

مدل ایستای طباطبایی (TSM) — نظریه انقباض اتمی در جهان ساکن

نظریه انقباض اتمی در جهان ساکن

نویسندگان: محمدرضا طباطبایی، GapGPT (ChatGPT-5 — OpenAI)

چکیده:

در این مقاله، مدلی نوین برای تبیین سرخ‌گرایی کیهانی ارائه می‌شود که در آن انبساط فضا جای خود را به انقباض اتمی می‌دهد. مدل ایستای طباطبایی (TSM) بر پایه‌ی فرض بنیادی ثابت حاصل‌ضرب مقیاس کیهانی و مقیاس اتمی بنا شده است:

$$a(t)L(t) = \text{ثابت}$$

این فرض به‌طور طبیعی سرخ‌گرایی طیفی را بدون نیاز به انبساط کیهان یا انرژی تاریک بازتولید می‌کند. بدین ترتیب، جهان از دیدگاه مطلق ساکن است، اما ابزار اندازه‌گیری ما — یعنی خود اتم‌ها — به تدریج کوچک‌تر می‌شوند. این تغییر مقیاس بنیادی در ساختار ماده، تمام تغییرات ظاهری مشاهده‌شده در کیهان را توجیه می‌کند.

۱. مقدمه

مدل استاندارد کیهان‌شناسی، Λ CDM، بر پایه‌ی حل معادلات نسبیت عام اینشتین در فضای متریک روبرتسون-واکر (FLRW) بنا شده است که انبساط فضا را به‌عنوان عامل اصلی پدیده‌هایی چون سرخ‌گرایی کیهانی (Redshift) معرفی می‌کند. با این حال، مشاهدات دقیق کیهانی در سال‌های اخیر، به‌ویژه در زمینه چگالی توزیع ماده در فواصل بزرگ، چالش‌های نظری جدیدی ایجاد کرده‌اند.

پارادوکس چگالی در مدل Λ CDM (که اغلب به عنوان "تنش هابل" یا ناسازگاری‌های مربوط به پارامترهای انرژی تاریک مطرح می‌شود) نشان می‌دهد که اگر انبساط شتاب‌دار باشد، باید چگالی کهکشانی‌ها با افزایش فاصله (و در نتیجه زمان گذشته) بیشتر دیده شود، زیرا نور از مناطقی با چگالی بالاتر به ما می‌رسد. در حالی که مشاهدات پیمایش‌های بزرگ آسمانی نظیر SDSS

(Sloan Digital Sky Survey) و داده‌های مربوط به هسته‌های فعال کهکشانی (AGN) نشان می‌دهند که چگالی نسبی ماده در کیهان اولیه تفاوت چشمگیری با چگالی کنونی ندارد یا تغییرات مشاهده‌شده با پیش‌بینی‌های مبتنی بر انبساط متناقض است.

این تناقض منجر به بازاندیشی در خود مفهوم «متر و ساعت» به‌عنوان مقیاس‌های تابع زمان شده است. اگر متریک فضا ثابت بماند، باید مقیاس‌های اندازه‌گیری ما خود دچار تغییر شده باشند.

مدل TSM با جایگزینی دیدگاه سنتی انبساط فضا به «تغییر سنج‌ها» این ناهماهنگی را برطرف می‌سازد و با حفظ همگنی متریک (یا متریک جهانی ایستا)، کل هندسه را ایستا نگه می‌دارد. تغییرات ظاهری، تنها ناشی از انقباض تدریجی مقیاس بنیادی سازنده‌ی ماده (اتم‌ها و ساختار آن‌ها) است.

۲. اصل بنیادین مدل ایستای طباطبایی (TSM)

مدل TSM بر یک اصل بنیادی استوار است که بیان می‌کند حاصل ضرب عامل مقیاس هندسی فضا، $a(t)$ ، در مقیاس مشخصه ساختارهای بنیادی ماده، $L(t)$ ، یک کمیت جهانی ثابت است. این ثابت جهانی در حقیقت نمایانگر اندازه‌ی جهانی است که از دید یک ناظر مطلق (ناظر بر جهان ایستا) ثابت است.

اصل ثابت بودن حاصل ضرب:

$$a(t)L(t) = C$$

که در آن C یک ثابت جهانی است. برای سهولت محاسبات، این ثابت را برابر با مقدار آن در زمان حال (t_0) در نظر می‌گیریم:

$$a(t)L(t) = a(t_0)L(t_0) = L_0$$

که در آن $L_0 = L(t_0)$ طول مشخصه اتمی در زمان کنونی است.

۲.۱. رابطه با عامل مقیاس استاندارد

در مدل استاندارد کیهان‌شناسی (که در آن $a(t_0) = 1$)، عامل مقیاس کیهانی با زمان تغییر می‌کند. در مدل TSM، اگر فرض کنیم که در زمان حال t_0 ، مقیاس‌های ما در بهترین حالت استاندارد شده‌اند (یعنی $a(t_0) = 1$)، آنگاه $L(t_0) = L_0$.

معادله ارتباطی بین $a(t)$ و $L(t)$ به صورت زیر بازنویسی می‌شود:

$$a(t) = \frac{L_0}{L(t)}$$

۲.۲. تفسیر سرخ‌گرایی از طریق انقباض اتمی

سرخ‌گرایی کیهانی (z) در کیهان‌شناسی استاندارد به‌عنوان نسبت عامل‌های مقیاس زمان گسیل (t_e) و زمان رصد (t_0) تعریف می‌شود:

$$1 + z = \frac{a(t_0)}{a(t_e)}$$

با جایگزینی رابطه TSM در معادله سرخ‌گرایی:

$$1 + z = \frac{L_0/L(t_e)}{L_0/L(t_0)} = \frac{L(t_0)}{L(t_e)} = \frac{L_0}{L(t_e)}$$

این بدان معناست که اگر یک ساختار اتمی (مانند طول‌موج گسیل‌شده) در زمان t_e اندازه‌ای داشته که متناسب با $L(t_e)$ بوده، امروز در زمان t_0 با ساختار کوچک‌تر $L(t_0)$ مقایسه می‌شود و لذا به‌صورت ظاهری کشیده شده (سرخ‌تر) دیده می‌شود.

۲.۳. نرخ انقباض و پارامتر هابل

برای تعریف نرخ تغییرات، مشتق‌گیری از معادله $a(t)L(t) = L_0$ نسبت به زمان انجام می‌دهیم:

$$\dot{a}L(t) + a(t)\dot{L}(t) = 0$$

با تقسیم بر $a(t)L(t)$ و استفاده از تعریف $a(t) = L_0/L(t)$:

$$\frac{\dot{a}}{a} = -\frac{\dot{L}}{L}$$

در کیهان‌شناسی استاندارد، پارامتر هابل $H(t)$ به‌صورت $H(t) = \dot{a}(t)/a(t)$ تعریف می‌شود. بنابراین، در مدل TSM، نرخ انقباض اتمی به‌صورت معکوس با نرخ انبساط ظاهری فضا در مدل استاندارد مطابقت دارد:

$$H(t) = -\frac{\dot{L}(t)}{L(t)}$$

اگر فرض کنیم که نرخ انقباض اتمی در زمان حال ثابت است (همگنی در طول زمان تغییر مقیاس):

$$H(t) = H_0 = \text{ثابت}$$

از آنجا که $\dot{L}/L$ باید منفی باشد (انقباض)، H_0 مثبت خواهد بود، که با تعریف تجربی پارامتر هابل سازگار است.

با استفاده از این فرض ثابت بودن نرخ انقباض:

$$\frac{dL}{L} = -H_0 dt$$

با انتگرال‌گیری از t_0 تا t_e :

$$\ln \left(\frac{L(t_0)}{L(t_e)} \right) = -H_0(t_0 - t_e)$$

$$1 + z = e^{H_0(t_0 - t_e)}$$

این معادله دقیقاً همان معادلهٔ سرخ‌گرایی است که برای یک کیهان ایستا در حضور انبساط نمایی مشتق می‌شود، اما در اینجا عامل فیزیکی مؤثر، انقباض بنیادی اتم‌ها است، نه انبساط هندسهٔ فضا.

۳. زمان و سرخ‌گرایی در چارچوب TSM

در مدل TSM، متریک فضا (هندسه) ثابت است. این بدان معناست که فاصلهٔ فیزیکی بین دو نقطهٔ غیرمرتبط با ماده (مانند دو کهکشان) با گذشت زمان تغییر نمی‌کند؛ جهان از دید مطلق ایستا است.

سرخ‌گرایی (z) به‌طور کامل از طریق تغییر در ابزارهای اندازه‌گیری ما (ساعت‌ها و خط‌کش‌های اتمی) توجیه می‌شود:

1. منشأ فوتون: فوتونی در زمان t_e از یک منبع دوردست گسیل می‌شود. طول‌موج آن، λ_e ، متناسب با مقیاس اتمی غالب در آن زمان، یعنی $L(t_e)$ ، است:

$$\lambda_e \propto L(t_e)$$

1. رصد در زمان حال: هنگامی که این فوتون در زمان t_0 توسط ناظر روی زمین دریافت می‌شود، ابزارهای اندازه‌گیری ناظر (اتم‌های سازندهٔ تلسکوپ‌ها و سنسورها) مقیاس کوچکتری نسبت به زمان گسیل دارند: $L(t_0) < L(t_e)$.

2. اندازه‌گیری ظاهری: طول‌موج مشاهده‌شده، λ_{obs} ، در مقیاس کنونی اندازه‌گیری می‌شود:

$$\lambda_{\text{obs}} \propto L(t_0)$$

نسبت سرخ‌گرایی به این صورت محاسبه می‌شود:

$$1 + z = \frac{\lambda_{\text{obs}}}{\lambda_e} = \frac{L(t_0)}{L(t_e)}$$

به دلیل اینکه $L(t_0) < L(t_e)$ ، نسبت $1 + z > 1$ است، یعنی فوتون سرخ‌تر مشاهده می‌شود، در حالی که سرعت نور و فواصل فیزیکی بین کهکشان‌ها ثابت بوده‌اند.

این مکانیسم، یک سرخ‌گرایی اثر کاذب ناشی از تغییر سنج‌ها (Scale Artifact Redshift) است.

۴. پارامتر هابل و انقباض اتمی

در مدل FLRW استاندارد، نرخ انبساط هابل در زمان t تعریف می‌شود:

$$H(t) = \frac{\dot{a}}{a}$$

در مدل TSM، ما ثابت بودن هندسه (ثابت $a(t)$ یا $a(t) = 1$) را در مقیاس کیهانی فرض نمی‌کنیم؛ بلکه ثابت بودن حاصل ضرب $a(t)L(t)$ را فرض می‌کنیم. اگر فرض کنیم که هندسه جهانی در «مقیاس مطلق» خود ایستا است، می‌توانیم $a(t)$ را به‌طور قراردادی تابعی تعریف کنیم که انقباض اتمی را منعکس کند:

$$a(t) = \frac{L_0}{L(t)}$$

اگر $L(t)$ با نرخ ثابت نمایی کوچک شود:

$$L(t) = L_0 e^{-H_0(t-t_0)}$$

پس:

$$a(t) = e^{H_0(t-t_0)}$$

اگر t_0 زمان حال باشد، $a(t_0) = 1$. با مشتق‌گیری:

$$\dot{a}(t) = H_0 e^{H_0(t-t_0)} = H_0 a(t)$$

$$H(t) = \frac{\dot{a}}{a} = H_0$$

این بدان معناست که پارامتر هابل مشاهده‌شده (H_0) در مدل TSM دقیقاً متناظر است با نرخ انقباض نسبی اتم‌ها:

$$H_0 = -\frac{\dot{L}}{L}$$

با جایگزینی مقدار تجربی $H_0 \approx 70 \text{ km/s/Mpc}$: از آنجا که $1 \text{ Mpc} \approx 3.086 \times 10^{22} \text{ m}$ ، نرخ سالانه انقباض اتمی $|\dot{L}/L|$ در واحد year^{-1} برابر است با:

$$H_0 \approx 2.27 \times 10^{-18} \text{ s}^{-1}$$

این نرخ بسیار کوچک است، اما در مقیاس زمانی عمر جهان (13.8 میلیارد سال)، باعث تغییر قابل توجهی در مقیاس اتمی می‌شود. این نرخ، به طور قابل توجهی کوچکتر از نرخ تغییراتی است که برای آشکار شدن توسط ساعت‌های اتمی نیاز است، اما این تغییر در طول میلیاردها سال بر طول‌موج‌های گسیل‌شده در فواصل کیهانی منعکس می‌شود. پایداری ساعت‌های اتمی روزمره صرفاً نشان‌دهنده آن است که تغییرات در طول عمر کوتاه روزمره قابل تشخیص نیستند.

۵. چگالی و تفسیر مشاهداتی

یکی از نقاط قوت اصلی مدل TSM، حل پارادوکس چگالی است که در قسمت مقدمه ذکر شد. در مدل‌های مبتنی بر انبساط فضا، چگالی انرژی یا ماده ρ با عامل مقیاس a به صورت زیر تغییر می‌کند:

$$\rho(t) = \rho_0 a(t)^{-3}$$

اگر فضا منبسط شود (a افزایش یابد)، چگالی کاهش می‌یابد (رقیق شدن ماده).

۵.۱. چگالی در مدل TSM

در مدل TSM، هندسه فضا ایستا فرض می‌شود. از دیدگاه مطلق، عامل مقیاس کیهانی (a_{abs}) ثابت است. با این حال، از دیدگاه ناظر اتمی، سنج‌های ما تغییر کرده‌اند. برای حفظ سازگاری با مشاهده‌پذیری‌ها، باید تعریف کنیم که چگونه چگالی مشاهده‌شده (ρ_{obs}) تغییر می‌کند.

اگر تعداد ذرات N و حجم مطلق V_{abs} ثابت باشند، چگالی مطلق ثابت است:

$$\rho_{\text{abs}} = \frac{mN}{V_{\text{abs}}} = \text{ثابت}$$

اما ناظر اتمی، حجم V را بر اساس طول مشخصه اتمی کنونی $L(t)$ اندازه‌گیری می‌کند. اگر حجم مطلق V_{abs} متناسب با L_{abs}^3 باشد، و L_{abs} ثابت باشد، پس حجم مطلق ثابت است.

اما، برای تطابق با مشاهده $1 + z = L(t_0)/L(t_e)$ ، لازم است که چگالی مشاهده‌شده با تغییر طول‌موج تغییر کند (از آنجا که $E = hc/\lambda$).

چگالی انرژی مشاهده شده ρ_{obs} در کیهان‌شناسی استاندارد متناسب با a^{-3} تغییر می‌کند. در TSM، این تغییر به صورت زیر مدل‌سازی می‌شود:

$$\rho_{\text{obs}}(t) \propto \left(\frac{L(t_0)}{L(t)} \right)^3 = a(t)^3$$

با استفاده از رابطه TSM $(1+z = L(t_0)/L(t_e))$:

$$\rho_{\text{obs}}(t_e) \propto \left(\frac{L(t_e)}{L(t_0)} \right)^3 = (1+z)^{-3}$$

این نتیجه‌گیری نشان می‌دهد که چگالی ماده در کیهان دورتر (با z بزرگتر) به صورت نمایی کمتر مشاهده می‌شود، در حالی که در مدل Λ CDM، چگالی بیشتر دیده می‌شد (و این تناقض بود). در TSM، با افزایش فاصله (کاهش t)، $L(t)$ افزایش می‌یابد، پس مقیاس اتمی بزرگتر می‌شود. یک حجم ثابت اکنون با اتم‌های بزرگتری پر می‌شود و در نتیجه چگالی مشاهده شده (تعداد اتم در واحد حجم اندازه‌گیری شده با ابزار امروزی) کاهش می‌یابد.

نتیجه‌گیری چگالی: مدل TSM پیش‌بینی می‌کند که چگالی ماده در کیهان اولیه (دورتر) کمتر از چگالی کیهان کنونی است، زیرا اتم‌ها در آن زمان بزرگتر بوده‌اند و واحدهای اندازه‌گیری ما (اتم‌های امروزی) با استفاده از واحدهای آن زمان قابل مقایسه نیستند. این با برخی از مشاهدات چگالی کهکشان‌ها سازگار است.

۶. سازگاری با داده‌های رصدی

مدل TSM یک چارچوب کیهان‌شناسی پارامتریک ساده شده است که بر اساس یک فرض فیزیکی-متافیزیکی عمل می‌کند. بررسی سازگاری آن با داده‌های کلیدی انجام می‌شود:

۶.۱. سرخ‌گرایی ابرنواخترها (SN Ia)

معادله سرخ‌گرایی در TSM دقیقاً معادله مدل $a(t) \propto e^{H_0 t}$ در کیهان‌شناسی استاندارد است، اما با تفسیری متفاوت. بنابراین، مدل TSM در مورد فاصله و سرخ‌گرایی ابرنواخترها (که نیروی محرکه کشف انرژی تاریک بود) پیش‌بینی‌های کاملاً یکسانی با مدل $R_h = ct$ (که یک کیهان انبساطی با جهان‌بینی مبتنی بر افق است) ارائه می‌دهد. این سازگاری به معنی آن است که TSM نیازی به پارامترهای انرژی تاریک Λ یا ماده تاریک Ω_M اضافی برای توجیه مشاهده شتاب در داده‌های SN Ia ندارد، زیرا H_0 به عنوان نرخ انقباض ذاتی ماده عمل می‌کند.

۶.۲. تابش زمینه کیهانی (CMB)

در مدل FLRW، دمای CMB با $T(t) = T_0 a(t)^{-1}$ تغییر می‌کند. در TSM، از آنجا که $a(t) = L_0/L(t)$:

$$T(t) = T_0 \frac{L(t)}{L_0}$$

دمای CMB مشاهده‌شده، T_0 ، توسط فوتون‌هایی تعیین می‌شود که در زمان سرد شدن جهان، با مقیاس اتمی $L(t_e)$ برخورد کرده‌اند. این امر نیاز به مدل‌سازی انتقال حرارت در طول انقباض اتمی دارد، اما به‌طور کیفی، تغییر در مقیاس اتمی به‌طور طبیعی انرژی فوتون‌ها را به گونه‌ای تغییر می‌دهد که دمای مشاهده‌شده با $\approx$ متناسب باشد.

۶.۳. اندازه ظاهری کهکشان‌ها (BAO)

فاصله زاویه‌ای دیداری (Angular Diameter Distance) در مدل‌های کیهان‌شناسی ارتباط مستقیمی با عامل مقیاس دارد. در مدل TSM، چون هندسه فضا ثابت است، فاصله فیزیکی بین اجرام ثابت است. اندازه‌گیری اندازه ظاهری کهکشان‌ها در فواصل دورتر، به‌جای اینکه تحت تأثیر انبساط باشد، تحت تأثیر این واقعیت قرار می‌گیرد که کهکشان‌ها در زمان گسیل بزرگتر بوده‌اند (زیرا $L(t_e) > L(t_0)$). این باعث می‌شود که کهکشان‌های دورتر به‌صورت ظاهری بزرگتر از آنچه مدل‌های انبساطی پیش‌بینی می‌کنند، دیده شوند (زیرا اثرات بزرگ‌کننده انقباض اتمی، اثرات کوچک‌کننده انبساط فضا را جبران می‌کند).

۷. نتایج و پیامدها

مدل ایستای طباطبایی پیامدهای عمیقی برای درک ما از واقعیت کیهانی دارد:

1. سرخ‌گرایی ایستا: سرخ‌گرایی کیهانی پدیده‌ای مطلقاً هندسی نیست، بلکه یک اثر دینامیکی در مقیاس‌های بنیادی ماده است. جهان در مقیاس کلان ایستا است.
2. ثبات جهان: جهان از دیدگاه مطلق (اگر یک ناظر خارج از سنج‌های اتمی وجود داشته باشد)، فاقد انبساط و هیچ‌گونه شتابی است.
3. حل پارادوکس‌ها: پارادوکس چگالی و ناسازگاری‌های مربوط به چگالی کهکشان‌ها در فواصل دور، به‌طور طبیعی حل می‌شوند، زیرا چگالی ظاهری مشاهده‌شده با کوچک شدن مقیاس‌های اندازه‌گیری (اتم‌ها)، افزایش نمی‌یابد بلکه به‌دلیل بزرگتر بودن اتم‌ها در گذشته، کاهش می‌یابد.

4. حذف انرژی تاریک: تمام اثراتی که به انرژی تاریک نسبت داده می‌شد (شتاب‌دهنده انبساط)، اکنون به‌طور کامل توسط نرخ ثابت انقباض اتمی توجیه می‌شوند. H_0 دیگر ثابت کیهان‌شناختی نیست، بلکه ثابت انقباض اتمی است.

۸. پیش‌بینی‌های قابل آزمون

برای اعتبار بخشیدن به TSM، باید تفاوت‌هایی با مدل Λ CDM مشاهده شود که در آن فضا منبسط می‌شود:

1. تغییر بسامد ساعت‌های اتمی: اگر انقباض اتمی در حال وقوع است، باید بتوانیم با ساعت‌های فوق‌دقیق، تغییرات زیراتمی در مقیاس‌های طولانی‌مدت (چندین هزار سال) را آشکار کنیم. این نیازمند حساسیت‌های در حد 10^{-18} تا 10^{-20} در نسبت فرکانس است که در حال حاضر فراتر از توانایی‌های روزمره است، اما هدف بلندمدت است.
2. بازمدلسازی CMB: دمای تابش زمینه کیهانی باید به تابعی از $L(t)$ (مقیاس اتمی) به جای $a(t)$ (عامل مقیاس هندسی) مدل‌سازی شود. این تغییر در توزیع طیفی فوتون‌ها در سطوح مختلف z باید با تحلیل دقیق‌تر داده‌های پلانک آشکار شود.
3. تحلیل دقیق SN Ia و BAO: با استفاده از مدل TSM، منحنی‌های فاصله باید بازتحلیل شوند تا اثرات انقباض اتمی بر هندسه ظاهری فضا (نه انبساط هندسی) در نظر گرفته شود. این تحلیل باید منجر به مقادیر متفاوتی از پارامترهای Ω_M و Ω_Λ شود، که در TSM هر دو برابر صفر خواهند بود (فقط یک پارامتر کنترلی H_0 باقی می‌ماند).

۹. نتیجه‌گیری

مدل ایستای طباطبایی (TSM) چارچوبی بدیل برای فهم پویایی‌های ظاهری کیهان فراهم می‌آورد که در آن جهان در مقیاس مطلق ایستا است و تمام پدیده‌های نوری و زمانی از تغییر تدریجی مقیاس اتمی حاصل می‌شوند. این مدل، در عین سادگی ریاضی، توانایی بازتولید دقیق مشاهدات اصلی کیهان‌شناسی (مانند H_0 و سرخ‌گرایی) را دارد، در حالی که مفاهیم بحث‌برانگیز انرژی تاریک و انبساط شتاب‌دار را حذف می‌کند. این نگاه نو، پلی است میان فیزیک، فلسفه اندازه‌گیری و تفسیر پدیده‌های مشاهده‌شده در اعماق فضا.

کلیدواژگان: کیهان ایستا، انقباض اتمی، Λ CDM، پارادوکس چگالی، پارامتر هابل، سرخ‌گرایی، نظریه TSM، فیزیک بنیادی.