بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه کردستان

دانشکده علوم

گروه فیزیک

پایان نامه کارشناسی ارشد رشته فیزیک گرایش نظری

عنوان:

بررسی مدل‌های کیهان تورمی وابسته به پتانسیل

پژوهشگر:

سعیدهاشمی

استاد راهنما:

دکترکیومرث کرمی

اسفند ماه ۱۳۹۳

کلیه حقوق مادی و معنوی مترتب بر نتایـج مطالعات،

ابتکارات و نوآوری های ناشی از تحقیق موضوع

این پایان‌نامه (رسـاله) متعلق به دانشـگاه کردستان است.

بسمه تعالی

* تعهد نامه دانشجویان تحصیلات تکمیلی دانشگاه کردستان در انجام پایان نامه *

اینجانب: سعید هاشمی دانشجوی مقطع: کارشناسی ارشد رشته: فیزیک متعهد میشوم:

۱- صداقت، امانتداری و بی طرفی را در انجام پژوهش و انتشار نتایج حاصل از آن رعایت نمایم.

۲- در نگارش نتیجه پژوهش های حاصل از موضوع پایان نامه، از باز نویسی نوشته های دیگران بدون ذکر منبع، بازی با الفاظ، زیاده نویسی، کلی گویی و جزم اندیشی و تصرف گرایی پرهیز نمایم و نتایج پژوهشی خود را در موعد مقرر و با اطلاع استاد راهنما منتشر نمایم.

۳-تمامی یافته های مستخرج از پایان نامه متعلق به دانشگاه کردستان بوده و لازم است در کلیه مقالات مستخرج از آنها نام دانشگاه کردستان را تحت عنوان ((دانشجوی دانشگاه کردستان)) یا ((دانش آموخته دانشگاه کردستان)) ذکر نمایم.

۴- در انتشار مقالات نام استاد (استادان) راهنما و استاد (استادان) مشاور را در لیست مولفین مقاله ذکر نمایم و از آوردن اسامی افرادی که نقش موثری در انجام پژوهش نداشته اند، جداً خودداری نمایم.

۵- در بخش سپاسگزاری مقاله، از تمامی افراد و سازمان هایی که در اجرای پژوهش مساعدتی مبذول داشته اند با ذکر نوع مشارکت تشکر و قدر دانی نمایم.

۶- از انتشار همپوشان یا ارسال همزمان یک مقاله به چند مجله و یا ارسال مجدد مقاله چاپ شده به مجلات دیگر خودداری نمایم.

۷- در صورت عدم رعایت موارد مذکور، دانشگاه کردستان مجاز خواهد بود تا برابر مقررات اقدام نماید.

امضاء دانشجو

دستور العمل نحوه برخورد با موارد تخطی دانشجویان تحصیلات تکمیلی در هنگام انتشار نتایج پژوهش

۱- درموارد زیر دانشگاه کردستان با مجله مربوطه مکاتبه و درخواست خارج نمودن مقاله را نموده و موضوع را به محل کار یا تحصیل بعدی دانشجو اطلاع خواهد داد.

الف: چاپ مقاله بدون اطلاع و تأیید استادان راهنما

ب: چاپ نتایج حاصل از پژوهش های انجام شده در دانشگاه کردستان بدون ذکر نام دانشگاه

۲- در صورت احراز تخلف از سایر موارد درج شده در تعهد نامه دانشجویی، دانشگاه ضمن مکاتبه با مجله مربوطه، حسب مورد تصمیم گیری خواهد نمود.

دانشگاه کردستان
دانشکده علوم پایه
گروه فیزیک

پایان نامه کارشناسی ارشد رشته فیزیک گرایش بنیادی(نظری)

عنوان:

بررسی مدل‌های کیهان تورمی وابسته به پتانسیل

پژوهشگر:
سعید هاشمی

در تاریخ ۰۶ / ۱۲ / ۱۳۹۳ توسط کمیته تخصصی وهیات داوران زیر مورد بررسی قرار گرفت و با نمره ۱۹،۰۱ و درجه عالی به تصویب رسید.

هیات داوران	نام و نام خانوادگی	مرتبه علمی	امضاء
۱ـ استاد راهنما	دکتر کیومرث کرمی	دانشیار	
۳ـ استاد داور خارجی	دکتر محمد ملک جانی	استاد یار	
۴ـ استاد داور داخلی	دکتر بهروز ملک الکلامی	استاد یار	

مهر و امضاء مدیر گروه
دکتر بهروز ملک الکلامی

دانشگاه کردستان
دانشکده علوم پایه
گروه فیزیک

تقدیم به

خدایی که آفرید

جهان را، انسان را، عشق را، معرفت را

و به کسانی که عشقشان را در وجودم دمید

پدرم

که از نگاهش صلابت، از رفتارش محبت، و از صبرش ایستادگی را آموختم

مادرم

دریای بی کران فداکاری و عشق که وجودم برایش همه رنج بود و وجودش برایم همه مهر

خواهران و برادران عزیزتر از جانم

استاد عزیزم جناب آقای دکتر کیومرث کرمی

با همه بلندی مقامتان و همه کوتاهی مرتبه ام در برابر شما، قدردان زحمات بیشکی تان، هستم

سپاسگزاری

سپاس خداوندگار حکیم که با لطف بی‌کران خود، آدمی را زیور عقل آراست.

در آغاز وظیفه‌ی خود می‌دانم از زحمات بی‌دریغ استاد راهنمای خود، آقای دکتر کیومرث کرمی صمیمانه تشکر و قدردانی کنم که قطعاً بدون راهنمایی‌های ارزنده‌ی ایشان، این مجموعه به انجام نمی‌رسید.

در پایان تشکر می‌کنم از دوستان خوبم ناصر الیاسی، کاظم رضازاده که هریک به نحوی در دوره‌ی تحصیلی کارشناسی ارشد مرا یاری کردند.

اسفند ۱۳۹۳

چکیده

در این پایان نامه، مدل‌های تورمی سرد و گرم را در چارچوب میدان های اسکالر کوینتسنس و تاخیون بررسی می‌کنیم. به این منظور، برای پتانسیل‌های تورمی مختلف شامل توانی، نمایی، هیگز، کلمن-واینبرگ و R^2، پارامترهای مشاهداتی شامل شاخص طیفی اسکالری (n_s) و نسبت تانسور به اسکالر (r) را به‌دست می‌آوریم. سپس نمودارهای r بر حسب n_s را برای مدل‌های تورمی سرد و گرم در چارچوب میدان های اسکالر کوینتسنس و تاخیون استخراج می‌کنیم. در ادامه، پیش بینی مدل‌های نظری بررسی شده را با نتایج مشاهداتی پلانک ۲۰۱۳ و بایسپ۲ مقایسه می‌کنیم و با استفاده از آن، پتانسیل‌های تورمی سازگار با مشاهدات را پیدا می‌کنیم.

کلمات کلیدی: مدل های تورمی میدان اسکالر کوینتسنس و تاخیون، تورم سرد و گرم، شاخص طیفی اسکالری، نسبت تانسور به اسکالر

فهرست مطالب

فصل اول: جهان تورمی و رفع مشکلات نظریه‌ی انفجار بزرگ داغ ۱

۱-۱ کیهان‌شناسی انفجار بزرگ داغ ۱

۱-۱-۱ امتیازات ۲

۱-۱-۲ مشکلات ۲

۱-۱-۲-۱ مشکل افق ۲

۱-۱-۲-۲ مشکل تخت بودن ۴

۱-۱-۲-۳ مشکل تک‌قطبی‌های مغناطیسی ۵

۱-۲ تورم کیهانی ۵

۱-۳ حل مشکلات کیهان‌شناسی نظریه‌ی انفجار بزرگ داغ ۸

۱-۳-۱ حل کردن مسئله‌ی افق ۸

۱-۳-۲ حل کردن مسئله‌ی تخت بودن ۹

۱-۳-۳ حل کردن مسئله‌ی تک‌قطبی‌های مغناطیسی ۱۰

فصل دوم: تورم سرد و گرم و مدل‌های میدان اسکالر ۱۱

۲-۱ تقریب غلتش آهسته ۱۱

۲-۲ تورم سرد وگرم ۱۳

۲-۲-۱ تورم سرد ۱۳

۲-۲-۲ تورم گرم ۱۴

۲-۳ مدل تورم میدان اسکالر کوینتسنس ۱۵

۲-۳-۱ مدل تورم کوینتسنس سرد ۱۶

۲-۳-۲ طیف اختلالات در کوینتسنس سرد ۱۷

۲-۳-۲-۱ اختلالات اسکالری ۱۷

۲-۳-۲-۲ اختلالات تانسوری ۱۸

۲-۳-۳ مدل تورم کوینتسنس گرم ۲۰

۲-۳-۴ طیف اختلالات در کوینتسنس گرم ۲۲

۲-۳-۴-۱ اختلالات اسکالری ۲۲

۲-۳-۴-۲ اختلالات تانسوری ۲۴

۲-۴ مدل تورم میدان اسکالر تاخیون ۲۶

۲-۴-۱ ذره‌ی تاخیون ۲۶

۲-۴-۲ میدان اسکالر تاخیون ۲۷
۲-۴-۳ مدل تورم تاخیون سرد ۲۸
۲-۴-۴ طیف اختلالات در تورم تاخیون سرد ۲۹
۲-۴-۴-۱ اختلالات اسکالری ۲۹
۲-۴-۴-۲ اختلالات تانسوری ۳۰
۲-۴-۵ مدل تورم تاخیون گرم ۳۱
۲-۴-۶ طیف اختلالات در تاخیون گرم ۳۳
۲-۴-۶-۱ اختلالات اسکالری ۳۳
۲-۴-۶-۲ اختلالات تانسوری ۳۴
۲-۵ تورم و مشاهدات WMAP، پلانک و BICEP2 ..... ۳۷

فصل سوم: بررسی مدل‌های تورمی کوینتسنس سرد و گرم با پتانسیل‌های مختلف ۳۸

۳-۱ مدل تورم کوینتسنس سرد ۳۸
۳-۱-۱ پتانسیل‌های شامل یک پارامتر آزاد ۳۸
۳-۱-۲ پتانسیل‌های شامل چند پارامتر آزاد ۴۱
۳-۱-۳ پتانسیل دارای دو حالت ۴۳
۳-۱-۳-۱ حالت $\phi < \mu$ ۴۳
۳-۱-۳-۲ حالت $\phi > \mu$ ۴۴
۳-۲ تحلیل ابعادی ۴۵
۳-۳ مدل تورم کوینتسنس گرم ۵۱
۳-۳-۱ پتانسیل شامل دو پارامتر آزاد ۵۱
۳-۳-۱-۱ $\Gamma = \Gamma_0$ ۵۱
۳-۳-۱-۲ $\Gamma = C^2V(\phi)$ ۵۴
۳-۴ انواع تورم و ضریب مقیاس‌ها ۶۱
۳-۴-۱ تورم سرد ۶۳
۳-۴-۲ تورم گرم ۶۴
۳-۴-۲-۱ $\Gamma = \Gamma_0$ ۶۴
۳-۴-۲-۲ $\Gamma = C^2V(\phi)$ ۶۵

فصل چهارم: بررسی مدل‌های تاخیون سرد و گرم با پتانسیل‌های مختلف ۶۸

۴-۱ مدل تورم تاخیون سرد ۶۸

۴-۱-۱ حالت $n > 2$ ۶۹
۴-۱-۲ حالت $n < 2$ ۷۰
۴-۲ مدل تورم تاخیون گرم ۷۵
۴-۳ ضریب مقیاس‌ها در مدل تورم میدان اسکالر تاخیون ۸۴
۴-۳-۱ تورم سرد ۸۴
۴-۳-۲ تورم گرم ۸۵

فصل پنجم: نتیجه‌گیری ۸۷

مرجع‌ها ۸۹

۱ فصل اول

جهان تورمی و رفع مشکلات نظریه‌ی انفجار بزرگ داغ

۱-۱ کیهان‌شناسی انفجار بزرگ داغ

انبساط جهان توسط ادوین هابل[۱] در سال ۱۹۲۹، کشف شد. در واقع هابل نشان داد که هر ناظری تمام اجسام را در حال دور شدن از خود با سرعتی متناسب با فاصله می‌بیند. اگر انبساط جهان را معکوس کنیم به یک نقطه تکین با چگالی بی‌نهایت و دمای بسیار زیاد در زمان صفر می‌رسیم که در آن انفجار بزرگ[۲] اتفاق افتاده است [۱]. مدلی که انبساط جهان را بر این پایه بررسی می‌کند، به کیهان‌شناسی انفجار بزرگ داغ معروف است. این مدل شامل دو مرحله‌ی تابش غالب و ماده غالب است [۱]. این مدل به‌وسیله‌ی چندین مشاهده تأیید شده است که عبارتند از:

۱) انبساط جهان: هابل با توجه به مشاهداتش دریافت که کهکشان‌ها در حال دور شدن از ما هستند. در اصل سرعت دور شدن آن‌ها متناسب با فاصله‌شان از ما است

$$\vec{v} = H_0 \vec{r} \qquad (۱-۱)$$

در این رابطه $\vec{v}$ سرعت شعاعی (بر حسب (kms^{-1})، $\vec{r}$ فاصله (بر حسب Mpc) و H_0 ثابت هابل است و این رابطه به قانون هابل معروف است.

۲) سنتز هسته‌ای[۳] و پیدایش عناصر سبک: در زمان‌های نخست، دما بسیار بالا بوده است. به همین دلیل جهان حاوی پروتون‌ها و نوترون‌هایی بوده است که در تعادل گرمایی قرار داشته‌اند. با انبساط و سرد شدن جهان، این ذرات با یکدیگر پیوند می‌خورند و هسته‌ها را به وجود می‌آورند. این فرایند، هنگامی که سن جهان حدود یک ثانیه بوده است، اتفاق می‌افتد و به سنتز هسته‌ای معروف است.

۳) تابش زمینه‌ی ریز موج کیهانی[۴]: در سال ۱۹۶۵ پنزیاس[۵] و ویلسون[۶] کشف کردند که زمین در حمامی از تابش ریز موج با طیف یک جسم سیاه در دمای حدود ۳ درجه کلوین غوطه‌ور

---

[۱] Edwin Hubble

[۲] Big Bang

[۳] Nucleosynthesis

[۴] Cosmic Microwave Background (CMB)

[۵] Penzias

[۶] Wilson

است [۲]. در زمان‌های اولیه هنگامی که دما حدود سه میلیون درجه‌ی کلوین بوده است، محتوای جهان پلاسمایی از هسته‌ها، الکترون‌ها و فوتون‌ها بوده است [۳]. با انبساط و سرد شدن جهان، هسته‌ها و الکترون‌ها به هم پیوند خورده‌اند و اتم‌ها را به وجود آورده‌اند. این دوره به اصطلاح دوره‌ی بازترکیب[۱] نامیده می‌شود. در این زمان دیگر فوتون‌ها توانایی یونیزه کردن اتم‌ها را ندارند و می‌توانند بدون مانع حرکت کنند. با این شرایط، جهان از یک حالت کدر به حالت شفاف تبدیل می‌شود. این فرایند به واجفتیدگی[۲] معروف است. در این زمان دمای فوتون‌ها در حدود ۳۰۰۰ درجه‌ی کلوین است و در اثر انبساط و سرد شدن جهان، هنگامی که این فوتون‌ها به صورت تابش ریز موج زمینه‌ی کیهانی به ما می‌رسند، دمایی در حدود ۲.۷۲۵ درجه کلوین دارند [۳].

۱-۱-۱ امتیازات

این مدل دارای موفقیت‌های زیادی از قبیل سنتز هسته‌ای، تابش ریز موج زمینه‌ی کیهانی عالم است [۱].

۱-۱-۲ مشکلات

مدل انفجار بزرگ داغ، نظریه‌ای موفق در تحلیل جهان هستی است اما با توجه به موفقیت‌های زیادش در زمینه‌های مختلف، دارای مشکلات خاص مربوط به خود است، از قبیل مشکل افق[۳]، مشکل تخت بودن[۴] و مشکل فراوانی تک قطبی‌های مغناطیسی[۵][۱]. در ادامه به توضیح هر یک از این مشکلات مشکلات خواهیم پرداخت.

۱-۱-۲-۱ مشکل افق

قبل از اینکه مشکل افق را بیان کنیم، دو اصل بسیار مهم در کیهان‌شناسی را بیان می‌کنیم [۳و۴]:

۱) اصل همگنی[۶]: جهان در هر نقطه‌ای یکسان به نظر می‌رسد.

۲) اصل همسانگردی[۷]: جهان در همه‌ی جهت‌ها یکسان به نظر می‌رسد.

اصل‌های بالا بیان کننده‌ی این موضوع هستند که در جهان هیچ مشاهده‌گر ویژه‌ای وجود ندارد. این اصل‌ها در مقیاس‌های بزرگ‌تر از ۱۰۰ مگاپارسک[۸] برقرار هستند و با هم به عنوان اصل کیهان‌شناسی[۹] معروف هستند [۳و۴].

---

[۱] Recombination

[۲] Decoupling

[۳] Horizon problem

[۴] Flatness problem

[۵] Magnetic-monopole problem

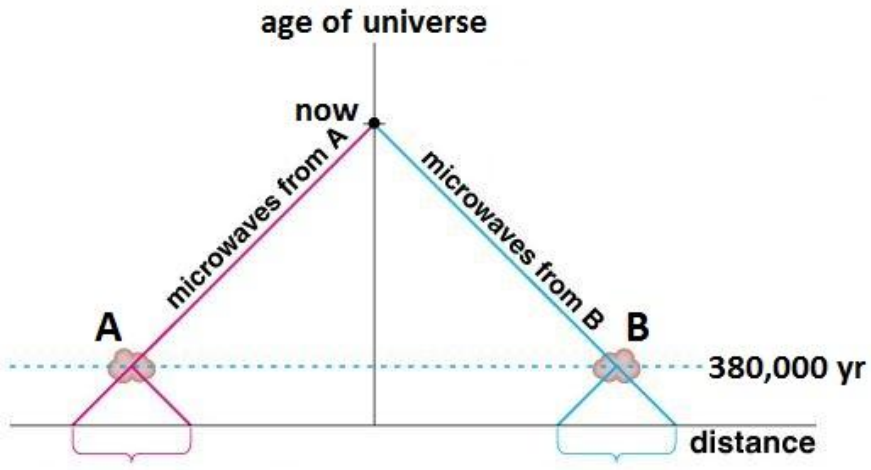
[۶] Homogeneity

[۷] Isotropy

[۸] Mega parsec (Mpc)

[۹] Cosmological Principle

حال به بیان مشکل افق می‌پردازیم. مشکل افق در اصل به ارتباط بین نقاط مختلف جهان اشاره دارد. یکی از بارزترین ویژگی‌های CMB (تابش زمینه‌ی ریز موج کیهانی) این است که به طور شگفت‌آوری همسانگرد است. این بدان معناست که فوتون‌هایی که از جهت‌های مختلف به ما می‌رسند دارای دمای یکسان هستند. این ویژگی بیان کننده‌ی این موضوع است که نقاط مختلف آسمان در گذشته با یکدیگر برهم‌کنش داشته‌اند تا به تعادل گرمایی برسند و در نتیجه ما دمای یکسانی را از جهت‌های مختلف مشاهده می‌کنیم. مدل انفجار بزرگ داغ توانایی توضیح این مسئله را ندارد. شکل ۱-۱ این مشکل را بهتر نشان می‌دهد.



شکل ۱-۱ مخروط نوری فضا- زمان برای مدل انفجار بزرگ داغ [۸].

همان‌طور که در شکل ۱-۱ می‌بینید، دو فوتون A و B در مدل انفجار بزرگ داغ درگذشته با یکدیگر برهم‌کنش نداشته‌اند، پس نمی‌توانند در زمان حال دارای دمای یکسان باشند [۵ و۶].

توجه کنید که تابش زمینه‌ی ریز موج کیهانی کاملاً همسانگرد نیست بلکه دارای افت‌وخیزهای کوچکی در حدود یک در صد هزار می‌باشد [۷].

۱-۱-۲-۲ مشکل تخت بودن

یکی از معادلات اساسی در کیهان‌شناسی، معادله‌ی فریدمان[۱] است که به صورت زیر بیان می‌شود می‌شود [۹]

[۱] Friedmann equation

$$H^2 = \frac{8\pi G}{3}\rho - \frac{K}{a^2} \qquad (۲-۱)$$

که در این رابطه ρ چگالی انرژی شاره (با فرض اینکه ماده‌ی موجود در جهان یک شاره‌ی کامل است)، a ضریب مقیاس[۱] (نشان دهنده انبساط جهان)، $H = \frac{\dot{a}}{a}$ پارامتر هابل (نشان دهنده آهنگ انبساط) و ثابت Kنشان‌دهنده‌ی خمش فضا (مشخص‌کننده‌ی هندسه‌ی جهان) است و دارای سه مقدار 1 ، 0 و -1 که به ترتیب به جهان‌های بسته (کروی)، تخت و باز (هذلولوی) مربوط هستند.

معادله‌ی فریدمان را با استفاده از پارامتر چگالی[۲] به صورت $\Omega = \frac{\rho}{\rho_c}$، که در آن $\rho_c = \frac{3H^2}{8\pi G}$ چگالی بحرانی[۳] است، می‌توان به صورت زیر بیان کرد:

$$|\Omega - 1| = \frac{|K|}{a^2H^2} \qquad (۳-۱)$$

که $\Omega > 1$ به جهان بسته، $\Omega = 1$ به جهان تخت و $\Omega < 1$ به جهان باز مربوط می‌شوند. با توجه به رابطه‌ی (۳-۱)، اگر Ω برابر با 1 باشد، با گذشت زمان تغییر نخواهد کرد. از طرفی مجذور شعاع هابل همراه $(aH)^{-2}$ در مدل انفجار بزرگ داغ هم در دوره‌ی تابش غالب[۴] ($a \propto t^{1/2}$) و هم در دوره‌ی ماده غالب[۵] ($a \propto t^{2/3}$) با گذشت زمان افزایش می‌یابد که با توجه به رابطه‌ی (۳-۱)، موجب واگرا شدن کمیت $|\Omega - 1|$ با گذشت زمان می‌شود. به طور واضح‌تر

در دوره‌ی تابش غالب $\quad a^2H^2 \propto t^{-1} \;\rightarrow\; |\Omega - 1| \propto t$

در دوره‌ی ماده غالب $\quad a^2H^2 \propto t^{-\frac{2}{3}} \;\rightarrow\; |\Omega - 1| \propto t^{2/3}$

همان‌طور که از روابط بالا استنتاج می‌شود، با گذشت زمان کمیت $|\Omega - 1|$ در دو دوره‌ی تابش غالب و ماده غالب واگرا می‌شود و این به معنای فاصله گرفتن پارامتر چگالی از مقدار 1 است، و بنابراین یک جهان غیر تخت را نتیجه می‌دهد. از سوی دیگر، داده‌های مشاهداتی اخیر بیانگر این است که پارامتر چگالی بسیار به یک نزدیک است و هندسه جهان تقریباً تخت است [۹].

---

[۱] Scale factor

[۲] Density parameter

[۳] Critical density

[۴] Radiation dominated

[۵] Matter dominated

۱-۱-۲-۳ مشکل تک‌قطبی‌های مغناطیسی

تک‌قطبی‌های مغناطیسی پی‌آمد اجتناب ناپذیری از نظریه اتحاد بزرگ[۱] (نظریه‌ای که نیروهای بنیادی را متحد می‌کند) است [۶]. از ویژگی‌های این ذرات جرم بالای آن‌ها است به همین دلیل این ذرات غیر نسبیتی هستند [۶]. عقیده بر این است که تعداد زیادی از این ذرات در مراحل ابتدایی به دلیل دمای بسیار بالای جهان به وجود آمده است و در دوره‌های بعدی نیز باقی مانده است. از سوی دیگر، بر اساس مشاهدات اخیر چگالی این ذرات کمتر از مقداری است که مدل انفجار بزرگ داغ پیش بینی می‌کند. به همین دلیل پیش‌بینی نظریه‌ی انفجار بزرگ داغ با پیش‌بینی نظریه‌ی اتحاد بزرگ در تناقض است [۶].

۱-۲ تورم کیهانی

همان‌طور که دیدیم، به دلیل ناتوانی مدل انفجار بزرگ داغ در توضیح دادن بعضی از پدیده‌ها، این مدل به تنهایی نمی‌تواند یک نظریه‌ی کامل باشد. نظریه‌ی تورمی، به عنوان یک راه حل در سال ۱۹۸۱ توسط آلن گات[۲] [۱۰] پیشنهاد شد. تورم در زمان‌های اولیه به مدل انفجار بزرگ داغ اضافه می‌شود و بدون اینکه اختلالی در موفقیت‌های آن به وجود آورد، خیلی سریع پایان می‌یابد و عالم روال عادی خود را سپری می‌کند [۶]. تورم در واقع به دوره‌ای از تحول جهان اطلاق می‌شود که دارای انبساط شتابدار است و در بازه زمانی بین $۱۰^{-۴۳}$ ثانیه تا $۱۰^{-۳۴}$ ثانیه بعد از پیدایش جهان اتفاق افتاده‌است. به عبارت دیگر، تورم به دوره‌ای از تحول جهان اشاره دارد که در آن شتاب مثبت باشد [۱۱-۱۴]:

$$\ddot{a}(t) > 0 \quad \leftrightarrow \quad \text{تورم} \tag{۱-۴}$$

با استفاده از شرط (۱-۴)، می‌توان به نتیجه‌ی مهم زیر رسید:

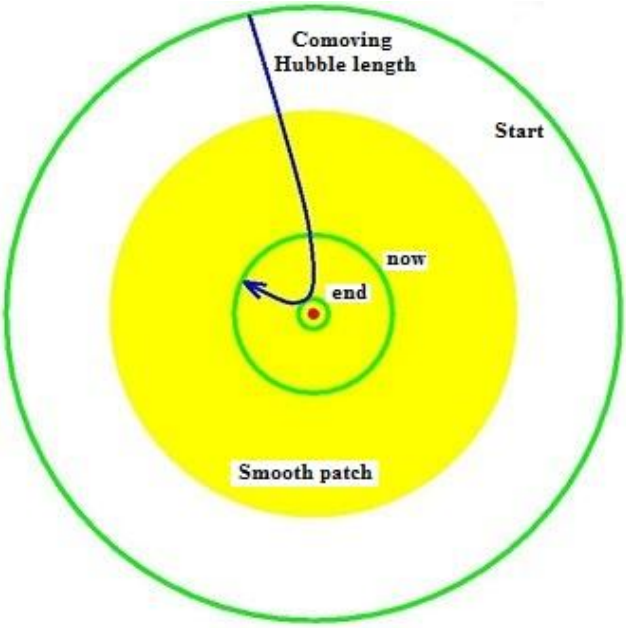
$$\frac{d}{dt}\left(\frac{H^{-1}}{a}\right) < 0 \tag{۱-۵}$$

شرط (۱-۵) بیانگر این است که طول هابل همراه برخلاف دوره‌های دیگر کاهش می‌یابد [۱۵]. همان‌طور که شکل ۱-۲ نشان می‌دهد، طول هابل همراه در طول تورم کاهش می‌یابد و بعد از پایان تورم شروع به افزایش می‌کند.

---

[۱] Grand Unified Theory

[۲] Alan Guth



شکل ۱-۲. کاهش شعاع هابل همراه در طول تورم و افزایش آن بعد از پایان تـورم [۵]. افـزایش شـعاع هابـل همراه در مقایسه با کاهش آن در طول تورم ناچیز است.

بسیاری از نظریه‌های تورم بر اساس یک میدان اسکالر[۱] منفرد برای توصیف انرژی خـلأ اسـت. ایـن میدان اسکالر اینفلیتون[۲] نامیده می‌شود و فرض می‌شود که دارای تغییرات بسیار جزئی است. این نکتـه موجب شده تا پارامتر هابل تقریباً ثابت و در نتیجه انبساط تقریباً نمایی باشد.

تورم به عنوان بخشی از نظریه‌ی کیهان‌شناسی مدرن می‌باشد. در واقع این نظریه بـه مـدل انفجـار بزرگ داغ اضافه می‌شود تا مشکلات آن را برطرف کند.

توجه کنید که میدان اسکالری به وجود آورنده‌ی تورم (اینفلیتون) علاوه بـر اینکـه دارای تحـولات کلاسیکی است، شامل افت‌وخیزهای کوانتومی نیز می‌باشد.

در ایـن قسـمت اشـاره‌ای بـه انـواع تـورم خـواهیم داشـت. اولـین مـدل تـورمی توسـط آلکسـی استاروبینسکی[۳] [۱۶] در سال ۱۹۸۰-۱۹۷۹ مطرح شد. این مـدل دارای معـایبی از قبیـل پیچیـدگی و همچنین ناتوانی در حل مشکلات انفجار بزرگ داغ بود. به همین دلیل، مدل‌های دیگری معرفی شـدند که بر اساس شکل پتانسیلی و ترتیب پیدایش آن‌ها به صورت تورم قدیم[۴]، تورم جدید[۱]، تورم آشوبناک[۲]،

---

[۱] Scalar fields

[۲] Inflaton

[۳] Alexei Starobinsky

[۴] Old inflation

تورم ابدی[۳] و تورم ترکیبی[۴] دسته‌بندی می‌شوند. تورم قدیم توسط آلن گات [۱۰] در سال ۱۹۸۱ ارائه شد. این مدل بر اساس نظریه میدان اسکالر است که در آن میدان اسکالر ϕ از طریق تونل زنی کوانتومی از خلأ کاذب[۵] (کمینه‌ی موضعی از پتانسیل) به خلأ واقعی ($V(\phi) = 0$) می‌رود [۱۹-۱۷]. تورم جدید توسط آندره لیندە[۶] [۱] در سال ۱۹۸۲ معرفی شد که در آن به جای تونل‌زنی کوانتومی یک فرایند غلتش آهسته[۷] وجود دارد که این فرایند در فصل بعد توضیح داده خواهد شد. تورم آشوبناک در سال ۱۹۸۳ به‌وسیله‌ی لینده ارائه شد [۲۰]. این مدل تورمی در فصل سوم به صورت مفصل‌تری توضیح داده خواهد شد. لینده [۲۰] در سال ۱۹۸۶ با توسعه‌ی مدل تورم آشوبناک، تورم ابدی را ارائه داد. در این مدل، در هر زمانی مناطقی از جهان وارد فاز تورمی می‌شوند و تورم دارای توالی زمانی ابدی است. همه‌ی مدل‌هایی تورمی که تاکنون معرفی شده‌اند شامل یک میدان اسکالر می‌باشند. تنها مدلی که شامل بیش از یک میدان اسکالر است، تورم ترکیبی می‌باشد که در سال ۱۹۹۰ پیشنهاد شد و در آن میدان‌ها می‌توانند با هم برهم‌کنش داشته باشند و منجر به تولید تورم شوند [۱۳].

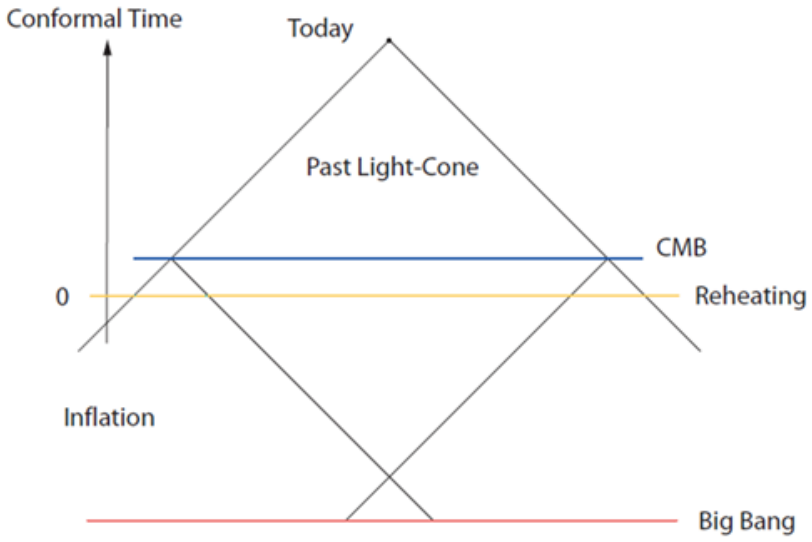
۱-۳ حل مشکلات کیهان‌شناسی نظریه‌ی انفجار بزرگ داغ

۱-۳-۱ حل کردن مسئله‌ی افق

تورم قسمت کوچکی از جهان را که پیش از آن به تعادل گرمایی رسیده است، می‌تواند به شدت افزایش دهد و به اندازه‌ای بزرگ‌تر از جهان مشاهده‌پذیر تبدیل کند. در نتیجه نقاطی که در انفجار بزرگ داغ در گذشته در تماس با هم نبوده‌اند، در کیهان تورمی، پیش از تورم در تماس با هم قرار گرفته‌اند و به تعادل گرمایی می‌رسند [۵]. در نتیجه تابش‌های که از جهت‌های مختلف به ما می‌رسند، دارای دماهای یکسانی خواهند بود. البته اختلافات جزئی در تابش‌های دریافتی از جهت‌های مختلف وجود دارد.

---

[۱] New inflation
[۲] Chaotic inflation
[۳] Eternal inflation
[۴] Hybrid inflation
[۵] False vacuum
[۶] Andrei Linde
[۷] Slow roll



شکل ۱-۳ مخروط نوری فضا- زمان در کیهان‌شناسی تورمی [۸].

لازم به ذکر است که به دلیل تورم، نور مسافت بسیار بیشتری از زمان انفجار بزرگ تا زمان واجفتیدگی، نسبت به واجفتیدگی تا زمان حال می‌پیماید [۶].

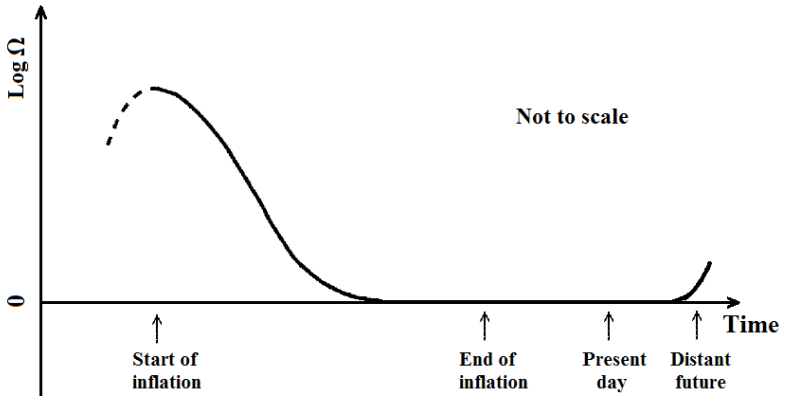
شکل ۱-۳ نشان می‌دهد نقاطی که در کیهان‌شناسی انفجار بزرگ داغ از هم جدا بودند در کیهان‌شناسی تورمی در گذشته با یکدیگر در تماس قرار گرفته‌اند و به تعادل گرمایی رسیده‌اند. در نتیجه تابش‌های که از جهت‌های مختلف به ما می‌رسد، دارای دماهای یکسان هستند.

۱-۳-۲ حل کردن مسئله‌ی تخت بودن

همان‌طور که گفته شد، شعاع هابل همراه در طول تورم کاهش می‌یابد و این امر موجب می‌شود تا کمیت $|\Omega - 1|$ به سمت صفر میل کند. در پایان تورم Ω تا حدی به یک نزدیک می‌شود که تا زمان حال هیچ تحولی برای دور کردن آن کافی نباشد.

همان‌طور که در شکل ۱-۴ نشان داده شده است، تورم باعث می‌شود تا Ω به سمت یک میل کند ($\log \Omega$ به سمت صفر میل می‌کند) و تمام تحولات بعد از تورم تا زمان حال نتواند باعث دور شدن آن از مقدار یک شود و فقط در آینده‌ی دور دوباره از یک دور می‌شود [۱۳].

دقت کنید که دو مشکل افق و تخت بودن ناشی از افزایش شعاع هابل همراه است و با توجه به اینکه شعاع هابل همراه در طول تورم کاهش می‌یابد، این مشکلات حل می‌شوند (نگاه کنید به شکل ۱-۲).



شکل ۱-۴. تغییرات پارامتر چگالی بر حسب زمان [۱۳]. کاهش پارامتر چگالی تا مقدار یک در پایان تورم و باقی ماندن آن در همین مقدار تا زمان حال، فقط در آینده دور از یک فاصله می‌گیرد. تحولات پیش از تورم با خط‌چین نشان داده شده است و نشان دهنده‌ی این است که ممکن است پیش از تورم دوره‌ای وجود داشته یا نداشته باشد.

۱-۳-۳ حل کردن مسئله‌ی تک‌قطبی‌های مغناطیسی

با توجه به انبساط شدید دوره‌ی تورمی، چگالی این ذرات به شدت کاهش می‌یابد [۶]. این انبساط باید به حدی باشد که چگالی این ذرات به مقدار کنونی، یعنی به مرتبه‌ی چند تک‌قطبی در حجم عالم قابل مشاهده برسد [۶].

در ادامه‌ی این پایان‌نامه، در فصل دوم، مفهوم تقریب غلتش آهسته، به عنوان روشی برای ساده کردن معادلات و محاسبات مطرح می‌شود. همچنین مفهوم تورم سرد و گرم بیان می‌شود. سپس به بررسی دو مدل میدان اسکالری کوینتسنس و تاخیون در تورم سرد و گرم خواهیم پرداخت. در فصل سوم، به بررسی مدل میدان اسکالر کوینتسنس با پتانسیل‌های مختلف در تورم سرد و گرم می‌پردازیم. همچنین در فصل چهارم، با در نظر گرفتن مدل میدان اسکالر تاخیون با پتانسیل‌های مختلف، به بررسی آن در تورم سرد و گرم می‌پردازیم. در پایان، در فصل پنجم، خلاصه‌ی مطالب و نتیجه‌گیری بیان می‌شود.