DOI: doi.org/10.61450/joci.FA.v3iTC1FA.175

کیهان وارونه

چکیده

مـدل بیگ‌بنـگ در کیهان‌شناسـی رایـج پذیرفتـه شـده‌ترین مـدل در مـورد تولـد جهـان می‌باشـد کـه بـر دو فـرض اساسـی اسـتوار اسـت. یکـی نظریـهٔ نسـبیت عـام انیشـتین کـه تعامـل گرانشـی مـاده بـا فضا-زمـان را توصیـف می‌کنـد و دیگـری اصـل کیهان‌شناسـی اسـت کـه بیـان می‌کنـد، ناظـری کـه جهـان را مشـاهده می‌کنـد بـا همگنـی و همسـانگردی آن مواجـه خواهـد شـد؛ بـه ایـن معنـا کـه جهـان هیـچ لبـه‌ای نـدارد. مطابـق ایـن مـدل، نبایـد در یـک نقطـهٔ خـاص بـه دنبـال منشـأ انفجـار بـزرگ بـود، بلکـه ایـن انفجـار در سراسـر کیهـان بـه طـور همزمـان بـه وقـوع پیوسـته اسـت. طـی تحـول مدل‌هـای مختلـف کیهان‌شـناختی، مـدل اسـتاندارد کیهان‌شناسـی [a](Lambda-CDM) نیـز فـرض می‌کنـد کـه جهـان شـامل سـه جـزء اصلـی اسـت: ۱-ثابـت کیهانـی مرتبـط بـا انـرژی تاریـک، ۲-مـاده تاریـک سـرد، ۳-مـاده معمولـی، از دیـدگاه کیهان‌شناسـان، ایـن مـدل تفسـیر کلـی بـرای طیـف وسـیعی از پدیده‌هـای مشـاهده شـده از جملـه فراوانـی عناصـر سـبک، تابـش پس‌زمینـهٔ کیهانـی و سـاختارهای بـزرگ مقیـاس در کیهـان را ارائـه می‌دهـد. بـا ایـن حـال، همچنـان جنبه‌هایـی از جهـان مشـاهده شـده وجـود دارد کـه در حـال حاضـر چالش‌هایـی را سـبب شـده کـه توسـط مـدل بیگ‌بنـگ توضیـح داده نشـده اسـت. در راسـتای پاسـخ بـه ایـن چالش‌هـا، «کیهان‌شناسـی شـعوری» بـا ارائـه فرضیـات متعـدد، نـه تنهـا زاویـهٔ تفسـیری جدیـدی را نسـبت بـه رفتـار و عملکـرد اجـزاءِ کیهـان ارائـه می‌دهـد، بلکـه اظهـار مـی‌دارد کـه آخریـن مدل‌هـای کیهان‌شناسـی دارای پارادوکس‌هایـی نسـبت بـه رصدهـای انجـام شـده می‌باشـند. کیهان‌شناسـی شـعوری اظهـار مـی‌دارد کـه اگـر مدل‌هـای رایـج کیهان‌شناسـی را بپذیریـم، بنابرایـن بـا تظاهـرات غیرمنطقـیِ کیهـانِ در حـالِ انبسـاط مواجـه هسـتیم. در ایـن مبحـث، از دیـدگاه کیهان‌شناسـی شـعوری دلایـل متعـددی تحـت عنـوان «کیهـان وارونـه» مطـرح می‌شـود کـه بـا سـوال‌هایی همچـون افـقِ ابهـامِ تراکـمِ مـاده و انـرژی، افـق ابهـام حرارتـی، افـق بی‌زمانـی و غیـره...، برخـی از تفاسـیر مـدل اسـتاندارد کیهان‌شناسـی رایـج یـا آخریـن مـدل بیگ‌بنـگ در مـورد منشـاء جهـان، شـکل هندسـی آن و مراحلـی کـه بـرای انبسـاط کیهـان مـورد پذیـرش عمـوم کیهان‌شناسـان قـرار گرفتـه اسـت را بـه چالـش می‌کشـد.

کلیدواژه‌ها: کیهان‌شناسی شعوری، کیهان وارونه، افقِ ابهامِ تراکمِ ماده و انرژی، افق ابهامِ حرارتی، افقِ بی‌زمانی

a - Lambda-Cold Dark Matter

کیهان‌شناسی رایج

مقدمه

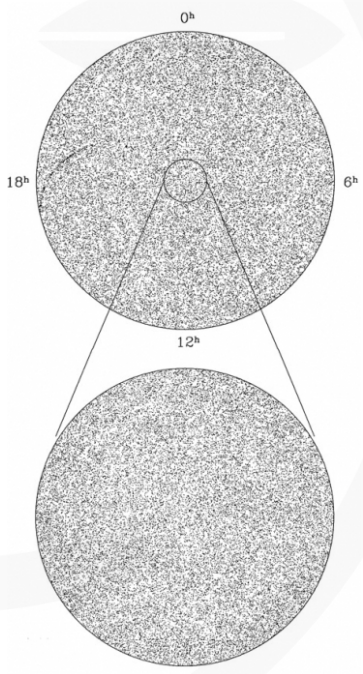
انسان از دیرباز بر این عقیده بوده که زمین در مرکز عالم قرار گرفته است؛ اما بعدها فهمید زمین و دیگر سیارات منظومه شمسی همگی به دور خورشید در حال چرخش هستند. بنابراین، به این نتیجه رسید که خورشید در مرکز عالم قرار دارد. دیری نپایید که این باور نیز کنار گذاشته شد؛ زیرا معلوم شد که نه تنها ستاره‌گان به طور یکنواخت در آسمان قرار نگرفته‌اند؛ بلکه توزیع دیسک مانند آنها، کهکشان راه‌شیری را تشکیل داده است. درنتیجه مشخص گردید خورشیدی که تا آن روز مرکز عالم تصور می‌شد، در فاصلهٔ دوسوم ازشعاع کهکشان راه شیری نسبت به مرکز آن قرار گرفته است.

در ادامه انسان تلاش نمود این بار کهکشان خود را در مرکز عالم قرار دهد؛ اما رصد اعماق فضا این واقعیت را که کهکشان راه شیری تنها یکی از میلیاردها کهکشان موجود در کیهان امروزی ما است، آشکار کرد.

اصول کیهان‌شناسی مدرن

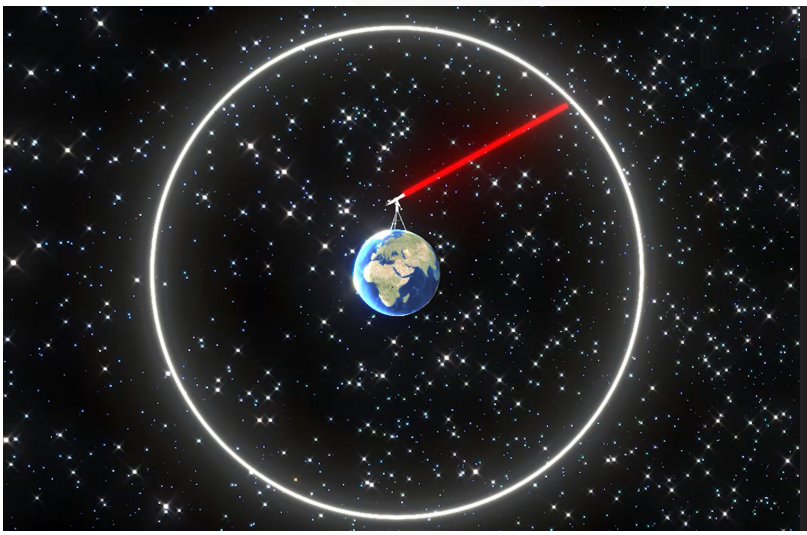
با پیشرفت تجهیزات رصدی، کیهان‌شناسان به این نتیجه رسیدند که صرف نظر از اینکه ما کجای این کیهان قرار داریم، جهان یکسان به نظر می‌رسد؛ به عبارتی جهان، هَمگِن و همسانگَرد است. در کیهان‌شناسی، همگنی به این معناست که ناظران شواهد رصدی یکسانی در مکان‌های مختلف در دسترس دارند؛ اما این شواهد شامل بخشی از جهان است که می‌توانیم آن را ببینیم. همسانگردی نیز به این معنی است که جهان از نظر آماری در همهٔ جهات یکسان به نظر می‌رسد. بنابراین همگنی و همسانگردی که از اصول کیهان‌شناسی مدرن است و زیربنای نظریهٔ بیگ بنگ در مورد تکامل جهان قابل مشاهده به حساب می‌آید، بیان می‌کند که کیهان، مکان و جهت ترجیحی ندارد. [۱،۲،۳]

نکتهٔ حائز اهمیت این است که اصول کیهان‌شناختی تنها در مقیاس‌های بزرگ کیهانی قابل بررسی هستند و در مقیاس‌های کوچک‌تر این اصول جایگاهی ندارند.



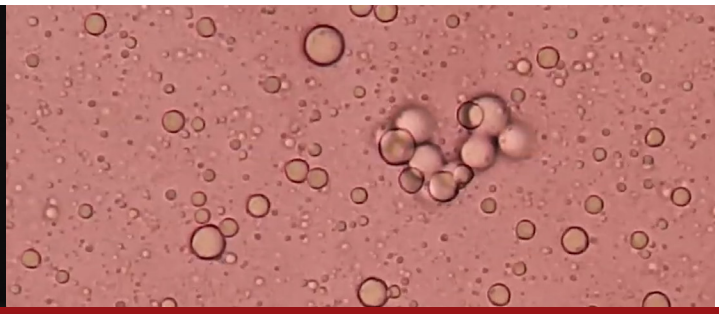
شکل ۱
جهان بزرگ مقیاس: نقاط شکل بالا موقعیت درخشان‌ترین منابع رادیویی را نشان می‌دهند که از نیمکرهٔ شمالی قابل مشاهده است و شکل پایین تعداد قابل مقایسه‌ای از منابع کم‌نور را در ۱۵ درجه از قطب شمال نشان می‌دهد. همسانگردی این دو شکل، در آسمان تأیید می‌کند که جهان از نظر مکانی در بزرگترین مقیاس‌ها همگن است.

Reprinted with permission from [Ref: doi: 10.1073. pnas.96.9.4756], Copyright (1999) National Academy of Sciences, U.S.A.



شکل ۲
عدم برقراری اصل همگنی و همسانگردی در جهان کوچک مقیاس

به طوریکه اگر ناظری، به یک لیوان شیر نگاه کند، آن را به شکل مایعی کاملا همگن و یکنواخت مشاهده می‌کند؛ اما اگر همان ناظر در مقیاس کوچک به شیر بنگرد، با جهانی ناهمگن و غیریکنواخت مواجه می‌شود.



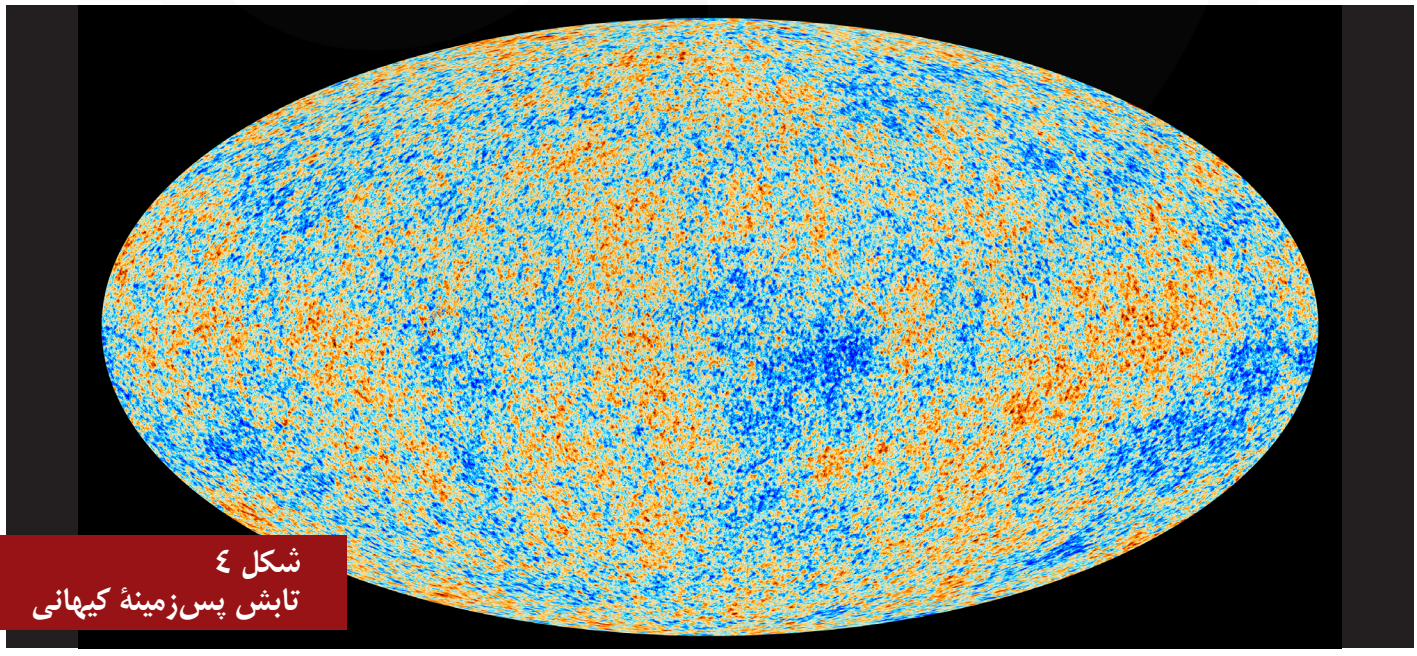
شکل ۳
مقایسهٔ همگنی و ناهمگنی با توجه به مقیاس (شکل سمت راست مقیاس کوچک و شکل سمت چپ مقیاس بزرگ)

در مقیاس‌های بزرگِ کیهانی نیز این موضوع صدق می‌کند؛ بدین صورت که با توجه به دیدگاه کیهان‌شناسی رایج، وقتی توزیع و سرعت میلیون‌ها کهکشان را در کیهانِ عظیمی به سن تقریبی ۱۳/۸۴ میلیارد سال در نظر می‌گیریم، به این نتیجه می‌رسیم که همه جای کیهان، همگن و یکنواخت است و اگر در مقیاس‌های کوچک‌تر به جهان نگاه کنیم، دیگر چنین نیست.

بنابراین، اصول کیهان‌شناختی با خاصیت «جهانِ بزرگ مقیاس» به مفهوم جهانی فراتر از کهکشان‌هایِ محلیِ قابل رصد، اشاره دارد.

از طرفی با مشاهدات و بررسی‌هایی که تاکنون صورت گرفته است، کشف و بررسی تابش پس زمینهٔ کیهانی (CMB)[b] نیز نشان می‌دهد که دما و چگالی ماده در زمان گسیل این پرتوها در اعماق کیهان در تمامی جهات یکنواخت و همگن بوده است. به عبارتی از دیدگاه کیهان‌شناسی رایج، هنگامی که از دریچهٔ این تابش به جهان آغازین می‌نگریم، درمی‌یابیم که تقریبا توزیع ماده و انرژی در جهان فاقد ویژگی خاصی است؛ به این معنا که هیچ ساختار مشخصی وجود ندارد تا نشان دهد که بین زمان نخستین بیگ بنگ و زمان حاضر، چه تحولی روی داده است. [۱]

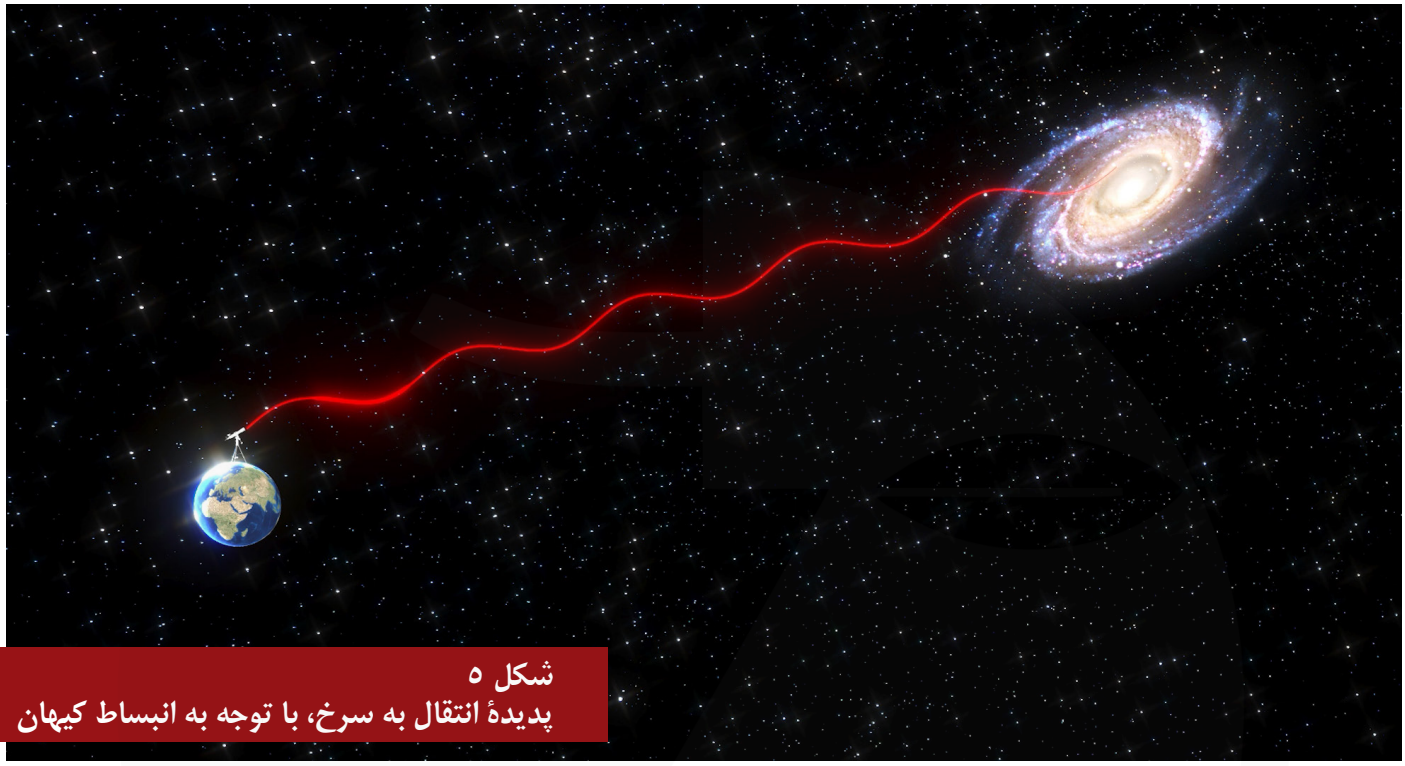
b- Cosmic Microwave Background



شکل ٤
تابش پس‌زمینهٔ کیهانی

شواهد کیهان‌شناسی نشان می‌دهند، کیهان از زمان وقوع بیگ بنگ تاکنون در حال انبساط است، زیرا آنطور که در مشاهدات رصدی نیز دیده می‌شود، همه چیز در حال دور شدن از ماست و هر چقدر جرمی در فاصلهٔ دورتری از ما باشد، با سرعت بیشتری دور می‌شود. این سرعت‌ها با استفاده از «انتقال به سرخ» اندازه‌گیری می‌شوند. انتقال به سرخ کیهانی در متریک استاندارد FLRW، معمولاً به عنوان تغییر طول موج فوتون به دلیل انبساط فضا توضیح داده می شود.[۴،۵،۶،۷]

متریکFriedmann–Lemaître–Robertson–Walker یک متریک بر اساس حل دقیق معادلات میدان نسبیت عام اینشتین است. این متریک یک جهان همگن و همسانگردِ در حال انبساط را توصیف میکند. به بیان ساده انتقال به سرخ یعنی جابه‌جایی خطوط طیف اجرام آسمانی به سمت طول موج‌های بلندتر و قرمزتر، که به علت دور شدن این اجرام از ما پدید می‌آید.[۷]

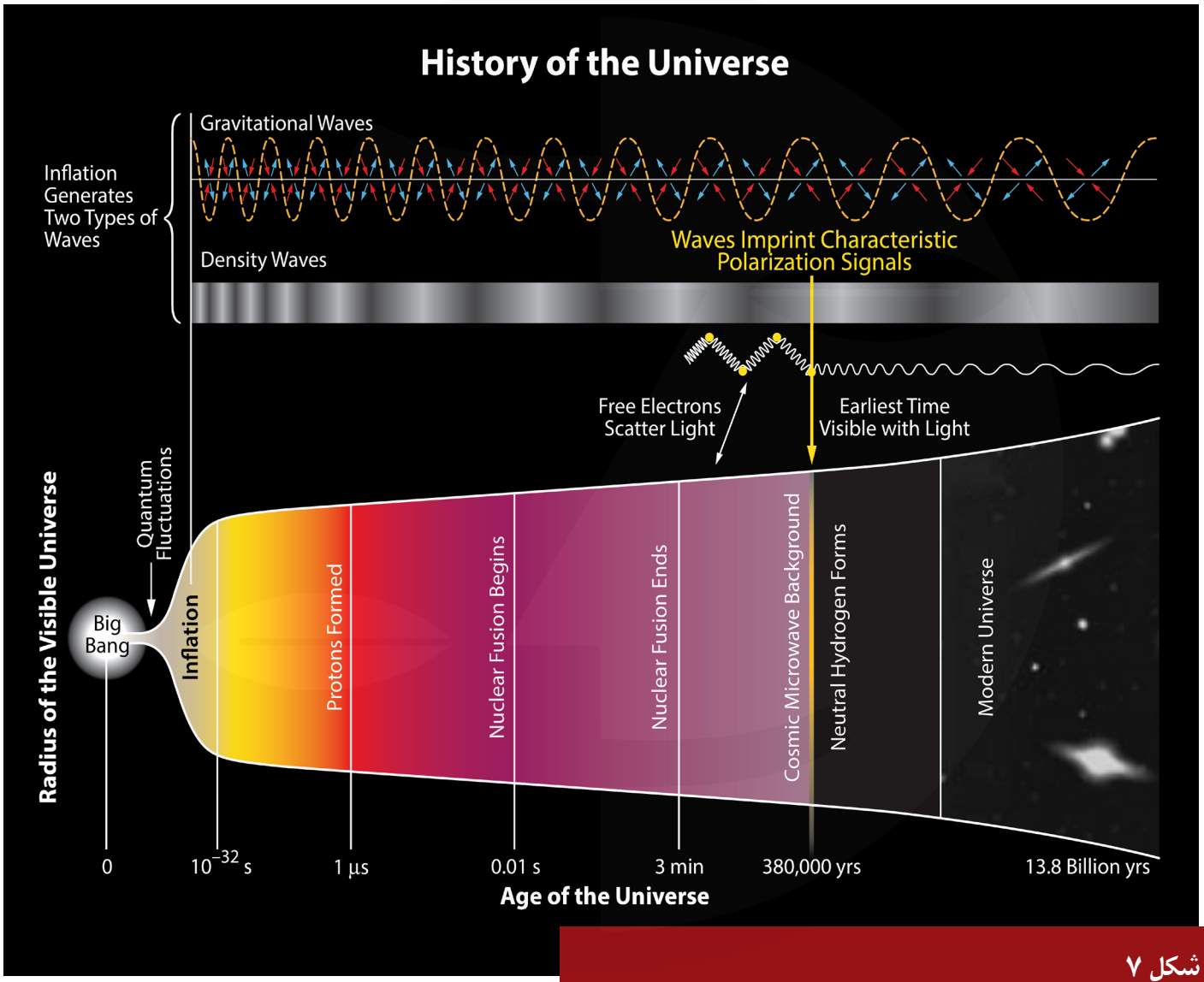


شکل ۵
پدیدهٔ انتقال به سرخ، با توجه به انبساط کیهان

انبساط جهان از ویژگی‌های مهم کیهان‌شناسی در پدیدهٔ بیگ بنگ است و به معنی افزایشِ فاصلهٔ متریکِ بین اجرام سماوی، با گذشت زمان می‌باشد. بدین صورت که اگر یک بادکنک خالی از باد را فرض کنیم و روی آن نقاطی را رسم کرده و سپس بادکنک را باد کنیم، مشاهده می‌کنیم که هر چقدر حجم بادکنک بیشتر می‌شود، فاصلهٔ نقاط رسم شده در روی بادکنک از یکدیگر افزایش می‌یابد. این مثال، مفهوم جهان در حال انبساط است. اما نکته‌ای که باید به آن توجه داشت این است که از دیدگاه کیهان‌شناسی رایج، انبساط جهان درونی بوده و به فاصلهٔ نسبی بین اجزای کیهان برمی‌گردد و نه تنها به معنای کش آمدن فضای بین اجرام نیست بلکه اجرام، به سمت فضای بیرون از کیهان نیز حرکت نمی‌کنند. [۸،۹،۱۰،۱۱،۱۲]

شکل ٦
انبساط کیهان به معنای افزایش فاصلهٔ متریک بین اجرام

نظریهٔ بیگ‌بنگ، یک مدل کیهانی پذیرفته شده است که چگونگی انبساط جهان، از حالت اولیه با چگالی و دمای بسیار بالا را توضیح می‌دهد و توصیف کنندهٔ علت انفجار اولیهٔ جهان نیست؛ بلکه پیامدهای این انفجار بزرگ را مورد بررسی قرار می‌دهد. در این نظریه، فرض بر این است که جهان، حدود ۱۳٫۸ میلیارد سال پیش، در نقطه‌ای بسیار کوچک متمرکز بوده است. این حالتِ اولیه، از آن زمان تاکنون به کیهان وسیع و بسیار سردتری که در حال حاضر در آن زندگی می‌کنیم تبدیل شده است. همچنین این نظریه با چالش‌هایی همچون مسئله افق و تخت بودن جهان نیز مواجه است که در این راستا نظریه‌ای به نام «تورم» با بیان پدیده‌ای به نام انبساطِ نمایی، به این چالش پاسخ داده و مکانیزمِ انفجار را در لحظات اولیه توصیف می‌کند. به عبارتی پدیدهٔ تورم علی رغم برخی مخالفت‌ها، در حال حاضر در کیهان‌شناسی مدرن مورد پذیرش اغلب کیهان‌شناسان قرار گرفته و اظهار می‌کند که در لحظات اولیهٔ بیگ‌بنگ، یعنی در اولین تریلیونوم ثانیه، جهان با ضریبِ تقریبی ده به توانِ پنجاه برابر انبساط یافته است. در واقع تورم پیش‌بینی می‌کند که امواج گرانشی اولیه در جهان مانند نوسانات چگالی اولیه، توسط نوسانات کوانتومی تولید می‌شوند.[۱۳]



شکل ۷
روند زمانی انبساط جهان در مدل بیگ‌بنگ از گذشته تا به امروز

با اینکه نظریهٔ بیگ‌بنگ توانسته است اطلاعاتی را در مورد جهانی که در آن زندگی می‌کنیم در اختیار بشر قرار دهد، اما سوالات بی‌پاسخ زیادی را نیز برای کیهان‌شناسان باقی گذاشته که هر روز به مجهولات آن افزوده می‌شود و با وجود مشاهدات رصدی و تفسیر آن‌ها، هر لحظه پارادوکس‌های پیچیده‌تری در حال اضافه شدن می‌باشند. از این رو چنین به نظر می‌رسد که برای تحلیل مشاهدات رصدی و درکِ ساز و کارِ کیهانی به این عظمت، باید با دیدگاهی جدید، ساختار کیهان و رفتار اجزای آن را مورد مطالعه قرار داد.

کیهان‌شناسی شعوری

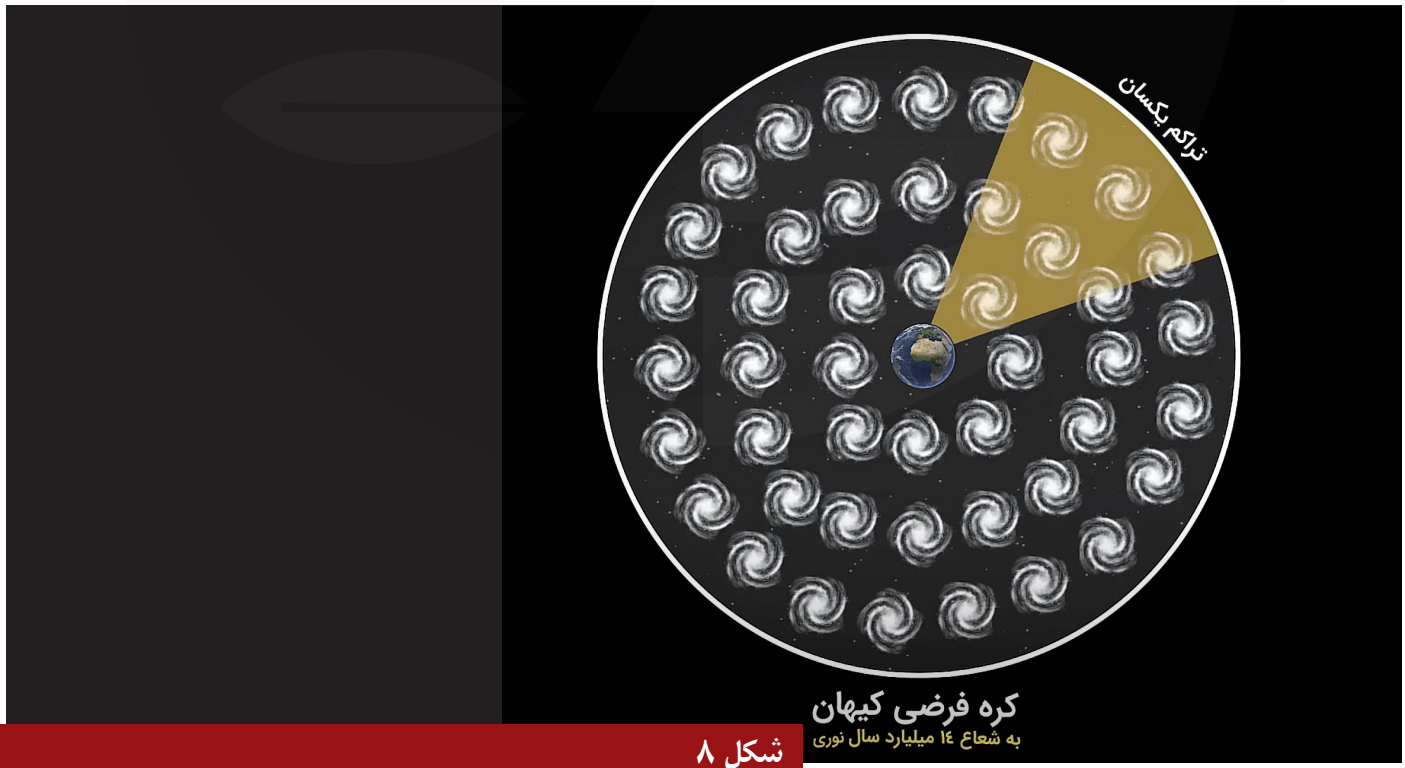
کیهان‌شناسی شعوری با مطرح کردن مدل کیهان کروی که از جمله فرضیات محمدعلی طاهری می‌باشد، زاویهٔ تفسیری جدیدی را به برخی مشاهدات رصدی که تاکنون در آخرین مدل بیگ‌بنگ پذیرفته شده، اما تحلیل آن‌ها بسیار چالش برانگیز بوده است، ارائه می‌دهد و با بیان این موضوع که مشاهدات رصدی در کیهان‌شناسی رایج دارای پارادوکس نسبت به تفاسیر ارائه شده می‌باشند، با ذکر دلایلی این پارادوکس‌ها را تحت عنوان «کیهان وارونه» مطرح می‌کند. در واقع این دیدگاه بیان می‌کند که اگر جنبه‌هایی از آخرین مدل بیگ‌بنگ یا مدل تکامل یافتهٔ استاندارد کیهان‌شناسی را بپذیریم، با تظاهرات وارونهٔ کیهان مواجه می‌شویم.

دلیل ۱:

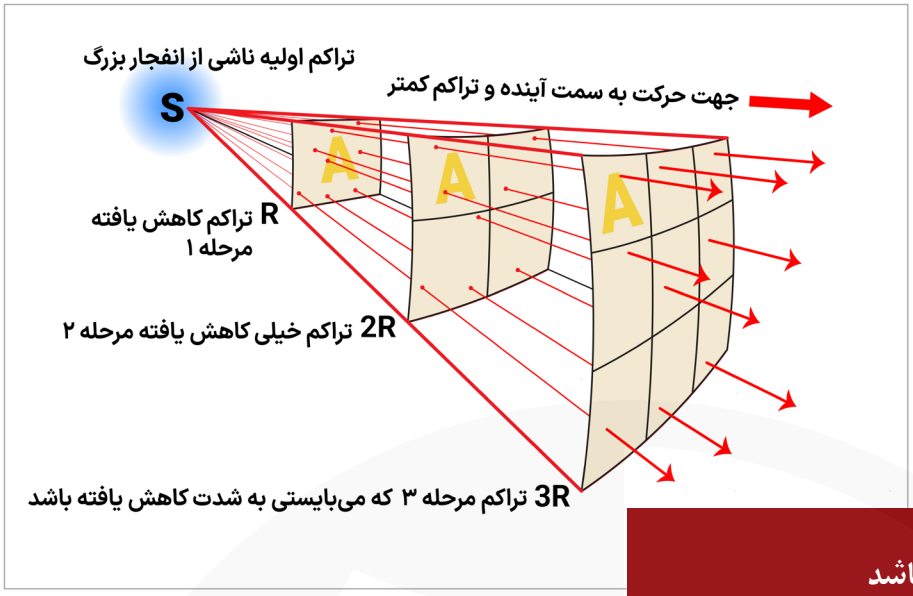
یکی از نکات مهمی که در مبحث کیهان وارونه مطرح می‌شود این است که با توجه به نظریهٔ بیگ‌بنگ، در لحظات اولیه، کیهان در یک نقطهٔ بسیار چگال جمع شده بود. بعد از وقوع انفجار و انبساط عالم، با افزایش حجم کیهان، منطقی است که میزان تراکم ماده باید کاهش یابد. یعنی هم اکنون که به اعماق فضای پیرامون خود می‌نگریم باید جهان را در نقاط دورتر از نقطهٔ انفجار یعنی جایی که سطحِ توزیع ماده به واسطهٔ انبساط فضا بزرگتر شده است، رقیق‌تر ببینیم؛ اما در حال حاضر کیهان‌شناسان با تراکم یکسانی از ماده و انرژی در تمام جهاتِ کیهان به عمق ۱۳/۸۴ میلیارد سال نوری که رصد می‌کنند، مواجه می‌شوند. در صورتی که با توجه به مدل بیگ‌بنگ در کیهان‌شناسی رایج، انبساط عالم یعنی لزوم منطقی کاهش تراکم با دور شدن از مرکز انفجار بزرگ.

به عبارتی مشاهدهٔ تراکم یکسان ماده در کیهان که طی اصل همگنی و همسانگردی در کیهان‌شناسی مدرن پذیرفته شده است، با روند افزایش حجم جهان که می‌بایستی به مرور زمان رقیق‌تر می‌شد در تضاد است. کیهان شناسان برای پاسخ به این مسئله، مدل بیگ‌بنگ را ارتقاء داده‌اند و با کمک گرفتن از نظریه‌ای به نام تورم نه تنها همسانگردی تابش پس‌زمینهٔ کیهانی (CMB) را توضیح می‌دهند بلکه توانسته‌اند مواردی همچون مسطح بودن جهان و مسئلهٔ افق و تک قطبی مغناطیسی را نیز به کمک این نظریه توجیه کنند. شایان ذکر است که این نظریه تئوری بوده و علی رغم پذیرفته شدن در جامعهٔ کیهان‌شناسی، همچنان دارای مخالفانی نیز می‌باشد؛[۱۴] با توجه به این موضوع، کیهان‌شناسی شعوری، این چالش را مطرح می‌کند که:

عدم مشاهدهٔ کاهش تراکم ماده یا همان اجرام در فضای رو به انبساط، که بر اثر انفجار اولیه ایجاد شده است، نشان‌دهندهٔ تظاهرات و رفتار وارونه کیهان می‌باشد و نظریهٔ تورم پاسخگوی این مسئله نمی‌تواند باشد.



شکل ۸
مشاهدهٔ توزیع و تراکم یکسان ماده و انرژی در همهٔ جهات کیهان



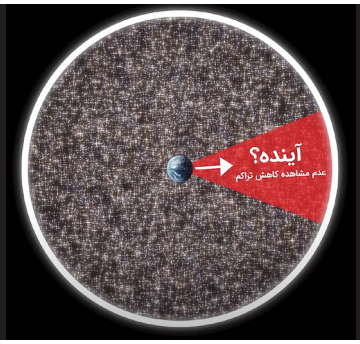
شکل ۹
S در این شکل سطح و R شعاع می‌باشد
لزوم منتطقی کاهش تراکم با دورشدن از مرکز انفجار بزرگ

دلیل ۲:

نکتهٔ قابل توجه دیگر این است که اگر مطابق دلیل یک، هم اکنون کیهان‌شناسان به هر سمتی از کیهان در پیرامون خود بنگرند، با توجه به دیدگاه کیهان‌شناسی رایج که بیان می‌کند دو خصوصیت مهم همگنی و همسانگردی کیهان همچنان حفظ گردیده است، آیندهٔ کیهان را به دلیل همین یکنواختی که در همهٔ جهاتِ کیهان در مقیاسی بسیار عظیم وجود دارد، مشاهده نخواهند کرد. ازطرفی سرنوشت نهایی جهان نیز در مدل استاندارد کیهان‌شناسی به عواملی همچون شکل کلی آن، میزان انرژی تاریک و در نهایت به معادله‌ای بستگی دارد که تعیین می‌کند چگالی انرژی تاریک چگونه به انبساط جهان پاسخ می‌دهد.[۱۵،۱۶،۱۷] در این راستا کیهان شناسان سه سرنوشت را برای جهان متصور می‌شوند: یکی از آنها، انبساط بی‌پایان (Big rip) است که در آن انرژی تاریک بر چگالی ماده غلبه می‌کند. دیگری جهان تخت (Flat universe) می‌باشد که در این نوع سرنوشت، کیهان برای همیشه به انبساط خود ادامه می‌دهد، اما این انبساط سرعتی کاهنده خواهد داشت که در نهایت متوقف شده و توقف آن نیز زمانی صورت می‌گیرد که خود زمان به بی‌نهایت برسد؛ و سرنوشت آخر، رمبش بزرگ کیهان (Big Crunch) است که چگالی ماده به انرژی تاریک فائق شده و جهان در خود، به واسطهٔ گرانش مجددا فرو می‌ریزد.[۱۷]

بنابراین در مدل بیگ‌بنگ پذیرفته شده، اعماق فضا، گذشتهٔ کیهان است. حال موضوعی که از دیدگاه کیهان‌شناسی شعوری مطرح می‌شود این است که اگر ناظر زمینی به اعماق کیهان بنگرد، نمی‌تواند کهکشان‌هایی را مشاهده کند که نشان دهندهٔ پیشروی انبساط رو به آیندهٔ کیهان است و صرفا این ناظر با گذشتهٔ کیهان مواجه می‌شود؛ به طوری که به صورت تقریبی کهکشان‌های نزدیک به سن کهکشان ما و یا کهکشان‌های جوان‌تر را رصد می‌کند. پس می‌توان نتیجه گرفت:

از دید ناظر زمینی، یکسان بودن توزیع ماده و انرژی در همهٔ جهات، باعث شده است که نتوان برای کیهان سرنوشت یا آینده‌ای با توجه به رصدهای صورت گرفته متصور شد و صرفا بر مبنای احتمالات برای این سرنوشت نتیجه‌گیری کرد. خود این موضوع یکی دیگر از علل وارونه بودن رفتار کیهان محسوب می‌شود.



شکل ۱۰
عدم مشاهدهٔ آیندهٔ کیهان به دلیل توزیع یکنواخت اجرام در مدل بیگ‌بنگ

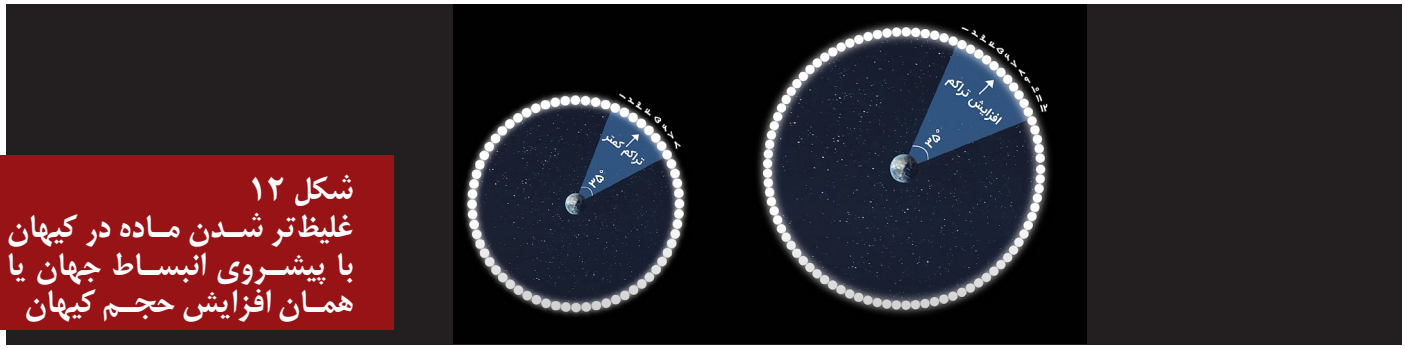
دلیل ۳:

مطابق نظریهٔ بیگ‌بنگ با انبساط جهان افق دید ما به عنوان یک ناظر در اعماق فضا، هر لحظه رو به افزایش است. درنتیجه از دیدگاه کیهان‌شناسی رایج، وقتی به انتهای افق دید خود یعنی فاصله‌ای به عمق تقریبی چهارده میلیارد سال نوری نگاه می‌کنیم، نه تنها نشانه‌های بیگ بنگ را که یکی از آنها تابش پس زمینهٔ کیهانی است که کل جهان را پر کرده مشاهده می‌کنیم بلکه طی روند انبساط با تراکمِ بیشتری از اجرام همانند کهکشان‌های بالغ در اعماق فضا مواجه می‌شویم. همچنین اگر زاویهٔ دید خود را به هر سمت این کرهٔ سماوی تغییر دهیم، باز هم با همان تراکم رو به افزایش و تابشی که در سیرِ زمانیِ رو به گذشته، نشان دهندهٔ دوران آغاز جهان است روبرو می‌شویم. به عبارتی اگر به کمک تلسکوپ‌های پیشرفته‌ای همچون جیمزوب به هر سمت از اعماق کیهان بنگریم با توده‌هایی عظیمی از کهکشان‌ها مواجه می‌شویم که نه تنها رو به افزایش هستند، بلکه ما را نیز احاطه کرده‌اند. شایان ذکر است که در کیهان‌شناسی رایج، نقطهٔ آغازین کیهان به خاطر انبساط، اکنون وجود ندارد و صرفا آثار آن که CMB می‌باشد قابل مشاهده و بررسی است. [۱۸,۱۹]

شکل ۱۱
غلیظ‌تر شدن ماده و انرژی با توجه به رصد اعماق فضا در افق دید

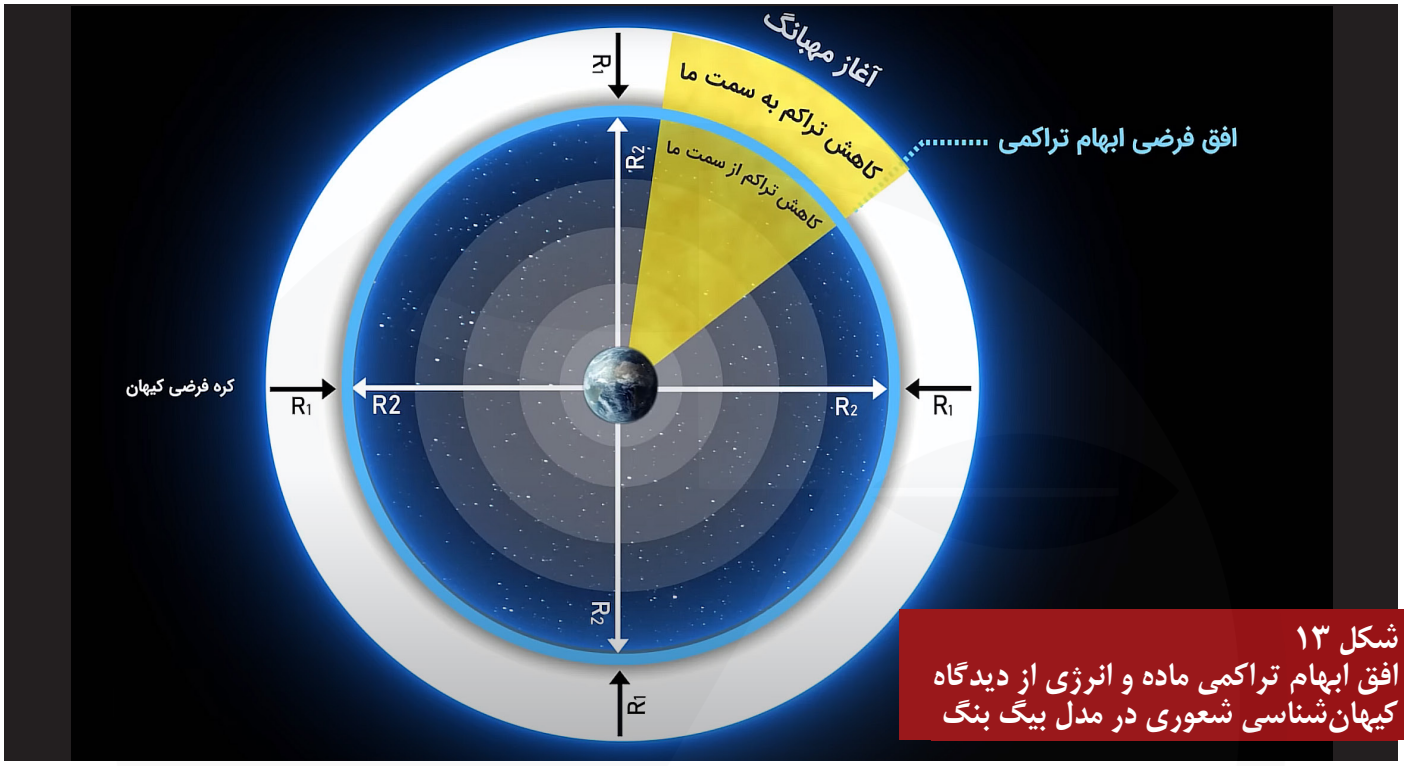
با توجه به این موضوع، کیهان‌شناسی شعوری بیان می‌کند که اگر میزان تراکم ماده و انرژیِ حالِ حاضرِ کیهان را با میزان تراکم ماده و انرژی گذشته مقایسه کنیم، به این نتیجه می‌رسیم که نسبت این تراکم در فضایِ انبساط یافتهٔ عظیم امروزی با بیشتر شدن سطح جهان، رو به افزایش است. بنابراین کیهان وارونه عمل کرده و جایی که انتظار می‌رود انبساط عالم موجب رقیق‌تر شدن این تراکم شود، در افق دیدِ ما، به سمت غلیظ‌تر شدن ماده و انرژی پیش می‌رود. در نتیجه از دیدگاه کیهان‌شناسی شعوری:

از هر سو که به کرهٔ سماوی یا همان اعماق فضا نگاه کنیم، با توجه به مدل بیگ‌بنگ باز هم به نقطهٔ زمانی آغاز کیهان که در محاصرهٔ آن قرار گرفته‌ایم می‌رسیم که در این افق دید، گویی تراکم اجرام در اعماق، هر لحظه با انبساط کیهان بیشتر می‌شود. به این ترتیب می‌توان نتیجه گرفت، تفسیر این موضوع که ما با رصد اعماق فضا مراحل اولیهٔ انبساط کیهان را مشاهده می‌کنیم، غیرقابل توجیه بوده و کیهان به صورتی وارونه عمل می‌کند.



شکل ۱۲
غلیظ‌تر شدن ماده در کیهان با پیشروی انبساط جهان یا همان افزایش حجم کیهان

کیهان‌شناسی شعوری با توجه به این دلیل بیان می‌کند که در صورت قبول این تفسیر، در مدل بیگ‌بنگ جهتِ بردار کاهش تراکم ماده و انرژی که از سمت زمین به صورت ۳۶۰ درجه به هر سوی اعماق کیهان رسم می‌شود (R_2) با جهت بردار کاهش تراکم ماده و انرژی که از انتهای افق دید ما، یعنی از فاصلهٔ ۱۳/۸۴ میلیارد سال نوری به سمت ما رسم می‌شود (R_1)، به طور فرضی در هم ادغام شده و جهت واقعی حرکت کیهان در فاصله‌ای از زمین مفقود می‌شود. این موضوع منتهی به افق فرضی کروی شکلی به شعاع (R_2) شده که این دیدگاه آن را «**افق ابهام تراکمی ماده و انرژی**» می‌نامد.



شکل ۱۳
افق ابهام تراکمی ماده و انرژی از دیدگاه کیهان‌شناسی شعوری در مدل بیگ بنگ

دلیل ٤:

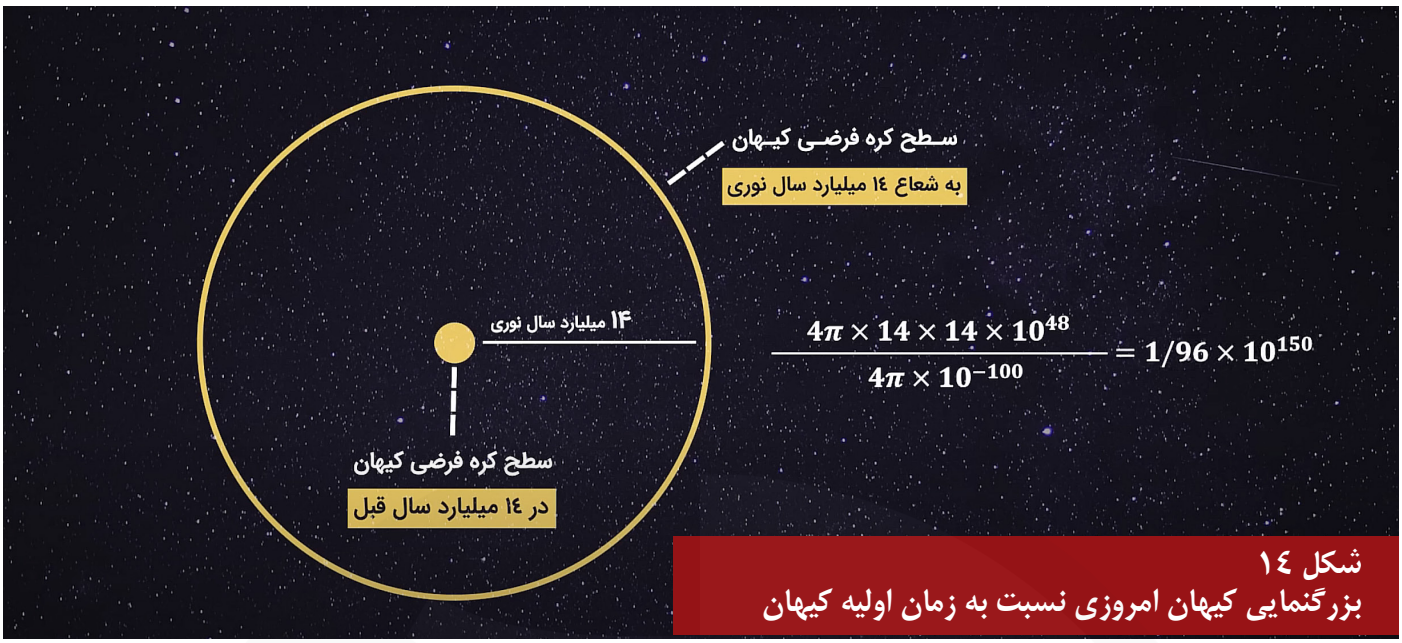
مدل‌های جهان تخت، بسته، باز و سرنوشتی که برای تک تک آنها بر مبنای دلایلی همچون چگالی بحرانی، پیش‌بینی شده است، نه تنها بر اساس یافته‌های جدید به چالش کشیده شده‌اند، بلکه در دنیای کیهان‌شناسی رایج صرفا به صورت تئوری مطرح شده و قطعیت ندارند.[۱۴,۱۶,۱۷]

بنابراین اگر این مدل‌ها درست باشند از دیدگاه کیهان‌شناسی شعوری یکی از موضوعات عجیبی که ایجاد سوال می‌کند این است که در عین حال که جهان تراکم ماده و انرژی را در خود حفظ کرده، گویی همزمان این تراکم بزرگنمایی نیز شده است! به عبارتی برعکسِ تصور ما که می‌بایست اجرام در اعماق کیهان رقیق‌تر دیده شوند، تراکم آنها از دید ناظر زمینی، به صورت قابل توجهی بزرگنمایی شده است. میزان این بزرگنمایی را می‌توان با محاسبهٔ نسبت سطح کرهٔ فرضی فعلی کیهان به شعاع تقریبی چهارده میلیارد سال نوری، به سطح کره کیهان در چهارده میلیارد سال قبل بدست آورد:

$$\text{مقدار بزرگنمایی در حال حاضر} = \frac{\text{سطح کره فرضی فعلی کیهان به شعاع چهارده میلیارد سال نوری}}{\text{سطح کره فرضی کیهان در چهارده میلیارد سال قبل}}$$

$$\frac{4\pi \times 14 \times 14 \times 10^{48}}{4\pi \times 10^{-100}} = 1.96 \times 10^{150}$$

این محاسبه نشان می‌دهد که نسبت بزرگنمایی اکنون، $۱/۹۶ \times ۱۰^{۱۵۰}$ برابرِ میزان لحظهٔ اول بیگ‌بنگ می‌باشد.



شکل ۱۴
بزرگنمایی کیهان امروزی نسبت به زمان اولیه کیهان

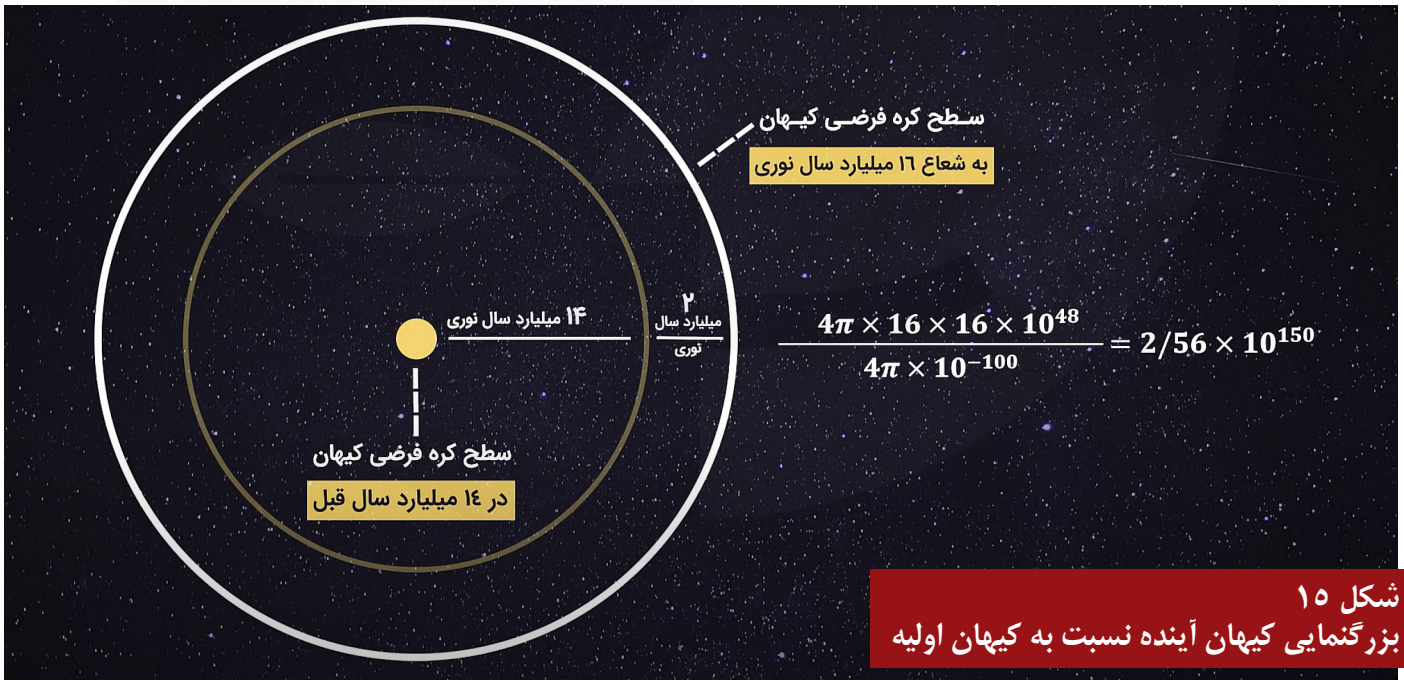
همچنین می‌توان محاسبه نمود که با گذشت دو میلیارد سال دیگر، میزان بزرگنمایی کیهان نسبت به آغاز آن از بیگ بنگ، چند برابر میزان کنونی خواهد شد. این مقدار برابر است با نسبت سطح کرهٔ فرضی کیهان به شعاع شانزده میلیارد سال نوری به سطح کره فرضی کیهان در چهارده میلیارد سال قبل. یعنی :

$$\frac{4\pi \times 16 \times 16 \times 10^{48}}{4\pi \times 10^{-100}} = 2.56 \times 10^{150}$$

که این محاسبه نشان‌دهندهٔ بزرگنمایی $۲/۵۶ \times ۱۰^{۱۵۰}$ برابر را نشان می‌دهد.

و یا میزان بزرگنمایی کیهان در دو میلیارد سال آینده نسبت به کیهان امروزی برابر است با:

$$\frac{4\pi \times 16 \times 16 \times 10^{18}}{4\pi \times 14 \times 14 \times 10^{18}} = 1.3$$



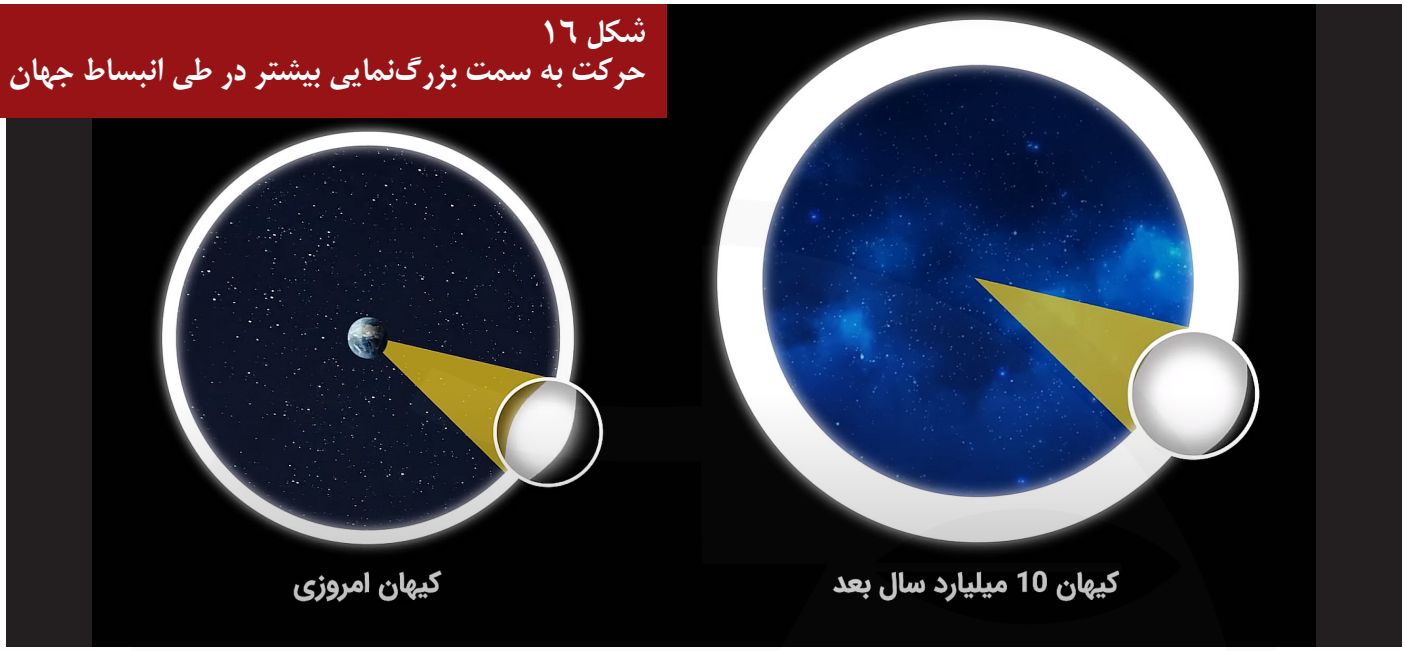
شکل ۱۵
بزرگنمایی کیهان آینده نسبت به کیهان اولیه

درکل می‌توان نتیجه گرفت که با گذشت زمان، کیهان بزرگنمایی شده و در طی انبساط، سطحِ مشاهدهٔ بیشتری روبروی ناظر قرار می‌گیرد. همچنین در این حجمِ بزرگنمایی شده، تراکم بیشتری از ماده مشاهده می‌شود. به عبارت دیگر، از دید ناظر روی زمین، کیهانِ امروزیِ ما در مقابل کیهانِ ده میلیارد سال پیش بزرگنمایی شده و حجم تراکمی ماده و انرژی بیشتری به نظر می‌رسد که وجود داشته باشد و ده میلیارد سال بعد هم بزرگنمایی آن بیشتر از امروز شده و این حجم مجددا افزایش پیدا خواهد کرد. در صورتی که میزان ماده و انرژیِ در کیهان از دیدگاه کیهان‌شناسان باید ثابت باشد. بنابراین کیهان‌شناسی شعوری بیان می‌کند که خود این امر

عاملی است که باعث می‌شود سرنوشت کیهان در مدل بیگ‌بنگ نامعلوم باقی بماند؛ بنابراین:

حرکت به سمت غلظت بزرگنمایی شده، به میزانِ بیشَ از میلیاردها برابر، دلیل دیگری برَ تظاهرات وارونه کیهانی است که بر اساس مدل بیگ‌بنگ به تصویر کشیده شده است.

شکل ۱۶
حرکت به سمت بزرگ‌نمایی بیشتر در طی انبساط جهان



دلیل ۵:

با توجه به نظریهٔ نسبیت، می‌توان گفت که هر جا که ماده باشد یعنی مقدار بسیار زیادی از انرژی درون آن محبوس شده است.[۲۰,۲۱] ازطرفی امواج الکترومغناطیسی موجود در فضا نیز بر حسب طول موجی که دارند نمایانگر میزانی از انرژی می‌باشند.[۲۲] با این حساب همان طور که در دلایل قبل بیان شد افزایش تراکم ماده در گسترهٔ دید ما نشان می‌دهد که انرژی ناشی از این اجرام با توجه به اضافه شدن حجم کیهان به میزان بسیار زیادی افزایش پیدا کرده است. در واقع هر لحظه با انبساط عالم، انرژی زایی ادامه داشته و با سرعت بسیار زیادی نیز به میزان آن افزوده می‌شود. درنتیجه، کیهان‌شناسی شعوری از زاویه‌ای دیگر برای مدل بیگ‌بنگ، طرح چالش کرده و بیان می‌کند که:

کیهانِ در حال انبساط از ۱۳/۸۴ میلیارد سالَ پیش تاکنون با گذر زمان، انرژی‌زایی ظاهری عظیمی داشته است که این مَوضوع نَیز یکی دیگر از دلایل رفتار وارونهٔ کیهان می‌باشد.

شکل ۱۷
انرژی زایی عظیم کیهان در روند انبساط

دلیل ٦:

مطابق دلیل پنجم، اگر فرض کنیم این انرژی آنگونه که بنظر می‌آید با گذر زمان ایجاد و گسترده شده است، یا باید صرفا یک انرژی پتانسیل باشد که فقط یک تصویر مجازی از آن در افق دید در پیش‌روی ماست و یا اینکه با یک انرژی جنبشی مواجه هستیم. به هر حال در هر دو حالت، ما به عنوان ناظر با رفتاری وارونه از کیهان روبرو می‌باشیم و برای هیچکدام از انواع این دو انرژی ظاهرا، توجیهی وجود ندارد؛ بنابراین از این دیدگاه :

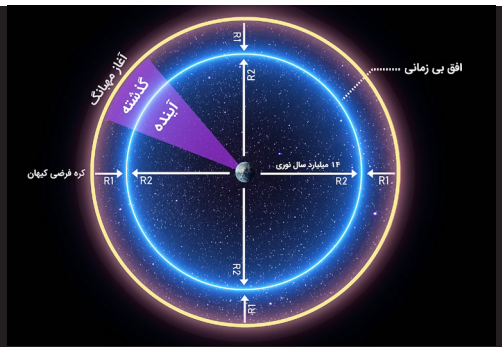
بالقوه بودن انرژی یا همان انرژی پتانسیل در افق دید و یا جنبشی یا فعال بودن آن، در هر دو حالت، دلیل دیگری برای وارونه بودن رفتار کیهان خواهد بود.

شکل ۱۸
پتانسیل یا جنبشی بودن انرژی موجود در کیهان

دلیل ۷:

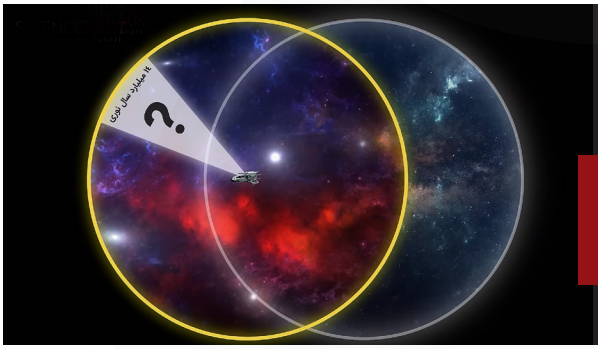
رفتار وارونهٔ دیگری که با توجه به تفاسیر مدل‌های ارائه شده از کیهان سر می‌زند، این است که اگر بر طبق مدل بیگ‌بنگ، در طی انبساط فضا در حین سفر از مرکزِ فرضیِ نقطهٔ آغازین کیهان به سمت منظومهٔ شمسی یا همان موقعیت فعلی ما، بردار زمانی رسم کنیم که نشان دهندهٔ گذشتهٔ کیهان تا زمان کنونی است و همچنین از منظومهٔ شمسی به سمت آیندهٔ انبساط کیهان همان بردار را ادامه دهیم، باید در روبروی خود با شرایطی که آیندهٔ جهان را پیش‌بینی می‌کند مواجه شویم و بتوانیم به راحتی سرنوشتی واضح برای کیهان پیش‌بینی کنیم؛ در صورتی که هر جایی از پیرامون خود را که رصد می‌کنیم، با گذشتهٔ این جهان، یعنی ۱۳/۸۴ میلیارد سال پیش مواجه می‌شویم. کیهان‌شناسی شعوری چالش خود را بدین صورت مطرح می‌کند که اگر بر فرض مثال، ما به عنوان ناظر به کهکشانی مابین کهکشان راه‌شیری و کهکشان‌های جوانِ دورانِ اولیه کیهان سفر کرده و از روی آن شروع به رصد کیهان کنیم، از یک سمت کهکشان‌های مسن‌تر از آن را مشاهده می‌کنیم و از سمت دیگرِ کهکشان‌های جوان‌تر مشاهده خواهد شد که این امر برای مدل بیگ‌بنگ‌ای که بیان می‌کند با مشاهدهٔ اعماق فضا گذشتهٔ کیهان را می‌بینیم، یک چالش به حساب می‌آید. به عبارتی این چنین به نظر می‌رسد که ما در مرکز کره‌ای قرار داریم که از همه جا در محاصرهٔ گذشته کیهان است و گویی در محور فضا-زمان، در این موقعیت فعلی، دورترین نقطهٔ دید ما به صورت ۳۶۰ درجه با شعاعِ یکسان، آثار اولیهٔ بیگ بنگ در فاصلهٔ ۱۳/۸۴ میلیارد سال نوری است. درست است که کیهان‌شناسی رایج این چالش را با اصل همسانگردی پاسخ می‌دهد،[۲۳] اما کیهان‌شناسی شعوری بیان می‌کند که:

اگر از زاویهٔ مدل بیگ‌بنگ به جهان بنگریم، هم اکنون جهت بردار زمان رو به آینده که از ما به هر سمتی گسیل می‌شود با جهتِ بردارِ زمان رو به گذشته که در محاصرهٔ آن قرار داریم، به طور فرضی در هم ادغام شده و جهت واقعی انبساط کیهان در فاصله‌ای از ما مفقود می‌شود. این امر منتهی به افق فرضی کروی شکلی با شعاع کمتر از ۱۳/۸۴ میلیارد سال نوری می‌شود که به اجبار منجر به وجود افقی به نام «افق بی‌زمانی» خواهد شد. در واقع در این شعاع، دیگر مشخص نخواهد بود که موقعیت ما در منظومهٔ شمسی در طی انبساط، به سمت آینده کیهان است و یا به سمت گذشتهٔ آن. در نتیجه، از دیدگاه کیهان شناسی شعوری نامشخص بودن سمت و سوی اصلی، دلیل دیگری بر تظاهرات وارونهٔ کیهان می‌باشد.



شکل ۱۹
وجود افق بی‌زمانی از دیدگاه کیهان‌شناسی شعوری با توجه به تفاسیر مدل بیگ بنگ از کیهان

سوال دیگری که مطرح می‌شود این است که اگر بتوانیم ده میلیارد سال نوری از زمین فاصله بگیریم، آیا در آنجا نیز اندازه‌گیری‌ها از همه طرف، نشان دهندهٔ گذشتهٔ کیهان با فاصلهٔ ۱۳/۸۴ میلیارد سال نوری خواهد بود؟ به عبارتی اصل همسانگردی که با توجه یافته‌های اخیر به چالش کشیده شده است، [۲۴,۲۵,۲۶,۲۷,۲۸] در آن فاصله نیز صادق خواهد بود؟



شکل ۲۰
نامعلوم بودن برقراری اصل همسانگردی برای ناظری که در فواصل بسیار دور از زمین این اصل را مورد سنجش قرار می‌دهد.

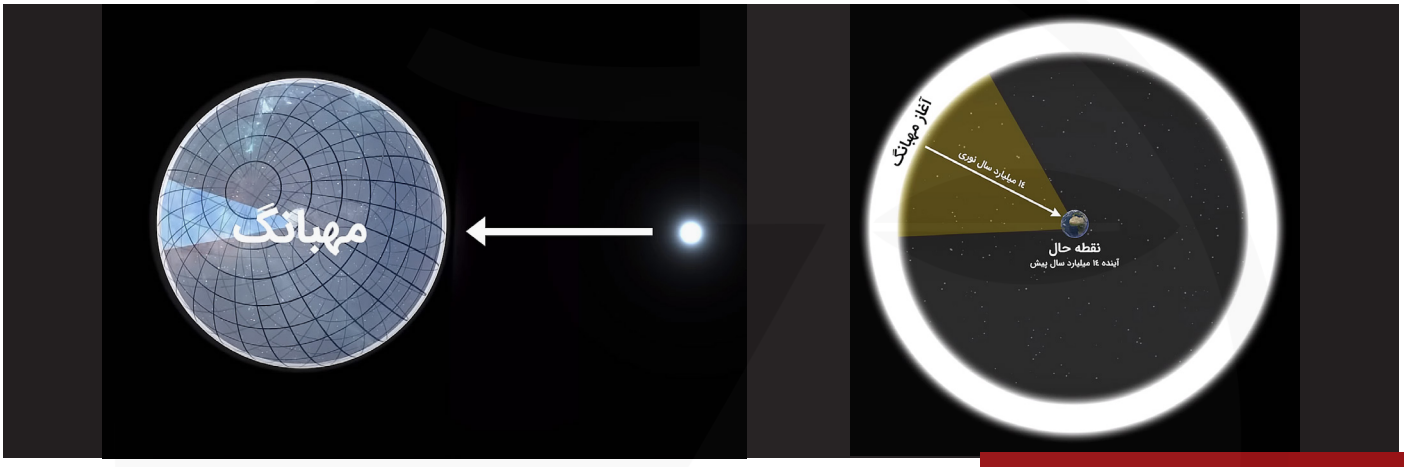
دلیل ۸ :

همان طور که قبلا بیان شد مطابق نظریهٔ بیگ‌بنگ، جهان از نقطهٔ بسیار کوچک، بعد از انفجار بزرگ شروع به افزایش حجم کرده که همچنان همانند یک بادکنک در حال انبساط است. به عبارتی طبق این مدل، فضا-زمان چهاربعدی به سطح بادکنک در حال دمیده شدن تشبیه شده است که فاصلهٔ متریک بین اجرام در روی این سطح، مدام در حال افزایش است. (شایان ذکر است که سطح بادکنک به صورت دوبعدی است، اما فضا-زمان، چهاربُعدی بوده و بسیار پیچیده‌تر از این مقایسه می‌باشد). به عبارتی با توجه به حجم فعلی کیهان، اگر ناظری اعماق فضا را رصد کند نقطهٔ بیگ بنگ، قابل مشاهده نخواهد بود. چون از دیدگاه کیهان‌شناسان بیگ‌بنگ به عنوان لحظه‌ای در زمان مدنظر واقع می‌شود نه مکانی در فضا. [۱۸,۱۹]

شکل ۲۱
قیاس بادکنک برای توضیح انبساط کیهان

حال با توجه با این مدل، کیهان‌شناسی شعوری این موضوع را مطرح می‌کند که اگر چنین فرض کنیم که کیهان از نقطهٔ کوچکی شروع به انبساط کرده و اجرام ایجاد شدهٔ درون کیهان در سطوح بزرگتری توزیع شده‌اند، چطور ممکن است آنچه که در دورترین افق دید کیهان‌شناسان رصد می‌شود، یک نقطهٔ کوچک نباشد، بلکه کیهان عظیمی با سن ۱۳/۸۴ میلیارد سال باشد که هم اکنون ما، در موقعیتی از آن قرار داریم که آیندهٔ ۱۳/۸۴ میلیارد سال پس از وقوع بیگ‌بنگ است؟ از طرفی چگونه ممکن است مابین فاصلهٔ آن نقطهٔ بسیار کوچک و موقعیت فعلی ما شرایطی پیش بیاید که وقتی در مورد گذشتهٔ کیهان صحبت میکنیم صرفا لحظه‌ای در زمان مد نظر باشد نه مکانی در فضا؟ [۱۸،۱۹] به بیانی کیهان‌شناسی شعوری هندسهٔ مدنظر مدل بیگ‌بنگ را به چالش می‌کشد و اظهار می‌دارد که :

تغییر هندسهٔ نقطهٔ انفجار از یک اندازهٔ بسیار کوچک تا سطحی عظیم و عدم وجود نقطهٔ مکانی آغاز جهان و یا زمانی تفسیر کردن آن با توجه به مدل بیگ‌بنگ، دلیل دیگری بر تظاهرات وارونهٔ کیهان است.

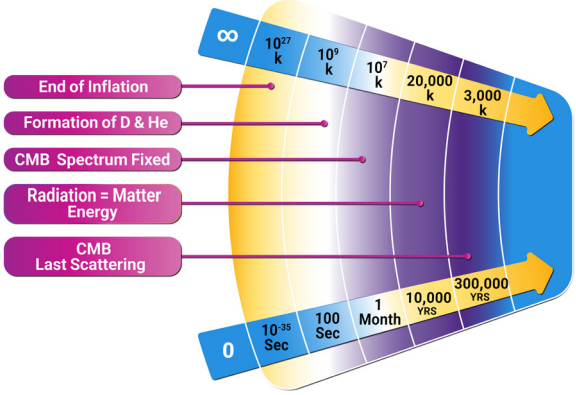


شکل ۲۲
چپ: نقطهٔ اولیه بیگ‌بنگ (مهبانگ).
راست: تغییر هندسهٔ کیهان از نقطهٔ بسیار کوچک تا سطحی بسیار عظیم

دلیل ۹:

اگر طبق نظریهٔ بیگ‌بنگ نمودار تغییرات دمایی کیهان را بررسی کنیم، متوجه می‌شویم که دمای لحظات ابتدایی کیهان در حدود 10^{27} کلوین بوده است که به تدریج با انبساط کیهان، رو به کاهش بوده تا اینکه ۳۸۰ هزار سال بعد، به سه هزار کلوین می‌رسد.[۲۹]

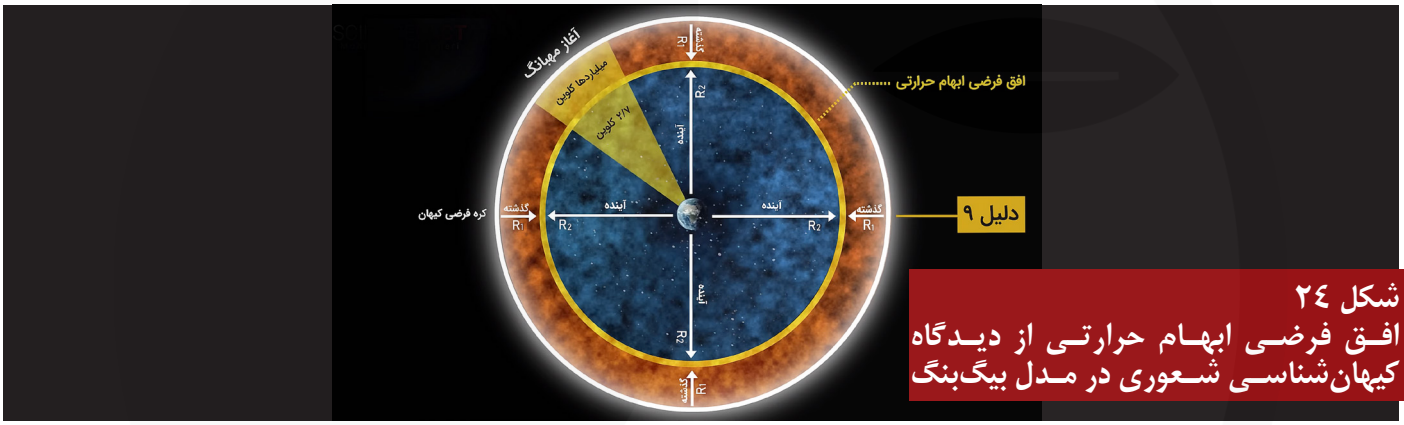
به همین ترتیب، با گذشت زمان و انبساط فضا، دمای کیهان کاهش می‌یابد تا اینکه امروزه به ۲/۷ کلوین رسیده است. بنابراین طبق مدل بیگ‌بنگ، هنگامی که در انتهای افق دید به ۱۳/۸۴ میلیارد سال پیش نگاه می‌کنیم، در واقع به گذشتهٔ جهان و لحظات ابتدایی بیگ‌بنگ می‌نگریم که دما در بیشترین مقدار خود بوده است و هنگامی که به پیرامون کرهٔ زمین و کهکشان‌های محلی نگاه می‌کنیم، دما بسیار پایین آمده است. با توجه به این موضوع کیهان‌شناسی شعوری، استدلال دیگری را مبنی بر وارونه بودن رفتار کیهان بیان می‌کند. بدین صورت که:



شکل ۲۳
نمودار تغییرات دما از آغاز بیگ بنگ تا ۳۰۰ هزار سال بعد از تولد

اگـر بخواهیـم طبـق تفاسـیری کـه مطابـق مـدل بیگ‌بنـگ ارائـه شـده بـه کیهـان بنگریـم و یـک بـردار دمایـی بـرای آن در نظر بگیریـم، متوجـه می‌شـویم کـه از یک‌سـو طـی رونـد انبسـاط، بـردار دمایـی رو بـه آینـده یـا همـان بـرداری که بـه شـعاع R_2، از زمیـن بـه هـر سـمتی از اعمـاق فضا کشـیده می‌شـود، رو بـه سـردی مـی‌رود و از سـوی دیگـر بـردار دمایـی ناشـی از انفجـار بـزرگ کـه در محاصـرهٔ ۳۶۰ درجـه‌ای آن قـرار داریـم از زیـاد بـه کـم بـه سـمت مـا گسـیل می‌شـود. در واقـع ایـن دو بـردار دمایـی در یـک افقـی فرضـی بـا یکدیگـر ادغـام می‌شـوند کـه کیهان‌شناسـی شـعوری آن را «افـق فرضـی ابهـام حرارتـی» می‌نامـد. در ایـن افـق فرضـی، بـرداری کـه آینـدهٔ دمایـی را نشـان می‌دهـد و بـه مـرز ایـن افـق می‌رسـد، دارای دمایـی حداکثـری ۲/۷ کلویـن بـوده و در عیـن حـال بـردار دمایـی کـه در محاصـرهٔ آن قـرار گرفته‌ایـم کـه بـه مـرز ایـن افـق می‌رسـد، چندیـن میلیـارد کلویـن می‌باشـد.

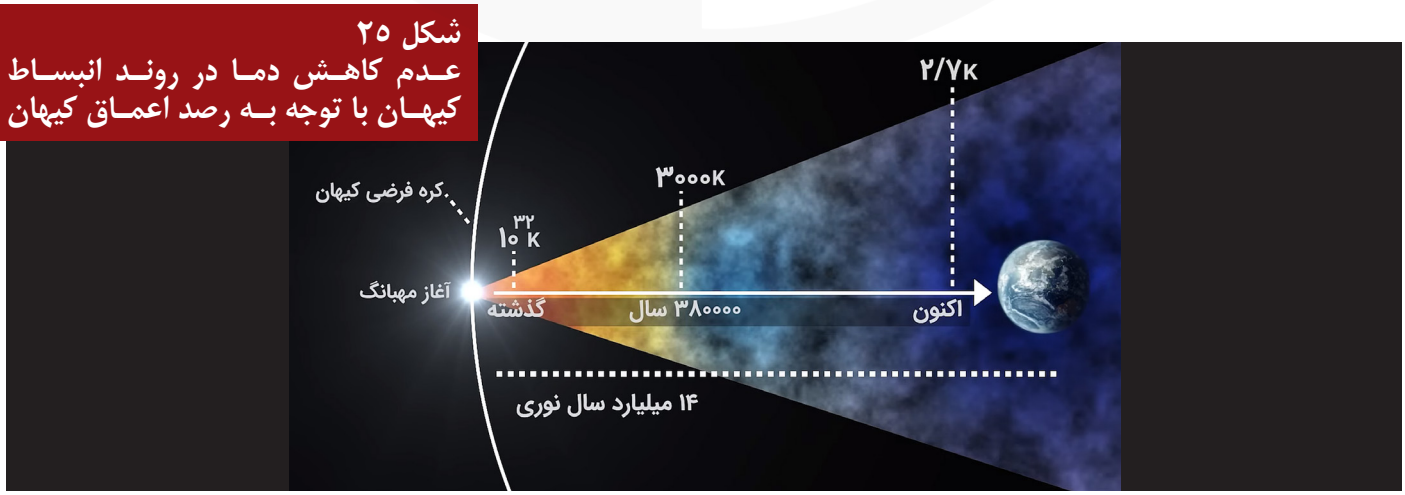
درنتیجـه، کیهان‌شناسـی شـعوری بیـان می‌کنـد کـه اگـر رفتـار کیهـان را طبـق مـدل بیگ‌بنـگ تفسـیر کنیـم، ایـن افـق فرضـی، فضایـی خواهـد بـود کـه میـزان حـرارت در آنجـا دچـار نوعـی عـدم قطعیـت می‌باشـد و درجـهٔ حـرارت ایـن افـق چقـدر خواهـد بـود؟ معلـوم نیسـت. بنابرایـن وجـود افـق ابهـام حرارتـی، دلیلـی دیگـر بـر تظاهـرات وارونـهٔ کیهـان تلقـی می‌شـود.



شکل ۲۴
افـق فرضـی ابهـام حرارتـی از دیـدگاه کیهان‌شناسـی شـعوری در مـدل بیگ‌بنگ

دلیل ۱۰:

همـان طـور کـه در دلیـل نهـم بیـان شـد، اگـر بـه عنـوان ناظـر در امتـداد شـعاع دیـد خـود بخواهیـم جهـت آینـده و گسـترش کیهـان را طبـق سرنوشـت‌هایی کـه در کیهان‌شناسـی مـدرن بـرای کیهـانِ تخـت یـا بـاز مدنظـر قـرار می‌دهنـد مشـاهده کنیـم، لازم اسـت کـه در هـر دو نـوع مـدل بـا کاهـش دمـا از ۲/۷ کلویـن بـه سـمت صفـر مطلـق روبـرو شـویم و تنهـا در مـدل جهـان بسـته بـا افزایـش تدریجـی دمـا مواجـه خواهیـم شـد؛ امـا برخـلاف انتظارمـان در حـال حاضـر بـا توجـه بـه رصـد دورتریـن فاصلـه از هـر سـمت کیهـان، مشـاهده می‌کنیـم کـه در محاصـره دمایـی معـادل چندیـن میلیـارد کلویـن قـرار گرفته‌ایـم و بـا اینکـه کیهـان در حـال انبسـاط اسـت، ایـن دمـا همچنـان باقـی اسـت. از دیـدگاه کیهـان شناسـی شـعوری همیـن موضـوع دلیلـی دیگـر بـر تظاهـرات وارونـهٔ کیهـان می‌باشـد.



شکل ۲۵
عـدم کاهـش دمـا در رونـد انبسـاط کیهـان با توجه بـه رصد اعمـاق کیهان

در کل با دلایلی که تحت عنوان کیهان وارونه مطرح شد، چنین بنظر می‌رسد که تفاسیر مدل بیگ‌بنگ در کیهان‌شناسی رایج، منجر به تظاهرات وارونهٔ کیهان برای ما شده و سوالات بسیار زیادی را بی‌پاسخ نگه می‌دارد. به طوری که برای پذیرفتن این مدل نیاز به مطرح کردن نظریات ریاضی مختلفی همچون نظریهٔ پذیرفته شدهٔ تورم است که با رفتار فعلی کیهان فاصلهٔ زیادی دارد.

از این رو کیهان‌شناسی شعوری با معرفی مدل جدیدی از کیهان به نام «کیهان کروی»، فرضیاتی را مطرح می‌کند که این فرضیات می‌تواند مورد بررسی کیهان‌شناسان قرار گرفته و به چالش‌هایی که در مورد رفتار کیهان پیش می‌آید پاسخی داشته باشد.

منابع

[1] Durrer, R. (2020). *The Cosmic Microwave Background* (2nd ed.). Cambridge: Cambridge University Press.

[2] Saadeh, D., Feeney, S. M., Pontzen, A., Peiris, H. V., & McEwen, J. D. (2016). How isotropic is the Universe? *Physical Review Letters*, *117*(13), 131302.

[3] Clifton, T., Clarkson, C., & Bull, P. (2012). Isotropic Blackbody Cosmic Microwave Background Radiation as Evidence for a Homogeneous Universe. *Physical Review Letters, 109*(5), 051303.

[4] Vavryčuk, V. (2022). Cosmological Redshift and Cosmic Time Dilation in the FLRW Metric. *Frontiers in Physics, 10*, 826188.

[5] Bunn, E. F. & Hogg, D. W. (2009). The Kinematic Origin of the Cosmological Redshift. *American Journal of Physics*, 77, 688-694.

[6] Lineweaver, C. H., & Davis, T. M. (2005). Misconceptions about the Big Bang. *Scientific American*, *292*(3), 36-45.

[7] Arp, H. C. (1998). *Seeing Red: Redshifts, Cosmology and Academic Science*. Montreal: Apeiron.

[8] Pasachoff, J. M., & Filippenko, A. (2019). *The Cosmos: Astronomy in the New Millennium*(5thed.). Cambridge: Cambridge University Press.

[9] Lewis, G.F. (2016). On The Relativity of Redshifts: Does Space Really “Expand”? *arXiv,* arXiv:1605.08634.

[10] Achúcarro, A., Biagetti, M., Braglia, M., Cabass, G., Caldwell, R., Castorina, E., Chen, X., Coulton, W., Flauger, R., Fumagalli, J., Ivanov, M.M., Lee, H., Maleknejad, A., Meerburg, P.D., Moradinezhad Dizgah, A., Palma, G.A., Pimentel, G.L., Renaux-Petel, S., Wallisch, B., Wandelt, B.D., Witkowski, L.T., & Wu, W.L.K. (2022). Inflation: Theory and Observations. *arXiv*, arXiv:2203.08128.

[11] Cheng, T. (2015). *Inflation and the Accelerating Universe*. Oxford: Oxford Academy.

[12] Peacock, J.A. (2008). A Diatribe on Expanding Space. *arXiv*, arXiv:0809.4573.

[13] Freedman, W. L., & Guth, A. H. (Eds.). (2004). Inflation. In *Carnegie Observatories Astrophysics Series*, Vol. 2, *Measuring and Modeling the Universe*. Cambridge: Cambridge University Press.

[14] Brian Albert, R. (2019). Introductory Chapter: Standard Model of Cosmology. In R. Brian Albert (Ed.), *Redefining Standard Model Cosmology* (pp. Ch. 1). Rijeka: IntechOpen.

[15] Eicher, D. J. (2015). *The New Cosmos: Answering Astronomy's Big Questions*. Cambridge: Cambridge University Press.

[16] Scott, D. (2018). The Standard Model of Cosmology: A Skeptic's Guide. *arXiv*, arXiv:1804.01318.

[17] Li, X., Wang, S., Huang, Q., Zhang, X., & Li, M. (2012). Dark Energy and Fate of the Universe. *arXiv*, arXiv:1202.4060.

[18] Coble, K., McLin, K., & Cominsky, L. (2013). Big Ideas in Cosmology. *arXiv*, arXiv:1303.1768.

[19] Siegel, E. (2023, October 27). *How did the Universe truly begin?* Big Think. https://bigthink.com/starts-with-a-bang/how-universe-truly-begin/

[20] Rahaman, F. (2013). *The Special Theory of Relativity: A Mathematical Approach*. SpringerLink.

[21] Takeuchi, T. (2010). *An Illustrated Guide to Relativity*. Cambridge: Cambridge University Press.

[22] OpenStax. (December 11, 2023). Energy and Power of a Wave. In *University Physics - Mechanics, Sound, Oscillations, and Waves*. Physics LibreTexts.

[23] Peacock, J. (1998). The Isotropic Universe. In *Cosmological Physics* (pp. 65-100). Cambridge: Cambridge University Press.

[24] Jones, J., Copi, C. J., Starkman, G. D., & Akrami, Y. (2023). The Universe is not statistically isotropic. *arXiv*, arXiv:2310.12859.

[25] Ó Colgáin, E. (November 22, 2023). *What is the shape of the universe?* Silicon Republic. https://www.siliconrepublic.com/innovation/what-is-the-shape-of-universe-eoin-o-colgain-study-isotropic

[26] News Staff. (2020, April 9). *Universe is Anisotropic on Large Scales, New Study Suggests*. News Staff. https://www.sci.news/astronomy/anisotropic-universe-08312.html

[27] NASA. (2020, April 7). *Universe's Expansion May Not Be The Same In All Directions*. NASA. https://www.nasa.gov/universe/universes-expansion-may-not-be-the-same-in-all-directions/

[28] Koberlein, B. (2020, April 9). *New observations show that the Universe might not be expanding at the same rate in all directions*. Universe Today. https://www.universetoday.com/145605/new-observations-show-that-the-universe-might-not-be-expanding-at-the-same-rate-in-all-directions/

[29] Coble, K., McLin, K., & Cominsky, L. (n.d.). The Friedmann Equation and the Fate of the Universe. In *Big Ideas in Cosmology*. San Francisco State University, Chico State University, & Sonoma State University. Physics LibreTexts.