پژوهشگاه دانش‌های بنیادی

شماره مقاله : ۶۵

مقاله‌نامه بیست و سومین کنفرانس بهاره فیزیک (۳۰-۲۹ اردیبهشت ۱۳۹۵)

بررسی تورم میانیِ مدل میدان‌های تاکیونیِ حرارتی روی شامه

کمالی، وحید[۱] ؛ مهرابی ، احمد[۱]

[۱]دانشکده فیزیک دانشگاه بوعلی سینا، خیابان مهدیه، همدان

چکیده

در این مطالعه مدل تورمِ حرارتی بر روی شامه به کمک میدان‌های تاکیونی، در حالت تورم میانی مورد بررسی قرار گرفته است. ما این مدل را در حالت خاص ضریب اتلاف بزرگ بررسی کرده‌ایم. مشخصات این مدل مانند تمامی مدلهای تورمی در تقریب کند-تغییر محاسبه شده است. همچنین پارامترهای مهم مشاهداتی که به کمک نظریه اختلال محاسبه می شوند به‌وسیله‌ی اطلاعات مشاهداتی مقید شده اند. نکته‌ی مهم در مدل ما این است که شکل خاصی از فاکتور مقیاس مورد بررسی قرار گرفته است که پارامتهای آن به کمک نتایج مشاهداتی مقید شده اند.

مدل تورم مشکلات اساسی موجود در نظریه‌ی انفجار بزرگ را حل کرده‌است. برای نمونه مشکل افق، تخت بودن جهان و تک قطبی به کمک مدل‌های تورمی برطرف شده‌اند[1]. علاوه بر این‌ها، با داشتن یک مرحله‌ی تورمی در سیر تحولات عالم، ناهمسانگردی موجود در تابش زمینه و همچنین بذر اولیه برای تشکیل ساختارهای بزرگ-مقیاس عالم، (به کمک نظریه اختلال) قابل توضیح می‌باشند.[2] در مدل تورم حرارتی تولید تابش در مرحله‌ی تورم اتفاق می‌افتد و در واقع مرحله‌ی بازگرمایش وجود ندارد.[3] وجود نوسانات حرارتی می‌تواند نقش نوسانات اولیه‌ای را ایفا کند که نهایتاً ساختارهای بزرگ-مقیاس عالم را تولید می‌کند. یکی از نظریه‌های معتبر در کیهان شناسی وجود ابعاد بالاتر از چهار بعد می باشد و در این مدلها فرض بر این است که ما در یک جهان ۵ بعدی قرار داریم و البته کیهان قابل مشاهده ما روی یک ابر سطح ٤ بعدی یا شامه قرار دارد. قبول این فرضیه باعث تغییراتی در معادله اینشتاین روی ٤ بعد می شود که خود منجر به تصحیحاتی در معادله‌ی فریدمان و معتدلات اختلالی می شود، البته می‌توان این فرضیه را به کمک مشاهدات چک کرد. در این مقاله مدل تورم حرارتی روی شامه به کمک میدان‌های اسکالر تاکیونی بررسی شده است. ما مدل تورم تاکیونی را در حالت خاص تورمِ میانی بررسی می‌کنیم. منظور از تورمِ میانی این است که فاکتور مقیاس($a(t) = a_0 \exp(At^f);0 < f < 1$) به صورت متفاوت بیان شود. درادامه معادله‌ی فریدمان را به‌همراه معادله‌ی حرکت حاصل از معادله پیوستگی برای میدان‌های تاکیونی حل می‌کنیم و به‌کمک آن پارامتر های مهم نظریه را بر حسب میدان تاکیونی به‌دست می‌آوریم. این معادلات در حد ضریب اتلاف بالا حل شده‌اند. در نهایت پارامترهای کند-تغییر و اندیس‌های مربوط به اختلال محاسبه شده‌اند. نتیجه‌ی جالب وجود حدهای برای پارامتر اتلاف است که با مشاهدات ماهواره پلانگ همخوانی دارد. مدل تورم تاکیونی در یک فضای FRW به کمک یک سیال توصیف می‌شود که تانسور تکانه-انرژی ($T^{\nu}_{\mu} = diag(-\rho_{\varphi}, P_{\varphi}, P_{\varphi}, P_{\varphi})$) آن به‌صورت زیر تعریف می‌شود.[4]

$$\rho_{\varphi} = \frac{V(\varphi)}{\sqrt{1-\dot{\varphi}^2}}, \quad P_{\phi} = -V(\varphi)\sqrt{1-\dot{\varphi}^2} \qquad (1)$$

φ میدان تاکیونی است و $V(\varphi)$ پتانسیل وابسته به میدان می‌باشد. معادله‌ی فریدمان و بقا در فضای FRW برای سناریوی تورم تاکیونیِ به صورت زیل بیان می‌شود[4]:

$$H^2=\frac{8\pi}{3m_p^2}(\rho_\varphi+\rho_\gamma)(1+\frac{\rho_\varphi+\rho_\gamma}{2\lambda})$$

$$\dot\rho_\gamma+3H(\rho_\gamma+P_\gamma)=\Gamma\dot\varphi^2 \qquad (2)$$

$$\dot\rho_\varphi+3H(\rho_\phi+P_\varphi)=-\Gamma\dot\varphi^2$$

$$\Rightarrow \frac{\ddot\varphi}{1-\dot\varphi^2}+3H\dot\varphi+\frac{V'}{V}=-\frac{\Gamma\dot\varphi}{V}\sqrt{1-\dot\varphi^2} \quad (3)$$

در این روابط (Γ) ضریب اتلاف، (m_p) جرم پلانگ و (ρ_γ) چگالی انرژی تابش می‌با شد. در طول دوره‌ی تورم چگالی انرژی هم‌مرتبه با پتان سیل ا ست. ρ_φ ن سبت به ρ_γ غالب ا ست. و در ناحیه‌ی کند- تغییر داریم ($\dot\varphi<<1,\ddot\varphi<<(3H+\Gamma/V)\dot\varphi$) در نتیجه روابط بالا به صورت زیر ساده می‌شوند.

$$H^2=\frac{8\pi}{3m_p^2}V(1+\frac{V}{2\lambda})$$

$$\dot\phi^2=\frac{3m_p^2}{4\pi}\frac{(-H\dot H)}{\Gamma}[1+\frac{3m_p^2H^2}{4\pi\lambda}]^{\frac{-1}{2}},\quad R=\frac{\Gamma}{3H\rho_\phi}$$

$$\rho_\gamma=\frac{\Gamma\dot\varphi^2}{4H} \qquad (4)$$

در این مقاله حالت خاص ضریب اتلاف بزرگ مورد برر سی قرار می‌گیرد، یعنی در حالتی که Γ خیلی بزرگتر از $3H\rho_\phi$ با شد. در ادامه بخش تورم میانی را برای مدل تاکیونیِ حرارتی بررسی می‌کنیم. در حالت تورم میانی فاکتور مقیاس به‌صورت زیر تغییر می‌کند:

$$a(t)=a_0\exp(At^f);0<f<1 \qquad (10)$$

A یک ثابت مثبت ا ست با واحد m_p^f . در ادامه با ا ستفاده از فاکتور مقیاس بالا مدل تاکیونی را برر سی می‌کنیم. با ا ستفاده از روابط (4),(10) در حالت Γ ثابت میدان تاکیونی را محاسبه می‌کنیم

$$\varphi=\frac{t^{\frac{2f-1}{2}}}{K}\ {}_2F_1[\frac{1}{4},\frac{1-2f}{4(1-f)},\frac{5-6f}{4(1-f)},u] \quad (11),\ u=-\frac{3m_p^2f^2A^2t^{2f-2}}{4\pi} \qquad (12)$$

با توجه به نتایج بد ست آمده می‌توان پارامترهای اختلالی را بر حسب میدان تاکیونی محا سبه کرد. طیف توانی مربوط به اختلالات ا سکالر برای این مد به صورت زیر محاسبه می‌شود،

$$P_R=\frac{H^{\frac{5}{2}}\Gamma^{\frac{1}{2}}T}{2\pi^2V^{\frac{1}{2}}\dot\phi^2}=(I(N))^{\frac{3f}{4}}(1+\frac{2H^2}{k\lambda}) \quad (13)$$

$$H(\phi)=\frac{fA}{(F^{-1}[K\phi])^{1-f}}$$

$$V(\phi)=\lambda(-1+(1+\frac{2H^2}{k\lambda})) \qquad (14)$$

اندیس طیف توانی برای این مدل بصورت زیر بدست می آید:

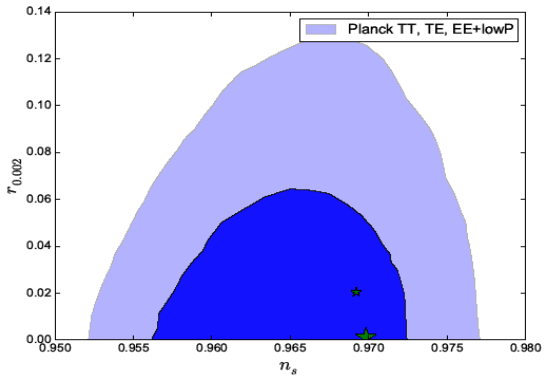
$$n_s = 1 - \frac{3}{4A}(\mathrm{I(N)})^{-f} + \mathrm{n}_1 + \mathrm{n}_2 \qquad (15)$$

$$I(\mathrm{N}) = \left(\frac{1+\mathrm{f(N-1)}}{\mathrm{fA}}\right)^{\frac{1}{\mathrm{f}}} \qquad (16)$$

نسبت طیف تانسوری به طیف اسکالر یکی دیگر از پارامترهای مهم در بررسی اختلالات میباشد که به شکل زیر به دست آمده است

$$r = \frac{32\pi}{\mathrm{m_p^2}} \frac{\mathrm{V}^{\frac{1}{2}}\dot{\phi}^2}{H^{\frac{1}{2}}\Gamma^{\frac{1}{2}}T} = \mathrm{R_0}(\mathrm{I(N)})^{\frac{5f-8}{4}}\left(1+\frac{2\mathrm{H}^2}{\mathrm{k}\lambda}\right) (17)$$

در بررسی‌های قبلی مدل را در حالت حدی انرژی بالا جایی که پتانسیل خیلی بزرگتر از ثابت λ باشد در نظر گرفته میشد. نکته‌ی با اهمیت در این محاسبات بررسی مدل در حالت کلی است که منجر به جواب (۱۱) برای میدان اسکالر شده و تمامی پارامترهای اختلال را تغییر می‌دهد. در ادامه مدل خود و نتایج حاصل از محاسبات را به کمک مشاهدات ماهواره پلانگ مقید مینماییم. بدین منظور می توان به کمک نتایج بالا و با استفاده از روش‌های آماری مقادیری برای ثابت‌های مدل (Γ, f, A) بدست آورد که بیشترین سازگاری را با مشاهدات داشته باشد. شکل زیر دو نقطه که مربوط به $N = 60,$ و $N = 50$ را در نمودار مربوط به ماهواره پلانگ قرار داده است که در بیشترین هماهنگی با مشاهدات قرار دارد.



نتیجه‌گیری:

ما در این تحقیق به بررسی مدل تورم حرارتی تاکیونی روی شامه در حالت تورمِ میانی پرداخته‌ایم. جواب‌های دقیق معادله‌ی فریدمان برای فضای FRW در حالت تورم میانی در حد ضریب اتلاف بالا محاسبه شده‌است. در ادامه پتانسیل و پارامتر هابل را بر حسب میدان تاکیونی به‌دست آورده‌ایم. در ناحیه کند-تغییر پارامترهای کند-تغییر و اندیس‌های اختلال نیز محاسبه شده‌اند. نتایج به‌دست آمده وجود مقادیری از ظریب اتلاف را که حداکثر هماهنگی با نتایج حاصل از مشاهده را دارد تایید می کند.

مراجع:

[1] A. Guth, "The inationary universe: A possible solution to the horizonand atness problems," Phys. Rev. D 23, 347, (1981.
[2] D. N. Spergel, "First year Wilkinson microwave anisotropy probe (WMAP) observations: Determination of cosmological parameters,"Astrophys. J. Suppl. 148, 175, (2003.)
[3] A. Berera, "Warm ination," Phys. Rev. Lett. 75, 3218, (1995.)
[4] G. W. Gibbons, "Cosmological evolution of the rolling tachyon," 2002 Phys. Lett. B 537, 1.
[5] J. D Barrow, A. R. Liddle, "Perturbation Spectra from Intermediate Ination ," Phys.Rev.D47:5219-5223,(1993).