

تأثیرات تغییر ثابت گرانش در دوران تورم

مهدیار نوربالا
پژوهشگاه دانش‌های بنیادی

اردیبهشت ۱۳۹۱
در حال انجام به همراه حسن فیروزجاهی و علی اکبر ابوالحسنی

تغییر G_N

تورم

تأثیر تغییر G_N در
تورم

خلاصه

۱ تغییر G_N

۲ تورم

۳ تأثیر تغییر G_N در تورم

۴ خلاصه

ثابت گرانش نیوتن

- $F = G_N \frac{m_1 m_2}{r^2}$
- $\nabla^2 \phi = 4\pi G_N \rho$
- $S = \int \frac{M_p^2}{\lambda} \sqrt{-g} R d^4 x + S_m, \quad M_p^2 = \frac{1}{8\pi G_N}$

تغییر G_N

تورم

تأثیر تغییر G_N در
تورم

خلاصه

ثابت گرانش نیوتن

تغییر G_N

تورم

تأثیر تغییر G_N در
تورم

خلاصه

- $F = G_N \frac{m_1 m_2}{r^2}$
- $\nabla^2 \phi = 4\pi G_N \rho$
- $S = \int \frac{M_p^2}{\lambda} \sqrt{-g} R d^4 x + S_m, \quad M_p^2 = \frac{1}{8\pi G_N}$
- با دادن تابعیت زمان به G_N صورتبندی‌های فوق نتایج متفاوتی می‌دهند.
- ما صورتبندی کنشی را انتخاب می‌کنیم: $G_N \rightarrow G_N(x)$.

آزمون‌های متعددی برای اندازه‌گیری تغییر G_N در زمان انجام شده است:

- مطالعه حرکت سیارات: $\frac{\dot{G}_N}{G_N} \lesssim 10^{-11} \text{yr}^{-1}$
- میزان تولید هسته‌های اولیه پس از مه‌بانگ: $\frac{\dot{G}_N}{G_N} \lesssim 10^{-12} \text{yr}^{-1}$
- ...

آزمون‌های متعددی برای اندازه‌گیری تغییر G_N در زمان انجام شده است:

■ مطالعه حرکت سیارات: $\frac{\dot{G}_N}{G_N} \lesssim 10^{-11} \text{yr}^{-1}$.

■ میزان تولید هسته‌های اولیه پس از مه‌بانگ: $\frac{\dot{G}_N}{G_N} \lesssim 10^{-12} \text{yr}^{-1}$.

■ ...

بنابر این مطالعات سرعت تغییر G_N در واحدهای زمینی بسیار کم است. البته

در مقیاس سن عالم: $\frac{\Delta G_N}{G_N} \lesssim 0/1$.

- طبق این نتایج انگیزه‌ای برای در نظر گرفتن مدل‌های $\circ \dot{G}_N \neq 0$ وجود ندارد.
- اما باید توجه کرد که هیچ‌یک از آزمون‌های فوق به زمان‌های پیش از بازگرمایش دسترسی ندارند.
- پس می‌توان به تغییر G_N در زمان تورم فکر کرد.

■ انبساط نمایی جهان اولیه در زمان 10^{-36} ثانیه پس از «مهبانگ» به مدت 10^{-34} ثانیه که منجر به e^{60} برابر شدن اندازه عالم شده است.

- انبساط نمایی جهان اولیه در زمان 10^{-36} ثانیه پس از «مهبانگ» به مدت 10^{-34} ثانیه که منجر به e^{60} برابر شدن اندازه عالم شده است.
- افت و خیزهای میدان‌های کوانتمی در زمان تورم منجر به ناهمگنی عالم در سطح ۱ در 10^5 می‌شود.
- اثر این ناهمگنی در ناهمسانگردی دمای تابش زمینه کیهانی مشاهده می‌شود: $\frac{\delta T}{T} \sim 10^{-5}$.

■ یکی از مشخصات مهم این افت و خیزها عدم بستگی به مقیاس است:

$$\frac{d \log \mathcal{R}}{d \log k} \ll 1$$

- یکی از مشخصات مهم این افت و خیزها عدم بستگی به مقیاس است:

$$\frac{d \log \mathcal{R}}{d \log k} \ll 1$$

- این نتیجه‌ایست از بی‌مقیاس بودن افت و خیزهای میدان کوانتمی در فضای دوسپته.
- آیا تغییر ثابت گرانش در میانه تورم و به تبع آن تغییر دینامیک میدان‌ها می‌تواند این نتیجه را تغییر دهد؟

$$S = \int \frac{1}{16\pi G_N(x)} \sqrt{-g} R d^4x + S_m$$

- فرض می‌کنیم $G_N(t)$ دارای جهشی سریع است، مانند تابع پله‌ای، به طوری که پس از گذاری کوتاه به مقدار امروزی خود رسیده است.

$$S = \int \frac{1}{16\pi G_N(x)} \sqrt{-g} R d^4x + S_m$$

- فرض می‌کنیم $G_N(t)$ دارای جهشی سریع است، مانند تابع پله‌ای، به طوری که پس از گذاری کوتاه به مقدار امروزی خود رسیده است.
- همچنین فرض می‌کنیم G_N دارای هیچ افت و خیز ذاتی نیست و دینامیکی ندارد.

■ در این صورت کافی است معادلات معمولی با G_N ثابت را حل کنیم و از شرایط اتصال

$$\mathcal{R}_+ = \mathcal{R}_-, \quad \dot{\mathcal{R}}_+ = \sqrt{\frac{G_{N-}}{G_{N+}}} \dot{\mathcal{R}}_-.$$

استفاده کنیم.

- در این صورت کافی است معادلات معمولی با G_N ثابت را حل کنیم و از شرایط اتصال

$$\mathcal{R}_+ = \mathcal{R}_-, \quad \dot{\mathcal{R}}_+ = \sqrt{\frac{G_{N-}}{G_{N+}}} \dot{\mathcal{R}}_-.$$

استفاده کنیم.

- نتیجه می‌گیریم وابستگی \mathcal{R} به k با اضافه شدن یک عامل ضربی به نام تابع انتقال تغییر می‌کند: $\mathcal{R}^2 \rightarrow T(k)\mathcal{R}^2$.
- شکل دقیق T قابل محاسبه اما پیچیده است. نکته مهم این است که تغییرات آن از ۱ تا حدود G_{N+}/G_{N-} است.

همان‌طور که اشاره شده مشاهدات حاکی از آن است که افت و خیزها (R) تا حد خوبی مستقل از k هستند. با این حال در یکی دو نقطه انحراف‌هایی نسبتاً بزرگ دیده شده که معلوم نیست قابل اطمینان باشند.

همان‌طور که اشاره شده مشاهدات حاکی از آن است که افت و خیزها (\mathcal{R}) تا حد خوبی مستقل از k هستند. با این حال در یکی دو نقطه انحراف‌هایی نسبتاً بزرگ دیده شده که معلوم نیست قابل اطمینان باشند. در بدترین حالت می‌توانیم T را از مرتبه واحد بگیریم. در این صورت قیدی که بر روی تغییرات ثابت گرانش در زمان گذار به دست می‌آوریم از همین مرتبه خواهد بود:

$$\frac{\Delta G_N}{G_N} \lesssim 0.1 \sim 1.$$

- قیود تجربی روی تغییرات ثابت گرانش مربوط به زمان‌های اولیه (از جمله دوران تورم) نیستند.
- تغییرات ثابت گرانش تحول افت و خیزهای گرانشی را تغییر می‌دهد.
- از مقایسه تحول تغییر یافته با مشاهدات تابش پس‌زمینه کیهانی می‌توان حدی برای تغییر G_N به دست آورد که در بدترین حالت مشابه قیود زمان‌های متأخر است.