پژوهش های نوین فیزیک (نشریه علوم دانشگاه خوارزمی)

بررسی تورم میانی – لگاریتمی میدانهای کانونیک روی شامه

الهه نوایی نیک، وحید کمالی*؛ دانشگاه بوعلی سینا، دانشکدهٔ فیزیک

پذیرش: ۹۷/۵/۲۱

دریافت: ۹۶/۵/۱۰

چکیدہ

در این مقاله تورم میانی-لگاریتمی^۱ ، با استفاده از میدان های اسکالرکانونیک^۲ بر روی شامه^۳ بررسی شده است. با استفاده از شرایط غلتش آرام معادلات حرکت برای میدان کانونیک به دست آمده و با استفاده از پارامترهای اختلال نتایج به مشاهدات و دادههای پلانک ارتباط داده شده است. نتایج این مدل با مشاهدهها همخوانی دارد.

واژگان كليدى: تورم ميانى، لگاريتمى، شامه، ميدان كانونيك

مقدمه

مهمترین مدل شناخته شده برای سیر تکامل عالم، مدل کیهانشناسی استاندارد مهبانگ[†] است که این مدل با محدودیتهایی مواجه است و توانایی توضیح آنها را ندارد. این محدودیتها نظیر مشکل تختی⁴، مشکل افق⁴ و مشکل تک قطبی^۲ است که برای حل این مشکلات مدلی به نام تورم^۸ ارائه شد [۱] که توانایی حل این محدودیتها را دارد. بیان مشکل تختی در این محدودیتها را دارد. بیان مشکل تختی در برای حل این مشکلات مدلی به نام تورم^۸ ارائه شد [۱] که توانایی حل این محدودیتها را دارد. بیان مشکل تختی⁶، مشکل افق⁴ و مشکل تک قطبی^۲ است که برای حل این مشکلات مدلی به نام تورم^۸ ارائه شد [۱] که توانایی حل این محدودیتها را دارد. بیان مشکل تختی بدین شکل است: مادامی که عالم دارای چگالی بحرانی باشد، هندسهٔ عالم تخت خواهد بود از طرفی مشاهدات و دادههای رصدی نشان میدهند که اختلاف Ω (نسبت چگالی عالم به چگالی بحرانی) با یک بسار کوچک و از مرتبهٔ یک صدم است. نتیجه این که با تقریب خوبی عالم تخت است و برای این که این مرتبهٔ انحراف از یک در زمان از مرتبهٔ یک صدم است. نتیجه این که با تقریب خوبی عالم تخت است و برای این که این مرتبهٔ انحراف از یک در زمان حال به دست آید بایستی Ω در دوران ابتدای عالم با مرتبهٔ بسیار کوچک روی بال به دست آید بایستی Ω در دوران ابتدای عالم با مرتبهٔ بسیار کوچکتری به یک نزدیک باشد. پس برای این که عالم به شکل امروزی خود درآید به تنظیم با دقت

*نویسندهٔ مسئول: vkamali@basu.ac.ir

- 1-Logamediate Inflation
- 2-Canonical Scalar
- 3-Brane
- 4-Big Bang
- 5- Flatness Problem
- 6- Horizon Problem
- 7- Monopole Problem
- 8- Inflation

صورت نگیرد امکان به وجود آمدن ۲ حالت در سیر تکامل عالم وجود دارد: ۱- یا جهان مدتها پیش در هم فرو ریخته و پایان یافته بود و یا ۲- قبل از تشکیل ساختارها منبسط می شود و جهان، عاری از ماده و ساختارهای بزرگ مقیاس بود. به این مشکل مسألهٔ تختی گفته می شود. در هنگام تورم در کسری از ثانیه جهان دارای انبساط بسیار تند شونده است؛ پس در نتیجه:

$$\ddot{a} > 0 \rightarrow \frac{d}{dt} \dot{a} > 0 \rightarrow \frac{d}{dt} (aH) > 0 \rightarrow \frac{d}{dt} (aH)^2 \gg 0$$

و در نهایت مخرج کسر $\frac{k}{a^2H^2} = (1 - \Omega)$ در دورهٔ تورم با زمان افزایش پیدا کرده و انحراف Ω از یک با سرعت بسیار زیادی کاهش می ابد. در نتیجه اثر آن تا به امروز باقی خواهد ماند و در این دوران با تقریب خوبی عالم به صورت تخت مشاهده می شود. مسألهٔ بعدی که نظریهٔ مهبانگ قادر به توضیح آن نیست مشکل افق است. بدین معنی که ارتباط عجیبی بین نقاط مختلف عالم برقرار است از طرفی با توجه به محدود بودن سرعت نور و عمر عالم، زمان لازم برای رسیدن اطلاعات بین نقاط مختلف، حتی با بیش ترین سرعت، از عمر عالم طولانی تر است. نتیجه این که نقاط مختلف عالم بر اساس نظریهٔ مهبانگ امکان تأثیرگذاری و تأثیرپذیری از یکدیگر را ندارند. حال آن که از دیدگاه نظریهٔ تورمی دونقطهای که به نظر با هم هیچ رابطهای ندارند زمانی در ناحیه مرتبط با هم بودهاند. در لحظاتی پس از مهبانگ یک میدان اسکالر بسیار پر انرژی همگن و همسانگرد سراسر کیهان را در بر می گیرد و باعث انبساطنمایی عالم می شود میدان اسکالر بسیار پر انرژی همگن و همسانگرد سراسر کیهان را در بر می گیرد و باعث انبساطنمایی عالم می شود میدان اسکالر بسیار پر انرژی همگن و همسانگرد سراسر کیهان را در بر می گیرد و باعث انبساطنمای مالم می شود می توانند تا ابعادی فراتر از افق هابل گسترش یابند بدین صورت نواحی و نقاطی که در عالم فعلی در فاصلهٔ بسیار زیاد

این امکان به صورت نظری وجود دارد که ما در یک شامه قرار گرفته باشیم. این نوع نگرش پیامدهای قابل توجهی در علم کیهانشناسی ایجاد می کند. در این سناریو، که در ابتدا محصول نظریهٔ ریسمان است، گرانش یا مدهای ریسمان بسته قابلیت انتقال در همهٔ حجم فضا را دارند. در صورتی که مدل استاندارد ذرات یا همان میدانهای مادی که به مدهای ریسمان باز مربوط میشوند، محدود به شامه یا ابرسطحی با یک بعد پایین تر هستند. در تصویر جهان شامهای کنش مربوطه شامل جملههای جدیدی است که در نتیجهٔ آن هم معادله اینشتین تصحیح میشود و هم معادلات اختلالی ناشی از آن، جملات جدیدی را در برمی گیرند. یک روش آزمایش این نظریه مطابقت دادن نتایج حاصل از تغییرات نظری که در معادلات ایجاد میشود و از در برمی گیرند. یک روش آزمایش این نظریه مطابقت دادن نتایج حاصل از تغییرات نظری که در معادلات ایجاد میشود با شواهد رصدی بدست آمده از ماهواره های تحقیقاتی است. یک حالت خاص از این نظریه که در علم کیهان شناسی بررسی میشود و جود ابعاد بالاتر از ۴ بعد است و در این مدل ها فرض میشود که ما در یک کیهان در علم کیهان شناسی بررسی میشود وجود ابعاد بالاتر از ۴ بعد است و در این مدل ها فرض میشود که ما در یک کیهان که بعدی قرار گرفته ایم و البته کیهان قابل مشاهده ما روی یک ابر سطح ۴ بعدی یا همان شامه قرار گرفته است [2]. معدی قرول کردن این فرض باعث ایجاد تصحیحاتی در معادله فریدمان میشود که لازم به ذکر است تصحیح وارد شده در کار ما بصورت $\left(\frac{\rho q}{2\tau}+1\right)$ در سمت راست معادلهٔ اول فریدمان است. اثرات تختی و همگنی قبل و بعد از تورم پا برجا بوده است براین مطالعهٔ ما در جهانی با متریک فریدمان – رابرسون – واکر (FRW) صورت خواهد گرفته ایشت متصحیح می شود که ما در جهانی با متریک فریدمان - رابرسون – واکر (FRW) صورت خواهد گرفت:

$$ds^{2} = g_{\mu\theta} dx^{\mu} dx^{\theta} = -dt^{2} + a^{2}(t)\delta_{ij} dx^{i} dx^{j}$$

که در متریک بالا a فاکتور مقیاس است که برای هر مدلی از تورم به صورت متفاوتی تعریف میشود. به عنوان مثال: تورم قانون- توانی بصورت a(t) = t^q و تورم معمولی a(t) = exp(Ht) و در تورم میانی - لگاریتمی برای t > 1 به صورت زیر تعریف میشود: [۴-۲]

$$a(t) = \exp(A(\ln t)^{\lambda}), \lambda > 1$$

در دورهٔ تورم انبساط شتابدار به منظور رفع نواقص مدل مهبانگ، به وسیلهٔ میدان اینفلاتون (کوانتای میدان تورم) با فشار منفی به وجود میآید. معادلهٔ حالت اینفلاتون بصورت $\rho = P = P$ است که منجر به یک فضا-زمان دوسیته با فاکتور مقیاس (Ht) exp(Ht) میشود. در این رابطه H مربوط به فضای دوسیته همان ثابت هابل است. نگرش دیگری به این فضا وجود دارد، جایی که فضا را به صورت شبه دوسیته در نظر میگیرند و پارامتر هابل را به صورت تابعی از زمان در نظر میگیرند. از آن جمله میتوان به تورم میانی-لگاریتمی با فاکتور مقیاس به شکل بالا اشاره کرد. این مدل در حد h = k به مدل قانون-توانی تبدیل میشود. این نگرش در برخی مدلهای اسکالر-تانسوری قابل کاربرد است [۵]. از طرفی این سناریو با اعمال شرایط کلی تضعیفی بر روی مدلهای کیهان شناسی با شتاب بینهایت قابل بررسی است[۵]. پتانسیل مؤثر مدل میانی-لگاریتمی در مدلهای کیهان شناسی با شتاب بینهایت قابل بررسی است میشود [۶] در مرجع [۵]، تعداد ۸ جواب برای فاکتور مقیاس مجانبی مربوط به دینامیک کیهانی استاده میشود [۶] در مرجع [۵]، تعداد ۸ جواب برای فاکتور مقیاس مجانبی مربوط به دینامیک کیهانی استاده میاد است ۳ مورد از این جوابها مربوط به تحول غیرتورمی هستند. سه تای دیگر مربوط به دینامیک کیهانی به دست آمده است. ۳ مورد از این جوابها مربوط به تحول غیرتورمی هستند. سه تای دیگر مربوط به تورم دوسیته، قانون توانی و میانی

در ادامهٔ مقاله با استفاده از معادلات فریدمان، معادلات پیوستگی اعمال شروط غلتش آرام و تحول میانی-لگاریتمی فاکتور مقیاس معادله حرکت را برای مدل کانونیک بررسی خواهیم کرد. و در بخش دیگر مقاله با استفاده از معادلهٔ حرکت به دست آمده، پارامترهای غلتش آرام برحسب میدان کانونیک بیان شده است.

مدل کانونیک: مدل تورم کانونیک در فضای FRW به کمک یک سیال توصیف می شود که تانسور انرژی- تکانهٔ آن به صورت $p_{\varphi}, p_{\varphi}, p_{\varphi}, p_{\varphi}, p_{\varphi}, p_{\varphi}$ است که p_{φ} فشار بر حسب میدان φ است و $\rho_{\varphi}, p_{\varphi}, p_{\varphi}, p_{\varphi}, p_{\varphi}$ بارامتر چگالی انرژی بر حسب میدان φ است. φ نیز میدان کانونیک مورد نظر است. فشار و چگالی انرژی به صورت زیر نوشته می شوند: [۴-۲] جلد ۲، شماره ۱، بهار و تابستان ۱۳۹۶

پژوهشهای نوین فیزیک (نشریه علوم دانشگاه خوارزمی)

$$\rho_{\varphi} = T_{00} = \frac{1}{2}\dot{\varphi}^2 + V(\varphi)$$
(1)

$$p_{\varphi} = \frac{1}{3} T_i^i = \frac{1}{2} \dot{\varphi}^2 - V(\varphi)$$
 (1)

FRW پتانسیل برحسب میدان ϕ است. معادلهٔ فریدمان برای میدان کانونیک بر روی شامه در یک فضای تخت $V(\phi)$ به صورت زیر تعریف می شود:

$$H^{2} = \frac{8\pi}{3M_{pl}^{2}}\rho_{\varphi}\left(1 + \frac{\rho_{\varphi}}{2\tau}\right), \rho_{\varphi} \gg \tau$$
(7)

و معادلهٔ حرکت:

$$\ddot{\varphi} + 3H\dot{\varphi} + V(\dot{\varphi}) = 0 \tag{(f)}$$

با استفاده از رابطهٔ (۴) و اعمال محدودیتهای زیر، که جزء شرایط غلتش آرام در تورم است میتوان رابطهٔ $\dot{\phi}$ و پتانسیل کانونیک V(t) را به دست آورد:



$$V(t) = \sqrt{\tau 6} H M_{pl}^2 \tag{9}$$

در نتيجه خواهيم داشت:

$$t = \left(\frac{8\lambda}{3}M_{pl}^2\varphi\right)^{\frac{-1}{2}}$$
(Y)
N(\varphi) = $\int_{t_1}^{t_2} Hdt$ (1\Delta)

پارامترهای غلتش آرام برای مدل کانونیک روی شامه به صورت زیر به دست میآیند:

$$\eta = \frac{1}{2H} \left[-\frac{\ddot{V}}{\dot{V}} + \frac{\dot{H}}{H} + \frac{\dot{V}}{V} \right] = \frac{1}{2H} \left[\frac{\lambda - 1}{t \ln t} \right] \qquad (\lambda)$$

$$\varepsilon = -\frac{\dot{H}}{H^2} = \frac{(\ln t)^{\lambda - 1}}{A\lambda} \qquad (9)$$

با استفاده از تقریب: 1 $\gg rac{\lambda-1}{\ln t}$ [۸] و با توجه به روابط و نتایج به دست آمده می توان پارامترهای اختلال را برای میدان کانونیک به دست آورد. اندیس طیف توانی برای این مدل به صورت زیر خواهد بود: [۷]

$$n_s - 1 = -6\varepsilon + 2\eta \tag{(1)}$$

نسبت طيف تانسوری اختلالات به طيف اسکالر به صورت زير است:

تابش خودبخودی در لیزر الکترون آزاد با.....

 $r = \frac{\lambda}{v} \epsilon$ (۱۱) پایداری دامنهٔ اختلالات به صورت زیر قابل محاسبه است: [۷]

$$n_{\rm run} = \frac{2}{H} \left(-3\dot{\varepsilon} + \dot{\eta} \right) = \frac{6(1-\lambda)}{A^2 \lambda^2 (\ln t)^{2\lambda - 1}} \tag{17}$$

بحث عددی

در ادامهٔ مدل مورد نظر و نتایج حاصل از محاسبات با دادههای رصدی ماهواره پلانک مقید شدهاند [۹] با استفاده از نتایج بالا و با استفاده از روشهای آماری میتوان مقادیری برای ثابتهای مدل (λ, A) به دست آورد که بیشترین هم خوانی را با مشاهدات داشته باشد. درشکل (1) مقادیر دلخواهی برای λ و A در نظر گرفته شده است.



شکل (۱)، قسمتهای آبی و صورتی رنگ در شکل بالا از نتایج حاصل از آنالیز مشاهدانی مقاله پلانگ قرض گرفته شده. ناحیهٔ کوچک تر 1σ و ناحیهٔ بزرگ تر 2σ است. منحنیهای رسم شده مربوط به مدل بررسی شده در این مقاله هستند. مقادیری برای ثابتهای مدل میانی-لگاریتمی (λ, A) در نظر گرفته شده است که در محدودهٔ تطابق با مقاله هستند. مقادیری برای ثابتهای مدل میانی-لگاریتمی (λ, A) در نظر گرفته شده است که در محدودهٔ تطابق با مقاله هستند. این مقادیر به ترتیب برای خطوط قرمز ،زرد، آبی و سربز عبارتند از (20.4×10^{-12}) . $(40, 10^{-15})$.

شکل (۱) تطابق مدل ما با نتایج ماهواره ی پلانگ به ازای مقادیر خاص (λ, A) قابل مشاهده است. در شکل (۲) خط قرمز خارج شده از محدودهٔ مشاهداتی پلانک برای ترکیب (λ, A) به صورت $(^{-34})$ میباشد و برای مقادیر λ های بزرگتر از ۲۰ مدل ما خارج محدودهٔ مشاهداتی قرار می گیرد. می توان با کاهش پارامتر A منحنی خارج شده را وارد محدودهٔ مشاهداتی پلانک کرد.

پژوهشهای نوین فیزیک (نشریه علوم دانشگاه خوارزمی)



در شکل (۲) ،قسمتهای آبی و صورتی رنگ در شکل بالا از نتایج حاصل از آنالیز مشاهدانی مقاله پلانگ قرض گرفته شده. ناحیهٔ کوچک تر 1σ و ناحیهٔ بزرگ تر 2σ است. منحنیهای رسم شده مربوط به مدل بررسی شده در این مقاله هستند. مقادیری برای ثابتهای مدل میانی–لگاریتمی (λ, A) در نظر گرفته شده است که در محدودهٔ تطابق با نتایج پلانگ هستند. این مقادیر برای ثابتهای مدل (λ, A) در نظر گرفته شده است به ترتیب برای خطوط سبز، آبی و قرمز پلانگ هستند. این مقادیر این مقادیری با از آنایز مشاهدانی مقادیری با تایج معادیری با این مقاله از تا معانی–لگاریتمی (λ, A) در نظر گرفته شده است که در محدودهٔ تطابق با نتایج پلانگ هستند. این مقادیر برای ثابتهای مدل (λ, A) و (λ, A) و قرمز عبان می است به ترتیب برای خطوط سبز، آبی و قرمز عبار تند از $(10^{-34} - 10^{-12})$.

در شکل (۳) n_{run} (نرخ تغییرات n_s به لگاریتم عدد موج) برحسب n_s رسم شده است، خطوط منحنی به ازای مقادیری برای ثابتهای مدل (λ, A) به سمت منفیها تمایل پیدا کرده است.



در شکل (۳) ،مقادیری برای ثابتهای مدل (λ, A) در نظر گرفته شده است، به ترتیب برای خطوط زرد، آبی، قرمز و سبز عبارتند از ((-90×6.02) ، $(30,4 \times 10^{-3})$) و (-90×10^{-9}) و ((-90×10^{-9})) که با مشاهدات پلانک همخوانی مناسبی دارد منحنیها مقید شدهاند در محدودهٔ ۶۸٪ و ۹۵٪ دادههای مشاهدهای توسط ماهواره پلانک قرار دارند [۹].

نتيجهگيري

در این مقاله به بررسی تورم میانی-لگاریتمی میدانهای کانونیک روی شامه پرداخته شده است. با استفاده از معادلهٔ فریدمان و پیوستگی، معادلهٔ تحول میدان و شکل پتانسیل برای مدل مورد نظر بیان شده است. در ادامه پارامترهای غلتش آرام محاسبه شده و در آخر با انجام محاسبات و تطبیق عددی نتایج به دست آمده، نسبت به اطلاعات ماهوارهٔ پلانک، پارامتر نسبت طیف تانسوری به اسکالر 10.1 > r و اندیس طیف توان $0.98 \ge n_s \ge 0.98 ≥ 0.98$ مقید شدهاند. در مدل های مختلف تورمی به دست آمده، نسبت به اطلاعات ماهوارهٔ یرامتر نسبت طیف تانسوری به اسکالر 10.1 > r و اندیس طیف توان $0.98 \ge n_s \ge 0.98 ≥ 0.98$ مقید شدهاند. می کند. در مدل های مختلف تورمی به دست آمدن شتاب مثبت در دورهای کوتاه در ابتدای عالم مشکلات مدل مهبانگ را برطرف می کند. در مدل میدانهای کانونیک شتاب مثبت در تقریب کند – تغییر حاصل میشود در نتیجه مشکلات مهبانگ را برطرف علی الاصول قابل حل است. از طرفی بررسیهای انجام شده بر روی اختلالات تابش زمینه در مشاهدات پلانگ (که به می کند. در مدل میدانهای کانونیک شتاب مثبت در تقریب کند – تغییر حاصل میشود در نتیجه مشکلات مهبانگ می کند. می مدل های برگ می ای حاصل میشود در نتیجه مشکلات مهبانگ می است تشکیل ساختارهای بزرگ مقیاس مربوط است. از طرفی بررسیهای انجام شده بر روی اختلالات تابش زمینه در مشاهدات پلانگ (که به می کند. در مدل های برارگ مقیاس مربوط است) به اختلالات خطی مدل تورمی مربوط است. یکی از راههای بررسی ارزش مدل های تورمی مقایسهٔ نتایج اختلالی آن با نتایج حاصل از رصد است. همان طور که در بحث عددی بیان شد به ازای مدل های تورمی مقایسهٔ نتایج اختلالی آن با نتایج محل کانونیک میانی-لگاریتمی با نتایج رصدی در نشان می در برخی مقادیر مقید شدهٔ پارامترهای مدل نتایج معلی است. همان طور که در بحث عددی بیان شد به ازای نکته ارجو می می می منتایج پلانگ رد شده ای می می در می مربوط است. یک از راههای برسی ایزش مدل های تورمی میلالی آن مدل نسب به مدل های می نیایج پلانی می در مدان می در می می در بیان می در می می نقای می در ای مدل مدل ای برای پارامترهای اختلالی برآورده می کنند و هم چنین با توجه به رصدی (تاده ک r = 100 می بادی ای با مدل های را را را ی پارامترهای اختلالی برآورده می کنند و هم چنین با توجه به شکل (۳) به ازای همان (۸, ۸) های بیاداری دار مدان ای ای ای

منابع

L. Randall and R. Sundrum, Phys. Rev. Lett. 83, 4690, (1999), arXiv: [hepth/9906064]
 A. Guth, Phys. Rev. D 23, 347, (1981); A. Albrecht and P. J. Steinhardt, Phys. Rev. Lett. 48, 1220, (1982); A complete description of inflationary scenarios can be found in the book by A.Linde, "Particle physics and inflationary cosmology," (Gordon and Breach, NewYork,(1990).
 Islam, J.N^(*) An Introduction To Mathematical Cosmology,"2nd edn, Cambridge University. (2004).

4. A. Ravanpak1and F. Salmeh1,"Logamediate Inflation by Tachyon Field".arXiv:1503.06231v1 [gr-qc] 20 Mar 2015.

5. J. D. Barrow, Class. Quantum Grav. 13, 2965 (1996). J. D. Barrow, Phys. Rev. D 51, 2729 (1995).

 P. J. E. Peebles and B. Ratra, Rev. Mod. Phys. 75, 559 (2003). P. G. Ferreira and M. Joyce, Phys. Rev. D 58, 023503 (1998).

- 7. Argha Banerjee"Inflation in Brane World Gravity"arXiv:[1512.08166v1](27 Dec 2015)
- 8. M. R. Setare and V. Kamali, Phys. Rev D 87, 083524 (2013) .
- 9. P. A. R. Ade et al. (Planck), (2015), arXiv:[1502.02114].