متفاوت دیگری که در فصل چهارم به آن پرداخته ایم، تغیر شکل های سرخ‌گرایی کهکشانهای دوردست و بررسی مختصر علل و چگونگی این تغیر شکل ها در نقشه سرخ گرایی عالم است. فاکتور رشد خطی و نرخ رشد را معرفی می‌کنیم وچند نمودار برای آنها با استفاده از نرم افزار Maple رسم می‌کنیم و نهایتا نتایج مربوطه را تفسیر می‌نماییم.

۱

فصل اول

کیهان شناسی استاندارد

۱-۱) مقدمه

کیهان‌شناسی مطالعه عالم به عنوان یک کل، ساختار، منشأ و تحول آن است. اساساً کیهان شناسی بر پایه مشاهدات اخیر فیزیکی و قوانین فیزیک می‌باشد که طبیعتاً منجر به چارچوب استاندارد کیهان شناسی نوین یعنی نظریه مهبانگ داغ شده است. به عنوان یک علم، کیهان‌شناسی یک محدودیت جدی دارد: فقط یک جهان وجود دارد. [البته در اصل می‌تواند جهانهای دیگری هم وجود داشته باشند، ولی برای مشاهدات ما در دسترس نیستند.] نمی‌توانیم در کیهان‌شناسی آزمایشاتی انجام دهیم و مشاهدات منحصر به یک شیء می‌باشند: عالم. بنابراین، نمی‌توانیم هیچ گونه مطالعه مقایسه‌ای یا آماری بین جهان های بسیار زیاد انجام دهیم. به خاطر این ماهیت ویژه کیهان‌شناسی، کاملاً محتمل است که پرسشهای مهمی وجود داشته باشند که هرگز پاسخ داده نخواهند شد.

با این وجود، در چند دهه اخیر، با فراهم شدن بدنه مهمی از داده‌های مشاهده‌ای مربوطه توسط وسایل اخیر فیزیکی نوین، پیشرفت قابل توجهی در کیهان شناسی حاصل شده است. هم اکنون، درک خوبی از تاریخچه سراسری عالم (به غیر از زمانهای خیلی اولیه) و ساختار آن داریم. ولی هنوز پرسشهای مهم دیگری باقی است، نظیر ماهیت انرژی تاریک و ماده تاریک. مشاهدات امیدوارکننده با ابزارهای پیشرفته‌تر بسیاری از این پرسشها را در دهه‌های آینده، پاسخ خواهند گفت.

مشاهده اساسی در پس نظریه مهبانگ، سرخ‌گرایی کهکشانهای دور است. طیف آنها بسوی طول موجهای بلندتر جابجا می‌شود؛ هرچه دورتر باشند، جابه‌جایی بیشتر است. این بدان معنی است که کهکشانها عقب نشینی می‌کنند؛ فاصله بین ما و آنها افزایش می‌یابد. مطابق نسبیت عام، اینرا به عنوان انبساط فضای بین کهکشانی(به عبارت مناسبتر، انحنای فضا-زمان) می‌شناسیم نه حرکت واقعی کهکشانها. با انبساط فضا، طول موج نوری که درون فضا سیر می‌کند نیز انبساط می‌یابد.

به نظر می‌رسد این انبساط روی مقیاس‌های بزرگ یکنواخت باشد، همه جهان با نرخ یکسانی منبسط می‌شود. (این فقط برای فاصله‌های با مقیاس بزرگتر از خوشه‌های کهکشانی یعنی حدود ۱۰Mpc صادق است). این انبساط را با یک عامل مقیاس وابسته به زمان a(t) توصیف می‌کنیم. با شروع از نرخ انبساط کنونی مشاهده شده $H \equiv \dot{a}/a$، می‌توانیم از نسبیت عام برای محاسبه a(t) به عنوان تابعی از زمان استفاده کرد. نتیجه اینست که حدود ۱۵-۱۲ میلیاد سال پیش، $a(t) \to 0$. در این تکینگی، شروع مهبانگ، که به عنوان مبدأ مختصات زمانی $t = 0$ انتخاب می‌شود، چگالی عالم $\rho \to \infty$ میل می‌کند. درحقیقت، از نسبیت عام انتظار نمیرود تا برای چگالی‌های انرژی فوق‌العاده بالا قابل استفاده باشد. در چگالی پلانک، $\rho_{PL} \sim 10^{96} Kg/m^3$، اثرات گرانش کوانتومی باید بزرگ باشند. برای توصیف زمانهای ابتدایی، دوره پلانک، به یک نظریه گرانش کوانتومی نیاز است، که نداریم. [نظریه ریسمانها، نامزدی برای نظریه گرانش کوانتومی است. اما، محاسبه پیش‌بینی‌های

قطعی برای جهان خیلی اولیه از نظریه ریسمانها، بسیار دشوار است. این یک زمینه خیلی فعال پژوهشی است ولی به شکل گمانه‌ای باقی مانده است.] بنابراین، زمانهای ابتدایی شامل $t = 0$، باید از نظریه مهبانگ علمی مستثنی شوند. سؤالاتی نظیر، قبل از مهبانگ چه بوده است، یا چه چیزی موجبْ مهبانگ شد، بی‌پاسخ یا در حوزه حدس و گمانه باقی می‌ماند. برخی اشتباهات متداول عمومی در مورد مهبانگ وجود دارد.

عالم، حقیقتاً از یک نقطه شروع نشده است. بخشی از عالم که امروزه می‌بینیم در زمانهای خیلی اولیه خیلی کوچک بوده است، در زمانهای اولیه که بتوان بطور معقولی در چارچوب مهبانگ بحث کرد، شاید قطری کمتر از ۱mm داشته است. و اگر سناریوی تورم صحیح باشد، قبل از تورم، حتی خیلی کوچکتر از آن بوده است، بنابراین در این مفهوم، کلمه نقطه احتمالاً مناسب باشد. ولی جهان فراتر از آنچه که امروزه می‌بینیم گسترش دارد (فراتر از «افق» ما) و اگر عالم نامتناهی باشد (نمی‌دانیم که جهان متناهی یا نامتناهی است)، از زمانهای اولیه، نامتناهی بوده است. با انبساط، جهان به درون فضایی در اطراف منبسط نمی‌شود. جهان شامل تمام فضا است و این فضا خودش بزرگتر می‌شود.

به خاطر دمای بالا، در جهان اولیه ذرات انرژی‌های بالایی داشتند. برای توصیف ماده در آن دوره به فیزیک ذرات نیازمندیم. از دیدگاه مدل استاندارد، امروزه در جهان با انرژی پایین زندگی می‌کنیم که تقارنهای نظریه شکسته شده است. زمانی که عمر جهان کمتر از 10^{-11}s بود، یعنی دمای عالم بیشتر از $100GeV$ $(10^{15}K)$ بود، مقیاس انرژی طبیعی این نظریه حاصل می‌شود.

زمانی که جهان چند دقیقه عمر داشت، $T \sim 100keV$، پروتونها و نوترونها هسته‌های عناصر سبک را تشکیل دادند. این پدیده با عنوان سنتز هسته‌ای مهبانگ (BBN) شناخته می‌شود و حدود ٪۷۵ ^{1}H، ٪۲۵ ^{4}He، ٪10^{-4} ^{2}H، ٪10^{-4} ^{3}H و ٪10^{-9} Li است. (بقیه عناصر خیلی دیرتر،

عمدتاً در ستارگان، تشکیل شدند.) در این زمان، ماده کاملاً یونیزه بود، همه الکترونها آزاد بودند. در این پلاسما، پویش آزاد میانگین فوتون کوتاه بود، جهان کدر و تاریک بود.

زمانی که جهان چندصد سال داشت، شفاف شد. در دمای $T \sim 3000K$ $(0.25eV)$، الکترونها و هسته‌ها، اتمهای خنثی را پدید آوردند و پویش آزاد میانگین فوتون از شعاع جهان قابل مشاهده، طولانی‌تر شد. این پدیده باز ترکیب[1] خوانده می‌شود. (گرچه واقعاً اولین ترکیب الکترونها و هسته بود، نه باز ترکیب آنها!). از زمان بازترکیب ، فوتونهای اولیه بدون پراکندگی در فضا سیر می‌کنند. امروزه می‌توانیم آنها را بصورت پس زمینه ریز موج کیهانی (CMB) ببینیم. CMB نوری از عالم اولیه است. بنابراین می‌توانیم مهبانگ را ببینیم.

CMB به ما می‌گوید، برخلاف جهان کنونی که ماده درون ستارگان و کهکشانها مجتمع است، جهان اولیه، خیلی همگن بود. اما، جهان اولیه تغییرات چگالی خیلی کوچکی در حد 10^{-4} یا 10^{-5} هم داشت، که می‌توانیم بصورت تغییرات کوچک شدت CMB ببینیم (ناهمسانگردی CMB). به خاطر گرانش نواحی با چگالی بالادر طول زمان رشد کردند و نهایتاً تبدیل به کهکشانها شدند. این موضوع تشکیل ساختار در عالم نام دارد. کهکشانها بطور یکنواخت در فضا پراکنده نشده‌اند بلکه ساختارهای متنوعی تشکیل می‌دهند، گروههای کهکشانی، خوشه‌ها (گروهای محدود گرانشی بزرگ)، ابر خوشه‌ها و غیره که توسط فضاهای بزرگ نسبتاً خالی جدا شده‌اند. این ساختار بزرگ مقیاس کنونی عالم است که بدنه مهمی از داده‌های مشاهده‌ای در کیهان شناسی را فراهم می‌کند و می‌توانیم توسط نظریه کیهان شناسی آنرا توصیف کنیم.

یکی از مسایل عمده در کیهان شناسی امروز، اینست که عمده محتوای ماده و انرژی جهان، به شکل ناشناخته‌ای به نظر می‌رسد، موسوم به «ماده تاریک» و «انرژی تاریک».

---

[1] recombination

مسئله ماده تاریک به دهه ۱۹۳۰ برمی‌گردد، در حالیکه مسئله انرژی تاریک بعداً در دهه ۱۹۹۰ پیش آمد[۲۰] .

از حرکتهای کهکشانها می‌توانیم نتیجه بگیریم که ماده‌ای که مستقیماً بعنوان ستارگان یا ماده روشن می‌بینیم، فقط کسر کوچکی از جرم کلی است که از طریق گرانش بر حرکتهای کهکشان تأثیر می‌گذارد. باقی مانده، ماده تاریک است، چیزی که فقط از طریق اثر گرانشی‌اش مشاهده می‌شود. نمی‌دانیم که بیشتر این ماده از چه چیزی تشکیل شده است. بخش عمده ماده تاریک باید غیرباریونی باشد، یعنی از پروتون و نوترون تشکیل نشده است. تنها ذرات غیرباریونی در مدل استاندارد فیزیک ذرات که می‌توانند به عنوان ماده تاریک عمل کنند، نوترینوها هستند. اگر نوترینوها جرم مناسبی داشته باشند، $1eV\sim$، نوترینوهای باقی مانده از جهان اولیه جرم کل مناسبی خواهند داشت تا مؤلفه ماده تاریک مهمی باشند. اما، تشکیل ساختار در عالم ایجاب می‌کند که بیشتر این ماده تاریک ویژگی‌هایی غیر از ویژگی‌هایی که ماده تاریک دارند، داشته باشد. از نظر تکنیکی، اغلب ماده تاریک باید «سرد» باشند نه «داغ». اینها اصطلاحاتی هستند که به دینامیک ذرات سازنده ماده اشاره می‌کند و ماهیت این ذرات را مشخص نمی‌کنند. تفاوت بین ماده تاریک داغ (HDM) و ماده تاریک سرد (CDM) اینست که HDM از ذراتی ساخته شده است که زمان شروع تشکیل ساختار سرعت زیادی داشتند ولی ذرات CDM سرعتهای کوچکی داشتند.

چون همه شواهد کیهان شناسی برای CDM از اثرات گرانشی آن می‌آید، بعضی‌ها پیشنهاد کرده اند که ماده تاریک وجود ندارد و در عوض این اثرات گرانشی باید با تصحیح مناسب قانون گرانش در فاصله‌های دور، توجیه شوند. اما تعدیلات پیشنهاد شده خیلی قانع کننده به نظر نمی‌رسد، و مدارک موجود تا حد زیادی به نفع فرضیه CDM است.