بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه آزاد اسلامی

واحد تهران مرکزی

دانشکده علوم پایه

گروه فیزیک

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد (M.Sc)

گرایش: نجوم

عنوان:

بررسی مدل‌های کیهان شناسی با جمله ثابت کیهان‌شناسی

استاد راهنما :

دکتر مجید محسن‌زاده گنجی

استاد مشاور:

دکتر محمدرضا تنهایی اهری

نام دانشجو :

کبری بخشی

تابستان ۱۳۹۰

تقدیم به:

مهدیارم

تشکر و قدردانی:

من در انجام این پایان‌نامه از استادان عزیزم به‌ویژه استاد دکتر مجید محسن‌زاده گنجی و هم‌چنین استاد دکتر محمدرضا تنهایی اهری که در نوشتن این مجموعه از راهنمایی‌های ایشان استفاده کرده‌ام نهایت تشکر و قدرانی را دارم.

بسمه تعالی

تهعدنامه اصالت پایان نامه کارشناسی ارشد

این‌جانب کبری بخشی دانشجوی کارشناسی ارشد رشته فیزیک نجوم، با شماره دانشجویی ۸۷۰۸۵۱۲۲۵۰۰ اعلام می‌نمایم که کلیه‌ی مطالب مندرج در این پایان‌نامه با عنوان: **بررسی مدل‌های کیهان‌شناسی با جمله ثابت کیهان‌شناسی** حاصل کار پژوهشی خود بوده چنان‌چه دستاوردهای پژوهشی دیگران را مورد استفاده قرار داده باشم، طبق ضوابط و رویه‌های جاری، آن را ارجاع داده و در فهرست منابع و ماخذ ذکر نموده‌ام، علاوه بر آن تأکید می‌نماید که این پایان‌نامه قبلاً برای احراز هیچ مدرک هم‌سطح، پائین‌تر یا بالا ارائه نشده و چنان‌چه در هر زمان خلاف آن ثابت شود، بدین‌وسیله متعهد می‌شوم، در صورت ابطال مدرک تحصیلی‌ام توسط دانشگاه، بدون کوچک‌ترین اعتراض آن را بپذیرم.

تاریخ و امضاء

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول: ماده و انرژی

۱-۱) مقدمه ماده تاریک ۲

۱-۲) نواحی تسلط ماده، تابش وخلاء ۷

۱-۳) بحث درباره افت وخیزهای چگالی ۹

۱-٤) بار یون‌های تاریک ۱۱

۱-۵) ماده تاریک غیر بار یونیک ۱۳

۱-٦) انرژی تاریک ۱٦

۱-٦-۱) نیروی دافعه در تئوری انیشتین ۱۸

۱-٦-۲) دو سری از شواهد در مورد جهان شتابدار ۲۰

۱-٦-۳) بزرگترین گرفتاری در فیزیک نظری ۲۱

فصل دوم: معادلات انیشتین با جمله Λ -

۲-۱) مقدمه ۲٤

۲-۲) معادله‌های میدان انیشتین در کیهان‌شناسی ۲۷

۲-۳) معادلات بدون جمله Λ- ۳۰

۲-۳-۱) مقطعهای اقلیدسی ($k=0$) ۳۱

۲-۳-۲) مقطعهای بسته ($k=1$) ۳۳

۲-۳-۳) مقطعهای باز ($k=-1$) ۳٤

۲-٤) معادلات با جمله Λ- ۳۵

فصل سوم: آزمون های مشاهداتی

۳-۱) آزمون‌های مشاهداتی ٤١
۳-۱-۱) ابر نو اخترهایی از نوع Ia ٤١
۳-۱-۲) چگالی ماده ٤٥
۳-۲) انتشار فیزیک ٤٨
۳-۲-۱) سایر منابع انرژی تاریک ٤٩
نتیجه‌گیری ٥٣
پیوست ٥٥
منابع ٦٩

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

شکل (۱-۱):..... ۳

شکل (۲-۱): نموداری کلی از $S(t)$ برحسب t برای مدل اینشتین- دوستیه..... ۳۲

شکل (۲-۲): ۳٤

شکل (۲-۳) : کیهان شناسی Λ برای حالت $K=+1$..... ۳۷

شکل (۲-٤): نمایش رابطه‌ها در صفحه $(\Omega_{\cdot},\Omega_{\Lambda})$..... ۳۹

شکل (۳-۱): نتایج برای $m-M$ نسبت به z برای تیم ابرنو اختر Hig-z..... ٤۳

شکل (۳-۲): نتایج برای پروژه کیهان‌شناسی ابر نواختر..... ٤٤

شکل (۳-۳):..... ٤٤

شکل (۳-٤):..... ٤٥

شکل (۳-٥):..... ٤۹

چکیده:

ستاره‌ها تقریباً حدود ٪۰/۵ از محتویات کل جهان را تشکیل می‌دهند. توده جهان از نظر بینایی، تاریک است. بخش تاریک جهان شامل حداقل ٪۰/۱ نوترینوهای سبک، ۱%±۳.۵% باریون‌ها، ۴%±۲۹% ماده تاریک سرد، و ۶%±۶۶% انرژی تاریک می‌باشد پس اگر قبول کنیم که انرژی تاریک همان ثابت کیهان شناسی است، بررسی معادلات اینشتین (که هندسه را مشخص می‌کند) با وجود ثابت کیهان شناسی امری ضروری می‌باشد.

فصل اول:

ماده و انرژی

۱-۱) ماده تاریک:

در بیشتر کشورها دو نوع اقتصاد فعالیت می‌کنند. دسته‌ی اولی قانونی، قابل دیدن و براساس «پول سفید» می‌باشد، که عرضه و تقاضای آنها کاملاً مستند بوده و به سازمان‌های مالیاتی اعلام شده‌اند. دسته موازی دوم که بر پایه باصطلاح «پول سیاه» در جریانند، سیستم‌های مالیاتی را دور می‌زنند.

اما وسعت پول سیاه در گردش را می‌توان با استفاده از تأثیرات عینی آن در اقتصاد تخمین زد، مانند فعالیت‌های آنها در ساخت و ساز، انتخابات، تبلیغات، فیلم‌ها و غیره.

نسبت پول سیاه به پول سفید جاری در کشورهای مختلف متفاوت است.

دلیل این گریز ظاهری از کیهان‌شناسی این است که شباهت بین پول سیاه و آن‌چه که کیهان‌شناسان به آن «ماده‌ی تاریک» می‌گویند مشخص شود. ماده‌ی تاریک، همان طوری که از اسمش پیداست، شامل همه نوع ماده در جهان می‌شود که به‌وسیله‌ی روش‌های نجومی‌قابل دیدن نیستند یعنی با هیچ نوع از تلسکوپ‌های نوری، رادیویی و هر آنچه ما در اختیار داریم نمی‌توان دید.

قبلاً با نوعی از ماده‌ی تاریک، به نام سیاه چاله، برخورد کرده بودیم، یک سیاه چاله قابل دیدن نیست، اما می‌شود وجودش را به‌وسیله فعالیت‌های دینامیکی ناشی از میدان گرانشی قوی آن بر روی همسایگانش درک کرد.

گرانش اصلی‌ترین وسیله‌ی درک وجود ماده‌ی تاریک می‌باشد، چون که گرانش خاصیتی عمومی‌است که در «همه» نوع ماده وجود دارد.

سیاه چاله‌ها ممکن است که در سیستم‌های دوتایی ستاره‌ای، و یا در اندازه‌ی بزرگ‌تر، در هسته‌های کهکشان‌ها و یا کوازارها وجود داشته باشند. آیا هیچ نوع دیگر و یا هیچ جای دیگری از ماده‌ی تاریک وجود دارند؟

ستاره شناسان در دهه‌ی ۱۹۷۰ با استفاده از تکنیک موج‌های با طول موج ۲۱ سانتی‌متری، ساختار کهکشان‌ها را به‌طور جداگانه مورد مطالعه قرار دادند.

تابش به‌خصوص اتم هیدروژن، اصلی‌ترین جزء کهکشان ما می‌باشد. این اتم دارای تنها یک الکترون

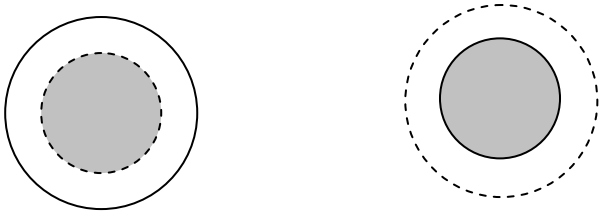
است که به دور هسته‌اش، که تنها یک پروتون دارد، می‌چرخد.

این اتم می‌تواند فقط در دو حالت ممکن وجود داشته باشد. حالتی کـه در آن هـر دو ذره در جهـت یکسانی می‌چرخند انرژی بیشتری دارد از حالتی که ذرات در جهت‌های مخالف هم می‌چرخند.

تمایل طبیعت همواره چنان است که سیستم‌های فیزیکی به پایین‌ترین حالت انـرژی برونـد. بنـابراین اتم هیدروژن تمایل دارد که با تغییر دادن جهت چرخش الکترونش از حالت با انرژی بالا به حالت با انرژی پایین برود. انرژی از دست رفته به وسیله‌ی اتم به‌صورت فوتونی رادیـویی بـا طـول مـوج ۲۱ سانتی‌متر ظاهر می‌شود. ستاره‌شناسان با در نظر گرفتن این نتیجه سعی دارند که از ایـن تـابش بـرای رصد ابرهای هیدروژنی در فضا استفاده کنند.

علاوه بر این، آنها با استفاده از اثر دو پلر می‌توانند سرعتی را که ابرهای هیدروژنی از ما دور و یا بـه ما نزدیک می‌شوند اندازه بگیرند.

اندازه‌گیری از این دست حول کهکشان‌ها، از جمله کهکشان خودمان، ستاره‌شناسان را قادر مـی‌سـازد که سرعت‌های دورانی ابرهای هیدروژنی که دور کهکشان‌ها می‌چرخنـد را انـدازه بگیرنـد. چـرخش ابرهای هیدروژنی به دور کهکشان‌ها به همان دلیل است که سیارات به دور خورشید می‌گردند، یعنی نیروی گرانش با استفاده از قانون نیوتن و کپلر، ستاره شناسان می‌توانند پی به جرم کهکشانی ببرند که گرانشش باعث حرکت دورانی ابرها می‌شود و آن محاسبات نتایج غیر قابل انتظاری را برایشان به بار می‌آورد.



شکل (۱-۱): (ب) (الف)

در شکل بالا ابرهای هیدروژنی را می‌بینیم که حول کهکشـانی در حـال چـرخش هسـتند. در شـکل (الف) ابر در مسـیر دایـروی متحـدالمرکز و در درون کهکشـان قـرار دارد (بـا فـرض کـروی بـودن

کهکشان) برای چنین مسیری جرم مؤثر در جاذبه آن مقداری است که کل جرم آن ابر را جذب می‌کند. بنابراین، ابرها در فواصل مختلف سرعت‌های چرخشی مختلفی خواهند داشت.

با استفاده از این مدل، ستاره شناسان انتظار دارند که سرعت چرخشی برای ابرهایی که در «درون» کهکشان حرکت می‌کنند با فاصله از مرکز کهکشان افزایش یافته، ولی برای ابرهایی که در «خارج» از کهکشان حرکت می‌کنند کاهش یابد.

حال غافل‌گیری در این‌جاست. منحنی سرعت‌های چرخشی در فواصل مختلف برای یک کهکشان معمولی همان‌طور که انتظار می‌رفت از مرکز به بیرون افزایش را نشان می‌دهد. اما در جایی متوقف شده و کم می‌شود تا جایی که «به طور کامل خارج از محدوده‌ی مرئی کهکشان» یکنواخت می‌شود.

علت چیست؟

اولین مورد این خواهد بود که اگر همه‌ی مواد در محدوده‌ی مرئی کهکشان باشند، قانون گرانش، چه از نوع نیوتن و چه انیشتن، با شکست مواجه می‌شود و مورد دوم که کمتر بنیادی است، این است که ادامه یافتن چرخش با سرعت ثابت تا یک چنین فاصله‌ی زیادی به این معنی است که کهکشان دارای موادی غیرمرئی است که خارج از محدوده‌ی مرئی آن هستند.

معمولاً فیزیک‌دانان و ستاره‌شناسان تعبیر دوم و کمتر بنیادی را بر می‌گزینند. بنابراین باید چنین نتیجه بگیریم که یک کهکشان از آن‌چه که به‌نظر می‌رسد سنگین‌تر بوده و جرم آن، در شمایل ماده‌ی تاریک تا دو و یا سه برابر شعاع مرئی آن کشیده شده است.

مقدار این ماده چقدر است؟

در یک خوشه معمولی می‌توان صدها کهکشان را یافت که تحت میدان گرانش یکدیگر می‌گردند. برآورد نظری در مورد چنین سیستمی‌این است که اگر این حرکت‌ها برای مدتی طولانی در جریان بوده باشد، این خوشه کهکشانی به یک حالت تعادل می‌رسد که در آن انرژی جنبشی کل کهکشان‌ها و انرژی پتانسیل آنها از نظر اندازه با هم قابل قیاس خواهند بود.

برای یک خوشه کهکشانی معمولی، در می‌یابیم که انرژی جنبشی با ضریب بالایی از انرژی پتانسیل

فراتر می‌رود.

باز هم ستاره‌شناسان با یک نتیجه‌ی غیرمنتظره‌ای مواجه می‌شوند و باز هم این طور مسئله را توجیه می‌کنند که خوشه‌ها دارای مواد تاریکی هستند که اگر آنها را به محاسباتمان اضافه کنیم، انرژی پتانسیل گرانشی خوشه افزایش یافته و در نتیجه با انرژی جنبشی قابل قیاس می‌شود.

بنابراین چنین می‌توانیم بگوییم که هم کهکشان‌ها به‌طور مجزا و هم خوشه‌های کهکشانی دارای مقادیر قابل توجهی از مواد تاریک هستند. در مورد سئوالی که در ابتدا پرسیده بودیم، یعنی «چه مقدار» جواب از یک نظریه پرداز به دیگری متفاوت است.

مطمئناً نسبت جرم ماده‌ی تاریک به مواد مرئی در جهان بزرگ‌تر از یک است، که حتی شاید به راحتی تا ۱۰ برابر هم باشد. که اگر آن را بیشتر افزایش دهیم، «می‌توانیم» به یک چگالی کلی برسیم که حامیان نظریه‌ی تورم به دنبال آن هستند. پس اگر کیهان‌شناسی تورمی‌درست باشد، مقدار ماده‌ی تاریک برابر است با ۳۰ تا ۱۰۰ برابر ماده‌ی مرئی در جهان.

تا قبل از سال ۱۹۸۰، فرض معمول این بود که جرم سیاه (البته نه واقعاً آنچه که بتوان به‌راحتی آن را در آزمایشگاه مشاهده کرد)، همان گاز، ستاره‌های کم جرم باقی مانده‌های ستاره‌ای در کوتوله‌های سفید وستاره‌های نوترونی، یا سیاه چاله‌های تولید شده به‌وسیله‌ی تحولات اولیه از ستاره‌های خیلی جرم‌دار می‌باشند.

دانشمندان در سال ۱۹۸۰ مواجه با یک ایده جالب توجه دیگر می‌شوند که می‌گفت: ماده سیاه یا نوترینو و یا بعضی ذرات غیر باریونیک ناشناخته می‌باشد، و نیز گفته می‌شود که شاید با تولید این ذرات در آزمایشگاه و یا به‌وسیله ردیابی آزمایشگاهی ذرات از هاله راه شیری که از میان آزمایشگاه می‌گذرند بتوان وجود آنها را امتحان کرد. اما باید این نکته را نیز متذکر شد که کشف این اجرام فوق‌الذکر، که نام جمعی آنها WIMPS (یعنی ذرات جرم داری که به‌طور ضعیف بر هم کنش می‌کنند) بر آنها گذاشته شده است بسیار دشوار است. زیرا آنها مانند نوترینوها تابع نیروی ضعیف‌اند، نه مانند هادرون‌ها که تابع نیروی قوی هستند.

نامزد دیگر گروه ذرات باردار سنگین است که گلاشور و همکارانش بر آنها نام CHAMPS (یعنی ذرات جرم داری که باردار هستند) گذاشته‌اند.

می‌توان امیدوار به ردیابی یک WIMPS در آزمایشگاه به‌وسیله‌ی جستجوی بر هم کنش‌های نادر آن بود. لازم به یادآوری است که در این‌جا نیز آشکارساز از همان نوعی است که برای دیدن نوترینوهای خورشیدی و یا نوترینوهای اختر فیزیکی به‌کار می‌رود. هم‌چنین می‌توان امیدوار به ردیابی WIMPS در کهکشان‌ها به‌وسیله‌ی جستجو به‌دنبال فوتون‌های تولید شده توسط نابودی این ذرات بود.

نهایتاً، شاید بتوان قادر به تولید آنها در شتاب‌دهنده‌ها باشیم. کشف طبیعت ماده سیاه را می‌توان یکی از عوامل مؤثر بر فعالیت‌های اخیر دانشمندان در زمینه کیهان‌شناختی دانست.

در چند سال گذشته پیشرفت‌های زیادی در زمینه‌ی شناسایی خصوصیات اصلی و اساسی جهان انجام شده است. جهان از نظر فضایی تخت بوده و دارای چگالی بحرانی است. انبساط جهان، با سرعت رو به افزایش در حال انجام است، نه با سرعت رو به کاهش یعنی $q_0 < 0$ چگالی جرم / انرژی، به صورت ذیل توزیع می‌شود:

- ستاره‌های روشن (درخشان): ۰/۵٪
- بار یون‌ها (تمام انواع آن): ۱٪ ± ۴٪
- ماده تاریک غیر بار یونیک: ۴٪ ± ۲۹٪
- نوتریون‌ها: حداقل ۰/۱٪ و احتمالاً ۵٪
- انرژی تاریک: ۶٪ ± ۶۶٪

گواهی برای تخت بودن، از اندازه‌گیری‌های مربوط به ناهمسان‌گردی میکرو موج زمینه‌ی کیهانی (CMB) در مقیاس‌های زاویه‌ای حدود ۱ درجه ناشی می‌شود. این اندازه‌گیری‌ها اشاره بر این دارند که $\Omega_{.} = 1 \pm 0.04$ است. این به این معناست که شعاع انحنا جهان با توجه به فرمول

$R_{curv} = \frac{H_0^{-1}}{|\Omega_0 - 1|^{\frac{1}{2}}}$ در حدود ۵ برابر بزرگتر از شعاع هابل است.

وجود (حداقل) سه مؤلفه که با قرمز گرایی کاملاً متفاوتی ظاهر می‌شوند، تحول جهان را به (حداقل) سه مرحله تقسیم می‌کنند:

۱) ناحیه تسلط تابش اولیه که شامل نوترون‌ها، نوترینوها، و یک طیفی از ذرات نسبیتی که با دما رشد می‌کنند.

۲) ناحیه تسلط ماده در طول آنچه که ساختار کیهان رشد کرد.

۳) ناحیه تسلط انرژی تاریک که به‌وسیله‌ی انبساط شتاب‌دار و توقف شکل‌گیری ساختار مشخص شده است.

این نکته را نیز باید متذکر شد که دقت محاسبات کنونی هنوز این اجازه را برای یک مؤلفه ناشناخته‌ای می‌دهد که شاید به بزرگی ۱۰٪ چگالی بحرانی سهم دارد.

اکنون که ما می‌توانیم مؤلفه‌های جهان را معین کرده و شمارش کنیم، وظیفه بعدی این است که آنها را بفهمیم.

سه سوال اساسی این است:

الف) شکلی که بار یون‌های تاریک به خودشان می‌گیرند چیست؟

ب) تشکیل دهنده‌های ماده‌ی تاریک غیر بار یونیک چه هستند؟

پ) طبیعت انرژی تاریک چیست؟

۱-۲) نواحی تسلط ماده و تابش وخلاء

در بررسی تحولات جهان، معمولاً سه حالت تسلط ماده، تسلط تابش و تسلط انرژی تاریک (خلاء) را برای شاره‌ی کیهانی درنظر می‌گیرند.

الف) تسلط ماده: ناحیه‌ای است که در آن تسلط ماده نسبت به شکلهای دیگر شاره‌ی کیهانی بیشتر

است. پس در این ناحیه فرض می‌کنیم که ذرات غیر نسبیتی‌اند و برخورد با هم ندارنـد. مثـالی از آن، ستاره و کهکشان‌های معمولی می‌باشند که برای بررسی آنها می‌توان از فشار شاره در مقابـل چگـالی تشکیل دهنده‌ی آنها صرف نظر کرد.

به همین دلیل، حوزه‌ای از عالم در دورانی که چگالی انرژی عمدتا بـه علـت تجمـع ایـن نـوع ذرات شکل مـی‌گیـرد، بـه عنـوان حـوزه‌ی تسـلط مـاده معـروف اسـت. بـا جایگـذاری $\alpha = ۰$ در رابطـه $p \approx a^{-3(1-+\alpha)}$ [مرجع ۱] خواهیم داشت

$$\rho \approx a^{-۳} \qquad (۱-۱)$$

ب) تسلط تابش: در این ناحیه فرض می‌کنیم که ذرات با سرعت نسبیتی حرکت می‌کنند، پس انرژی آنها خیلی زیاد بوده به‌طوری که می‌توان از جرم آنها صرف نظر کرد. در نتیجه، تمام این ذرات، شـبیه فوتون یا نوترینو رفتار می‌کنند. جهانی که در آن، چگالی انرژی به شکل تابش باشـد را ناحیـه تـابش گویند. از آن‌جا که در این ناحیه، ذرات جرم‌دار و فوتون‌ها، غیر قابل تشخیص از یکدیگر مـی‌باشـند، به همین دلیل برای توصیف تابش از تانسور انـرژی- مـومنتم میـدان الکترومغناطیسـی زیـر اسـتفاده می‌کنیم:

$$T^{\mu\nu} = \frac{1}{4\pi}\left(F^{\mu\lambda} F^{\nu}_{\lambda} - \frac{1}{4} g^{\mu\nu} F^{\lambda\sigma} F_{\lambda\sigma} \right) = 0 \qquad (۲-۱)$$

حال اگر رد این تانسور را بنویسیم، داریم:

$$T^{\mu}_{\mu} = \frac{1}{4\pi}\left(F^{\mu\lambda} F_{\mu\lambda} - \frac{1}{4}(4) F^{\lambda\sigma} F_{\lambda\sigma} \right) = 0 \qquad (۳-۱)$$

اما از طرفی می‌دانیم که این رابطه هم ارز معادله $T^{\mu}_{\mu} = -\rho + ۳P$ [مرجع ۱] می‌باشد، پس داریم:

$$p = \frac{1}{3}\,\rho \rightarrow \alpha = \qquad (٤-۱)$$

$$\frac{1}{3}$$

اکنون با جایگذاری رابطه‌ی فوق در رابطه $\rho \approx a^{-۳(۱-+\alpha)}$ داریم:

$$\rho \approx a^{-4} \qquad (۵-۱)$$

مشاهده می‌شود که انبساط جهان، چگالی انرژی در دوران تابش کمی‌سریع‌تراز دوران تسلط ماده افت می‌کند. علت این امر آن است که چگالی فوتون‌ها به‌طـور جداگانـه، مقـداری از انـرژی را بـه علـت پدیده‌ی قرمز گرایی کیهان شناسی به صورت a^{-1} از دست می‌دهد.

ج) تسلط خلاء: شکل دیگر مربوط به شاره کیهان‌شناسی می‌تواند به‌صورت یک چگالی انرژی ثابت در تمام فضا در نظر گرفته شود، که البته این انرژی ثابت، می‌تواند مربوط به یک میدان اسکالر باشـد و ما آن را به‌عنوان انرژی خلاء در نظر می‌گیریم.

حوزه‌هایی از عالم که در آن چگالی انرژی خلاء غالب باشد را حوزه‌ی تسلط خلاء می‌شناسـیم. ایـن مطلب بیانگر آن است که خلاء نیز دارای انرژی است. این انرژی باعث ظهور یک ثابت در معادلـه‌ی انیشتین به‌صورت زیر می‌شود:

(۶-۱)

$$G_{\mu\nu} = 8\pi G T_{\mu\nu} - \Lambda g_{\mu\nu}$$

به ثابت ظهور یافته‌ی Λ در معادله‌ی انشتین، «ثابت کیهان شناسی» می‌گویند. در ایـن ناحیـه $\alpha = -1$ است که با جای‌گذاری در معادله $\rho \approx a^{-3(1+\alpha)}$ به رابطه زیر می‌رسیم:

$$p = -\rho \qquad (7\text{-}1)$$

طبق این رابطه دیده می‌شود که $P = -\rho = \text{constant}$ (و مستقل از فاکتور مقیاس α است). یعنی ρ هم نسبت به زمان و هم نسبت به مکان، همگن و همسان‌گرد است.

۱-۳) بحث درباره افت و خیزهای چگالی

افت و خیزهای چگالی در تابش، ساده‌ترین نوع است. چون در عـالم آغـازین مـاده معمـولی (کـه از پروتون‌ها، نوترون‌ها و الکترون‌ها ساخته شده است) به صورت پلاسما بود، ایـن مـاده بـه شـدت بـا فوتون‌ها ارتباط داشت و فوتون‌ها به‌طور مستمر از سوی پروتون‌ها و الکترون‌های عالم اولیه‌ی جذب و نشر می‌شدند.

این ایجاب می‌کند که هر نوع نوسانات چگالی ماده معمولی به افت و خیزهایی در چگالی تابشی (و برعکس) بینجامد. این جفت شدگی ماده و تابش از قابل مقایسه بودن افت و خیزهای چگالی هر یک از آنها حکایت می‌کند. اما باید به یاد داشت که تابش از فوتون‌هایی ساخته شده است که با سرعت نور حرکت می‌کنند. بنابراین، غیرممکن است که خوشه‌ای تابشی به علت خود گرانشی آن شکل گیرد. سرعت بالای فوتون‌ها باعث فرار آن‌ها از این جاذبه‌ی گرانشی می‌شود. بنابراین در هیچ مقیاسی، تراکمی‌از انرژی تابشی نداریم.

با توجه به این که ماده‌ی معمولی و تابش به شدت با یکدیگر جفت شده‌اند به‌نظر می‌رسد که نمی‌توان تراکم ماده‌ی معمولی هم داشت در حالی که خود گرانشی ماده تلاش می‌کند باعث رمبش شود، تابش از رمبش جلوگیری می‌کند. چون تابش از ذراتی با سرعت نور تشکیل شده است، سرانجام بر گرانش غلبه خواهد کرد.

به‌طور خلاصه، هیچ امیدی نیست وقتی ماده‌ی معمولی با تابش جفت است، ناپایداری گرانشی بتواند وارد عمل شود (و افت و خیزهای چگالی رشد کنند)

اگر افت و خیزهای چگالی نمی‌توانند رشد کنند، چگونه ساختارهایی نظیر کهکشان‌ها می‌توانند از ماده معمولی شکل گیرند؟

پس از جدایی ماده و تابش، افت و خیزهای چگالی ماده‌ی معمولی رشد کردند. این جدایی زمانی اتفاق افتاد که عالم حدود هزار مرتبه کوچک‌تر بود یا به بیان دیگر، وقتی قرمزگرایی $Z=۱۰۰۰$ بود. ماده معمولی در قرمزگرایی‌های بیشتر از هزار با تابش جفت شده بود، در نتیجه ماده و تابش دارای افت و خیزهای چگالی یکسانی بودند. بنابراین، هر قیدی رصدی که بر تابش اعمال شود، قیدی غیرمستقیم را در مورد افت و خیزهای چگالی ماده‌ی معمولی ایجاب می‌کند.

اما وقتی ماده‌ی تاریک را در نظر بگیریم، وضعیت کاملاً فرق می‌کند. ماده‌ی تاریک از ذرات بدون بار و خنثی تشکیل شده است که به‌طور مستقیم با تابش جفت نیستند؛ بنابراین، هیچ نوع قیدی بر تابش، افت و خیزهای چگالی در ماده‌ی تاریک را مقید نخواهد کرد.

توده‌ای از ذرات ماده‌ی تاریک به علت خود گرانشی در کنار یکدیگر قرار گرفته‌اند، نمی‌توانند انرژیشان را از دست دهند. اندازه‌ی چنین هاله‌ای وقتی خود گرانشی اهمیت می‌یابد، چندان تغییر نخواهد کرد. چنین هاله‌ای (از ماده تاریک) به‌گونه‌ای عمل خواهد کرد که آن را چاه پتانسیل می‌نامند. عالمی‌شامل هاله‌های ماده‌ی تاریک با اندازه‌ها و شکل‌های مختلف می‌توانند با سطحی مقایسه شود که دارای پستی و بلندی است. اگر روی چنین سطحی آب بریزیم در هر یک از این گودی‌ها مقداری آب جمع می‌شود و هر چه فرو رفتگی عمیق‌تر باشد، مقدار بیش‌تری آب جمع می‌شود. در مورد نوکلئون‌های موجود در عالم و چاه‌های پتانسیل ماده‌ی تاریک نیز وضعیتی مشابه رخ می‌دهد.

نوکلئون‌ها نیز در هر یک از این چاه‌های پتانسیل به دام می‌افتند و بنابراین می‌توانند انرژی‌شان را بتابانند. به بیان دیگر گازی داغ از نوکلئون‌ها ممکن است به علت نشر تابش سرد شود.

هم‌چنان که گاز سرد می‌شود، دما و انرژی جنبشی‌اش کاهش می‌یابد و به سمت پایین‌ترین نقطه چاه پتانسیل حرکت می‌کند.

به این ترتیب، ماده نوکلئونی در مرکز هاله‌های ماده‌ی تاریک شکل می‌گیرد.

۱-۴) بار یون‌های تاریک

فرایند تشکیل مواد پیچیده‌ی اولیه، کسر کوچکی از دوتریم را به همراه داشت. این پیش بینی کیهان‌شناسی مبتنی بر انفجار بزرگ و داغ، به‌طور حساسی از میزان چگالی بار یونی موجود در جهان امروز مستقل است. اگر این میزان از مقدار بحرانی اشاره شده در بالا فراتر رود، فراوانی دوتریم به‌طور سریع سقوط کرد. و کاملاً قابل صرفنظر کردن می‌شود.

بنابراین کیهان‌شناس معتقد به انفجار بزرگ علاقمند خواهد بود که چگالی بار یون‌ها در جهان امروز کمتر از این مقدار بحرانی باشد، در نتیجه مواد تاریک نمی‌تواند به‌طور کامل بار یونی باشند در لحظه‌ی خیلی ابتدایی از آغاز جهان ماده و تابش پیوسته در حال بر هم کنش بودند تا این‌که دمای جهان به اندازه‌ی ۳۰۰۰ درجه کلوین کاهش یافت.