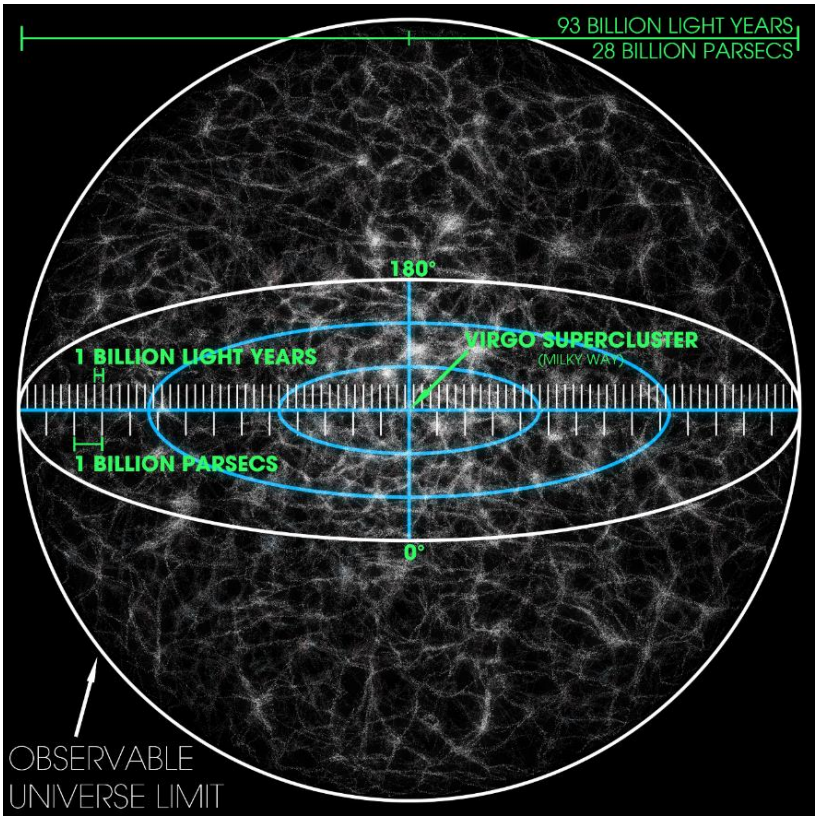
دکتر حسن بلوری

برلین، ۲۰۲۴/۱۲/۰۷

مسائلِ بزرگِ جهانِ هستی

آیندهٔ کیهانِ در حالِ گسترش



The big problems of the universe: Future of an expanding universe

"A simulated view of the entire observable universe", approximately 93 billion light years (or 28.5 billion parsecs) in diameter.[1]

کیهان از زمانِ مِهبانگ مدام در حال گسترش است. آیا این روند همچنان ادامه خواهد داشت؟ در این‌صورت آیا زمانی خواهد رسید که بخشِ عمدهٔ کیهان برای همیشه غیرقابل مشاهده باشد؟

فشرده

مشاهدات نشان می‌دهند که کیهان نه تنها از زمان مهبانگ همواره در حال گسترش بوده بلکه از نیمه دوم عمر خود به این سو با شتاب بیشتری گسترش می‌یابد. همزمان با گسترش کیهان دمای آن مدام کاهش یافته و به‌طور مجانبی به دمای صفر مطلق، صفر کلوین یا به اصطلاح 'مرگِ گرمایی' نزدیک می‌شود. البته شاید کیهان در مرحله‌ای از انبساط به دلایلی از جمله به دلیل نوسانات کوانتومی شروع به انقباض کند و در طول این روند بار دیگر به مرحله‌ی مِهبانگ، دور از تکینگی[2]، برسد و یا همچنان به انبساط خود ادامه دهد. سناریوهایی از این نوع را می‌توان برای آینده کیهان تصور کرد.

با گسترش کیهان، افق کیهانی مدام در حال دور شدن از ما است. در نتیجه امکان دارد در زمان‌های دورِ آینده بخش عمده‌ی کیهان غیرقابل مشاهده باشد. به این معنا که منجمان در أینده‌ی دور فقط قادر به مشاهده‌ی گروهی از کهکشان‌های محلی از جمله کهکشان راه شیری باشند و نه بیشتر! در این‌صورت آنان برای مطلع شدن از کیهانِ پیش‌تر موجود، به شکلی که اکنون قابل ملاحظه است، نیاز به بررسی و مطالعه آثار بجامانده (؟) از این دوران خواهند داشت.

در این مقاله می‌خواهیم نمای احتمالی آینده کیهان را در رابطه با افق کیهانی بر اساس داده‌ها و دانش موجود و با فرض ادامه انبساط کیهان بررسی و توضیح دهیم که منجمان در آینده‌ی دور کیهان را در چه شکلی و حالتی مشاهده خواهند کرد.

پیشگفتار

این مقاله آخرین سری از یک سلسله مقالات در باره‌ی 'مسائلِ بزرگِ جهانِ هستی' است که با مقاله‌ی 'پیش از مهبانگ چه بود؟'[۳] شروع کردیم و اکنون به مقاله‌ی پیش‌رو، یعنی 'آیندهٔ کیهانِ در حالِ گسترش' رسیدیم. در فاصله این دو مقاله در ۶مقاله به موضوعاتی پرداختیم که به ترتیب عبارت بودند از: 'عدم وجود زمان'[۴]، 'لحظهِ آغازِ کیهان'[۵]، 'منشاءِ و چیستی انرژی'[۶]، 'منشاءِ و چیستیِ جِرم'[۷]، 'منشاءِ و چیستیِ مادّهِ تاریک'[۸] و 'منشاءِ و چیستیِ انرژیِ تاریک'[۹].

در بارهٔ مفهوم افقِ کیهانی

گفتیم که کیهان از زمان مهبانگ همواره در حال گسترش بوده است و در حال حاضر با سرعت بیشتری انبساط می‌یابد. نرخ انبساط کیهان محدود و قابل سنجش است. "کیهان مرز بیرونی ندارد، صرف‌نظر از این‌که اندازه آن محدود یا نامحدود باشد. مشاهده‌ی کیهان از هز نقطه‌ای از آن محدود به *افق کیهانی* آن مکان، حاصل از سرعت نور در خلاء است."[۱۰] اما ما در این‌جا از مفهوم افق کیهانی به‌عنوان یک مفهوم، یک مشخصه، مشترک برای کل کیهان استفاده می‌کنیم.

افق کیهانی همسو با انبساط کیهان در حال دور شدن از ما می‌باشد. گاهی صحبت از کشف ابژکتی در "لبه" کیهان است. منظور از "لبه" کیهان همان افق کیهانی است و نه چیزی فراتر از آن. چراکه ما نمی‌توانیم چیزی فراتر از افق کیهانی را مشاهده کنیم. در عین حال افق کیهانی را نباید به مثابه یک مرز فیزیکی تلقی کرد. در واقع افق کیهانی دورترین بخشِ کیهان است که از آن اطلاعاتی به ما می‌رسد. البته شاید بتوان در آینده با شناخت و دانش کافی از داده‌ها در باره‌ی کیهانِ قابلِ مشاهده به‌طور نظری از بخش‌هایی فراتر از افق کیهانی شناخت پیدا کرد. به اصطلاح بخش‌هایی از کیهان غیرقابل مشاهده را "دید".

برای "دیدن" بخش‌هایی از کیهانِ غیرقابل مشاهده از جمله لازم است از دو کمیت بزرگ کیهان، یعنی ماده تاریک[۸] و انرژی تاریک[۹] که در مجموع حدود ۹۵٪ کیهان را تشکیل می‌دهند و همچنین از 'پارامتر هابل' که انبساط کیهان و سرعت انبساط آن را توصیف می‌کند و مسئلهٔ یکسان بودن یا نبودن انبساط کیهان در جهات مختلف آن شناخت کافی داشت.

فاصله‌ی افق کیهانی را می‌توان با فرض همسانگرد[۱۱] بودن کیهان تقریبن در همه‌ی جهات یکسان دانست. در عین حال لازم است بدانیم که این فاصله اشاره به یک مرز فیزیکیِ ناشی از سرعت نور که زمان کافی تا رسیدن به ما داشته است را دارد. به عبارت دیگر، ما ابژکت‌ها و رخدادهایی را که فراتر از مرز فیزیکی قرار دارند یا رخ می‌دهند مشاهده نمی‌کنیم. به این دلیل که نور آنها برای طی فاصله‌ی بیشتر به زمان بیشتر نیاز دارد.

برای درک بهتر مفهوم افق کیهانی سعی می‌کنیم آن را با یک مثال ساده روشن کنیم. با عِلم به این‌که وضعیت در افق کیهانی به‌مراتب پیچیده‌تر است:

تصور کنیم، ما در یک روز مه‌آلود چگال (غلیظ) در قایقی در یک اقیانوس بزرگ رها شده باشیم و می‌خواهیم از دورترها مطلع شویم. آیا این خواست ما عملی می‌باشد؟ به‌نظر پاسخ منفی است. چراکه ما، با فرض چشم‌پوشی از هر گونه اطلاع قبلی از محیط، توان دیدن ابژکت‌های دورتر از یک فاصله معین را نداریم. در واقع ما در این‌جا با پدیده‌ای به نام 'افق' روبرو هستیم. این مثال تا حدودی نشان می‌دهد که نمی‌توان از بود و یا نبود چیزی فراتر از افق دید با خبر شد. مشابه این وضع را می‌توان در مورد افق کیهانی تصور کرد. با این حال، همان‌گونه که پیش‌تر گفتیم شاید بشود روزی با داده‌ها و دانش کافی، استفاده از ابزار لازم و نظریه‌های پیش‌رفته‌تر مانند نظریه امواج گرانشی از بعضی بخش‌های کیهان فراتر از افق کیهانی مطلع شد.

مشابه وضع توصیف شده در مورد سیاه‌چاله‌ها[۲] صادق است. در این‌جا نیز به علت آن‌که سیاه‌چاله‌ها نوری از خود منتشر (ساطع) نمی‌کنند امکان ملاحظه فراتر از افق رویداد آنها وجود ندارد.

لازم به ذکر است که مشاهده‌ی ابژکت‌ها یا رخدادهای کیهانی همواره مشاهده‌ای است به زمان گذشته و نه حالِ آنها. برای مثال، فاصله‌ی زمان بین یک رخداد کیهانی و مشاهده آن از جانب ما تابع فاصله مکان رخداد از ما و سرعت انتشار نور که می‌دانیم ثابت است می‌باشد. فاصله‌ی رخداد از ما می‌تواند نزدیک و یا بسیار دور باشد. برای مثال، میلیاردها سال پیش ابرنواختری رخ داده و ما اکنون از آن مطلع شدیم. بی‌تردید در این فاصله زمانی تحولاتی در آن پدیده رخ داده است که در حال حاضر ما از آن بی‌اطلاع هستیم. یک مثال ساده: ما نور خورشید را همواره پس از حدود ۸ دقیقه مشاهده می‌کنیم. حال اگر خورشید به هر دلیلی در یک آن "خاموش" شود ما نور آن را تا نزدیک ۸ دقیقه پس از خاموشی خواهیم داشت. چرا که نور منتشر شده از خورشید برای طی فاصله خورشید ـ زمین نیاز به حدود ۸ دقیقه زمان دارد.

توضیحات ارائه شده نشان می‌دهد، یکی از پرسش‌های جالب علمی اینست که تا چه میزان می‌توان از جهان هستی اطلاع حاصل کرد؟ پاسخ این پرسش در درجه نخست تابع زمان یا دورانی است که کیهان را مشاهده می‌کنیم: در زمان‌های دور گذشته، در حال حاضر یا در آینده‌ی دور؟ در هر یک از این دوران‌ها امکان مشاهده‌ی ابژکت‌ها و رخدادهای زیاد یا به

نسبت کمتر در کیهان را داریم. کیهان در دوران‌های گذشته، متناسب با گستردگی‌اش افق کیهانی کوچک‌تر و نزدیک‌تری نسبت به حال حاضر داشته است. اما با گذشت زمان و انبساط کیهان، افق کیهانی نیز مدام توسعه یافته و دورتر رفته است و در آینده باز هم دورتر خواهد رفت. در نتیجه آنچه در کیهان در دوران‌های مختلف می‌توان دید تابع گسترش کیهان، نزدیک و دور بودن افق کیهانی است. به‌همین علت منجمان در آینده‌ی دور، کیهانی را که ما اکنون شاهد هستیم مشاهده نخواهند کرد.

فرم‌های احتمالی کیهان

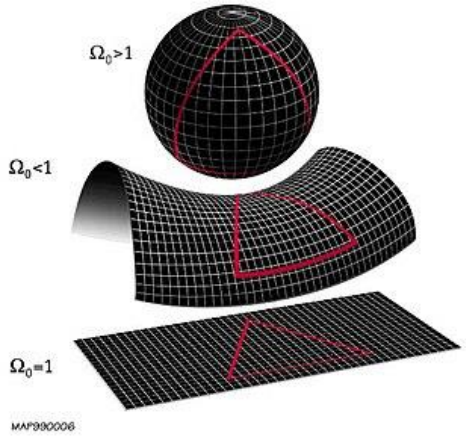
گفتیم که کیهان در حال حاضر با سرعت بیشتری نسبت به نیمه اول عمر خود در حال انبساط است. این به‌معنای آن نیز هست که افق کیهانی مدام با سرعت بیشتری در حال دور شدن از ما می‌باشد. حال می‌پرسیم، آیا این روند به‌همین شیوه ادامه خواهد یافت؟

در این‌باره اظهار نظرهای متفاوتی وجود دارد. دانشمندانی معتقدند از نظر 'کیهان‌شناسی میدانِ اسکالر' سرعت انبساط کیهان در آینده کاهش خواهد یافت. در مقابل، هستند دانشمندانی که باور دارند انرژی تاریک اجازه کاهش سرعت انبساط کیهان را نمی‌دهد. گروه دیگری نیز بر این نظر هستند که کیهان تا 'مرگ گرمایی' انبساط خواهد یافت و شاید هم در مرحله‌ای از انبساط بر اثر نوسانات کوانتومی[۱۱] پروسه انقباض را پیش‌گیرد. دیدگاه‌هایی این چنین ضد و نقیض بیانگر آن است که پیش‌بینی آیندهٔ کیهان به سادگی میسر نیست. پیش‌تر گفتیم، سناریوهایی مختلفی برای آینده کیهان مطرح هستند. اما برای هیچ یک از آنها، حداقل در حال حاضر، امکان راستی آزمایی وجود ندارد.

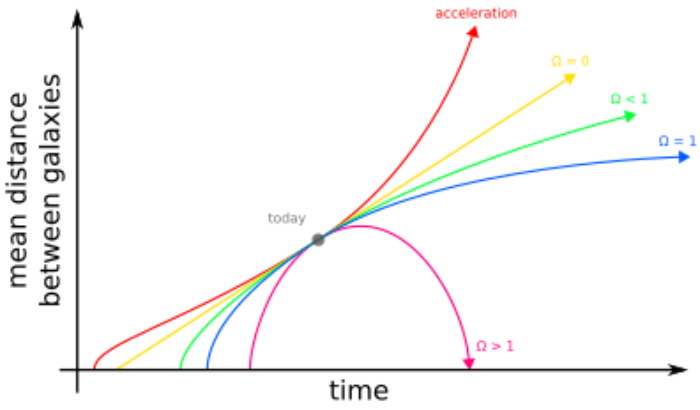
ناگفته روشن است که لازمه‌ی پیش‌بینی آینده‌ی کیهان، شناخت درست از منشاء و گذشته آن، کمیت‌ها، مکانیسم‌ها، پروسه‌های گوناگونِ جاری در آن، نرخ سرعت انبساط و فاصله افق کیهانی در دوران‌های مختلف است. با این حال، شاید بتوان با شناخت کافی از این مسائل و استفاده از ابزارهای پژوهشی پیش‌رفته و نظریه‌های توسعه یافته‌تر، آینده‌ی کیهان را تا حدودی پیش‌بینی کرد و گفت: منجمان در آینده‌ی دور کیهان را در چه شکل و حالتی مشاهده خواهند کرد. در مقاله[۸] در باره‌ی فرم‌های احتمالی کیهان می‌خوانیم:

"هندسه، توسعه و دینامیک کیهان تابع پارامترچگالی اجرام و انرژی‌های مختلف موجود در کیهان است. پارامترچگالی برابر است با نسبت 'چگالی نسبی کیهان ρ' به 'چگالی بحرانی ρ_c' ($\Omega = \frac{\rho}{\rho_c}$) ـ کمیتی است بدون بُعد. در واقع پارامترچگالی معیاری است برای سنجش ثبات کل کیهان. برای پارامترچگالی می‌توان ۳ حالت را تصور کرد: مساوی با ۱ ، بزرگتر از ۱ و کوچکتر از ۱.

در حالت اول، کیهان تخت (صاف، مسطح) و پایدار، در حالت دوم رو به انقباض و در حالت سوم رو به انبساط است (تصویر۲و۳). پارامترچگالی را می‌توان برای مثال از طریق مشاهده‌ی نوسانات دمای پس‌زمینه کیهانی[۱۲] تعیین کرد. یافته‌ها بیان از مطابقت چگالی متوسط کیهان با چگالی بحرانی دارند (مسئله تخت بودن کیهان).



تصویر۳: هندسه کلی کیهان تابع پارامترچگالی Ω.[۱۴] است.



تصویر۲: انبساط کیهان بستگی به چگالی کیهان دارد.[۱۳]

در کیهان‌شناسی 'چگالی بحرانی ρ_c' به چگالی‌ای از ماده گفته می‌شود که نیروی گرانشی حاکم در کیهان توان کافی برای به نزدیک به صفر رساندن سرعت انبساط کیهان را دارد. این چگالی برابر است با حدود $۱۰^{-۲۶}$ کیلوگرم در هر مترمکعب. به عبارت دیگر، چگالی بحرانی تقریبی برابر است با ۶ پرتون در هر مترمکعب فضای کیهان."[۸]

در حالت اول، یعنی در کیهانِ تخت و پایدار، نرخ انبساط رو به کاهش دارد بی‌آنکه منتهی به صفر شود. شواهد به دست

آمده تاکنون نشان از تخت بودن کیهان دارند. در حالت دوم، یعنی در کیهان رو به انقباض، انبساط کیهان زمانی متوقف و روند معکوس پیش خواهد گرفت و این پروسه را تا رسیدن به مرحله مهبانگِ دیگر ادامه خواهد داد. در حالت سوم، یعنی در کیهان رو به انبساط، کیهان بی‌وقفه گسترش می‌یابد.

مشاهدات و اندازه‌گیری‌های امواج الکترومغناطیسی (انتقال به سرخ)، عمر کیهان را حدود ۱۳٫۸۲ میلیارد سال نشان می‌دهند. ما در این مقاله قصد تشریح تاریخ کیهان را نداریم. زیرا به این مطلب در مقاله[۱۵] تحت عنوان 'مهبانگ و پیدایش کیهان' پرداخته‌ایم. از این‌رو در زیر فقط کیهان و افق کیهانی را در ارتباط با سرعت انبساط کیهان در سه دوران بررسی می‌کنیم. این سه دوران عبارتند از: ۱. کیهان از زمان مهبانگ تا آزاد شدن نور، ۲. کیهان پس از آزاد شدن نور تاکنون و ۳. کیهان در زمان‌های دورِ آینده.

کیهان از زمان مهبانگ تا آزاد شدن نور

پیش از ورود به تشریح این دوران لازم است بگوییم، منظور از مهبانگ چیست. در این‌باره در مقاله[۱۵] می‌خوانیم:

"نخست لازم است بدانیم به چه‌چیز مهبانگ گفته نمی‌شود و یا چه چیزی معنای مهبانگ را ندارد. بی‌شک آنچه مهبانگ نیست و یا معنای مهبانگ را ندارد، انفجار بزرگ در یک فضای موجود است. درک این مطلب برای برداشت صحیح از مفهوم مهبانگ، پرسش‌ها و نتیجه‌گیری‌ها از آن بسیار پراهمیت است.

مهبانگ لحظه‌ی پیدایش فضازمان و ماده و پادماده، آغاز کیهان، پیدایش کیهان است. به این معنا که مهبانگ "روزماقبل" نمی‌شناسد. پیدایش کیهان از یک به اصطلاح 'تکینگی' و یا از 'خلاء کوانتومی'، از 'هیچِ کوانتومی' تصور می‌شود. چرایی و چگونگی وقوع مهبانگ (تنگر اولیه به تقارن موجود[۱۱]) هنوز روشن نشده است.
باور به مهبانگ به‌عنوان آغاز کیهان به این دلیل است که می‌توانیم پروسه‌ی مشاهده شده‌ی انبساط کیهان را در جهت معکوس در نظر گیریم و با یاری معادلات نسبیت عام، گذشته‌ی آن را برای زمان‌های مختلف محاسبه نمائیم."[۱۵]

در حال حاضر هیچ توضیح فیزیکی‌ای تایید شده برای چرایی و چگونگی مهبانگ نداریم، جز این‌که نوسانات کوانتومی را علت آن بدانیم. به عبارت دیگر، به‌نظر توضیح مهبانگ نیاز به داده‌ها و نظریه توسعه یافته‌تری از نظریه نسبیت عام و نظریه فیزیک کوانتومی حاضر دارد. در همین رابطه می‌توان این پرسش را مطرح کرد: چرا نمی‌توان با قوانین موجود مسئله مهبانگ را توضیح داد؟ تلاش برای یافتن پاسخ به این پرسش ما را بسوی مسائل بنیادیِ حل نشده‌ی علم فیزیک سوق می‌دهد. به این دلیل که قوانین فیزیک حاضر با پیش‌فرض فضاء زمان و ماده بنا شده است. یعنی، قوانینی هستند مربوط به زمانِ پس از 'زمان پلانک' برابر با $۵٫۳۹۱ \times ۱۰^{-۴۴}$ ثانیه بعد از مهبانگ. ما هیچ اطلاعی از آنچه در طول زمان پلانک رخ داده است نداریم. در نتیجه فیزیک و قوانین مربوط به این زمان را، چنانچه اصولن وجود داشته باشد، نمی‌شناسیم.

مهبانگ فرضیه‌ای است متکی به دو اصل: ۱. اصل جهانشمول بودن قوانین فیزیک و ۲. اصل کیهان‌شناسی.

اصل جهانشمول بودن قوانین فیزیک می‌گوید: قوانینی که در گوشه‌ای از کیهان، برای مثال در سامانه خورشیدی، صدق می‌کنند، در هر بخش دیگری از کیهان نیز تحت شرایط مشابه معتبر هستند. و اصل کیهان‌شناسی می‌گوید: کیهان از هر نقطه آن در همه‌ی جهات (برای فاصله‌های کیهانی) یکسان دیده می‌شود.

اصل کیهان‌شناسی امکان بیان معادلات نسبیت عام اینشتین در شکل معادلات فریدمان را می‌دهد. با معادلات فریدمان می‌توان تاریخ کیهان را تا حدی نزدیک به واقعیت توصیف کرد. یعنی، می‌توان با یاری این معادلات از "آغاز"، گذشته، حالت کنونی کیهان تا حدودی مطلع شد. در واقع معادلات فریدمان بیان از رابطه میان پارامتر هابل، ثابت‌هایی مانند ثابت گرانش و ثابت سرعت نور دارد. پارامتر هابل نرخ سرعت انبساط کیهان، اندازه کیهان در گذشته و در آینده را مشخص می‌کند.

معادلات فریدمان نشان می‌دهند که کیهان در گذشته متراکم‌تر و گرم‌تر بوده است و هرچه در زمان بیشتر به عقب برمی‌گردیم، اندازه این کمیت‌ها بزرگتر و بزرگتر و در نهایت صرفن از نظر ریاضی بی‌نهایت می‌شوند، حالتی که به آن تکینگی (singularity) می‌گویند. این حالت از نظر فیزیکی کاملن بی‌معناست. چرا که کمیت‌های فیزیکی همواره دارای اندازه معینی هستند و نه بی‌نهایت. در واقع، تکینگی بیان از مرز اعتبار نظریه نسبیت عام اینشتین دارد. عرصه‌ای که نه از آنِ نظریه نسبیت عام بلکه میدان عمل نظریه کوانتومی (خلاء کوانتومی، حالت تحریک نشده‌ی انرژی) است.

طبق اصل کیهان‌شناسی، بعد از 'زمان پلانک' عصر تورم آغاز می‌شود. کیهان در عصر تورم با سرعت بسیار زیادی، در طول زمان ناچیزی، یعنی $۱۰^{-۳۳}$ تا $۱۰^{-۳۰}$ ثانیه با ضریب بسیار بالایی، برابر با $۱۰^{۳۰}$ الی $۱۰^{۵۰}$ انبساط می‌یابد! این کمیت‌ها نشان می‌دهند که سرعت انبساط کیهان در عصر تورم مافوق سرعت نور بوده است!

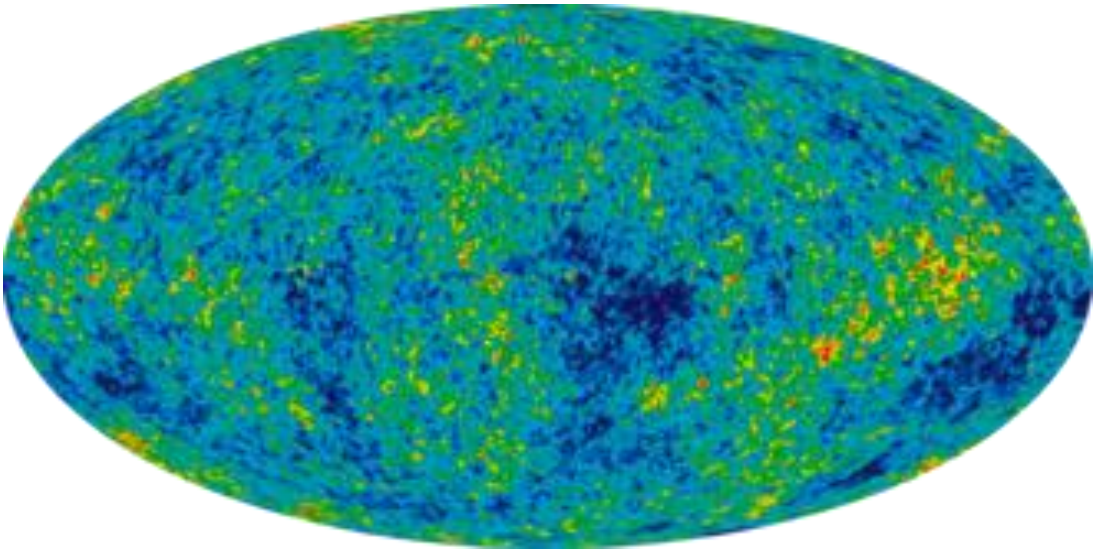
لازم به ذکر است که سرعت مافوق سرعت نور برای انبساط کیهان در تضاد با نظریه‌ی نسبیت که حداکثر سرعت در آن

سرعت نور است قرار نمی‌گیرد. به این دلیل که نظریه‌ی نسبیت، سرعت نور را در فضازمان مدنظر دارد در حالی‌که در عصر تورم صحبت از سرعت انبساط خود فضازمان است.

در سال ۱۹۸۱، آلن گوت، فیزیک‌دان آمریکایی (۱۹۴۷*)، فرضیه‌ی تورم را برای حل مسئله‌ی افق و توضیح همگنی و همسانگردی بخش قابل مشاهده کیهان ارائه کرد. فرضیه‌ی تورم متکی به مشاهدات همسانگردی تابش پس‌زمینه‌ی کیهانی است (تصویر۴).
فرضیه تورم بعدها از جانب آندری لیندا، فیزیک‌دان روسی ـ آمریکایی (۱۹۴۸*) توسعه داده شد و اکنون به‌عنوان مدلی برای فاز تورمی کیهان پذیرفته شده است.[۱۷] اما به‌خاطر آن‌که این فرضیه خود سبب پرسش‌های دیگری گردید، در ادامه فرضیه‌ای به نام 'فرضیه‌ی خمشِ وایل' (Weyl Curvature Hypothesis) نیز مطرح گردید. در این‌جا لازم است بگوئیم، بخش قابل مشاهده کنونی کیهان در این دوران چه اندازه‌ای داشته است:

بزرگی بخش قابل مشاهده کنونی کیهان در عصر تورم کوچک‌تر از قطر یک ذره‌ی پروتون برابر با $1{,}7 \cdot 10^{-15}$ m بود و در طول تورم تا نزدیک به ۱۰ سانتیمتر انبساط یافته است!

جزئیات دوران تورم و علت پایان یافتن آن هنوز روشن نیست. اما مسلم شده که تابش پس‌زمینه‌ی کیهانی (تصویر۴) "سنگواره‌ای" از دوران 'کیهانِ جوان' می‌باشد.[۱۸و۱۹] عمر این سنگواره فقط حدود سیصدوهشتاد هزار سال کمتر از عمر کیهان با حدود ۱۳٫۸۲ میلیارد سال است.



تصویر۴: تابش پس‌زمینه کیهانی؛ نوسانات دما در تابش پس‌زمینه کیهانی، ثبت شده توسط فضاپیمای دبلیومپ WMAP (مأموریت ۲۰۰۱-۲۰۱۰)[۱۶]

فرضیه‌ی تورم قادر است مشاهدات عینی زیرا را توضیح دهد:

۱. همگنی کیهان؛ ۲. انحنای کیهان؛ ۳. تک قطبی بودن مغناطیسم؛ ۴. ساختارهای عظیم در کیهان و ۵. طیف نوسانات دمای تابش پس‌زمینه کیهانی.

کیهان پس از آزاد شدن نور تا کنون

دوران بعد از تورم، عصرِ یا دوران انبساط نامیده می‌شود. این دوران با نظریه‌ها و قوانین فیزیک موجود قابل تشریح است. دوران انبساط را می‌توان به اختصار چنین تشریح کرد[۱۵]:

۱. در پایان دوران تورم، یعنی حدود $۱۰^{-۳۰}$ ثانیه پس از مهبانگ، دمای کیهان تا $۱۰^{۲۵}$ کلوین کاهش می‌یابد. در این زمان ذراتی به نام کوارک‌ها و پادکوارک‌ها به وجود می‌آیند که پلاسمائی را با ذرات موجود از جمله گلوئن‌ها تشکیل می‌دهند.
۲. دمای کیهان پس از یک میلیونم ثانیه به $۱۰^{۱۳}$ کلوین سقوط می‌کند و ذرات هادرونی، یعنی پروتون‌ها و نوترون‌ها که اجزاء تشکیل دهنده‌ی هسته اتم‌ها هستند، و همچنین پادذرات آن‌ها از پلاسمای موجود به وجود می‌آیند.
۳. پس از $۱۰^{-۴}$ ثانیه دمای کیهان به $۱۰^{۱۲}$ کلوین می‌رسد. در این دما دیگر امکان شکل‌گیری هادرون‌های جدید نیست. اما اغلب پروتون‌ها و نوترون‌ها بر اثر تصادم با پادذرات خود به انرژی تبدیل شده و چیزی کمتر از یک میلیاردم از پروتون‌ها و نوترون‌ها باقی می‌ماند. به این دلیل است که کیهان عمدتاً از ماده تشکیل شده و نسبت به پادماده نامتقارن است. علت این نامتقارنی روشن نیست. قابل توجه این است که در این دوران مقدار زیادی هم ذرات نوترینو تولید شده است.

۴. یک ثانیه پس از مهبانگ، دمای کیهان به $۱۰^{۱۰}$ کلوین نزول می‌کند. در این دوران است که ذرات الکترون و پادالکترون، پوزیترون، باهم تصادم کرده به انرژی تبدیل می‌شوند. از این ذرات نیز تنها حدود یک میلیاردم الکترون‌ها باقی می‌مانند. به عبارت دیگر، ذراتی که ما اکنون در کیهان ملاحظه می‌کنیم همان ذراتی هستند که در یک ثانیه‌ی اول بعد از مهبانگ وجود داشتند.
۵. با رسیدن دمای کیهان به زیر یک میلیاردم کلوین، ۱۰ثانیه بعد از مهبانگ، امکان ترکیب (هم‌جوشی) پروتون‌ها با نوترون‌ها به اولین هسته‌های هیدروژنی، یعنی دترون‌ها که اغلب به هسته‌های هلیوم-۴ تبدیل می‌شوند، به وجود می‌آید.
۶. بعد از گذشت حدود ۳ دقیقه از مهبانگ، دما و چگالی کیهان به درجه‌ای نزول می‌کند که دیگر امکان شکل‌گیری هسته‌ی اتم‌ها وجود ندارد و نوترون‌های باقیمانده در دقایق بعدی به پروتون و الکترون‌ها فرو افت می‌کنند.
۷. پس از حدود ۳۸۰هزار سال، با کاهش بیشتر دمای کیهان، امکان شکل‌گیری اتم‌های سبک و با ثبات از هسته‌ها و الکترون‌ها به وجود می‌آید. از گردهم‌آئی اتم‌ها بر اثر نیروی گرانشی ابر گازها و از این‌ها کهکشان‌ها و ستارگان شکل می‌گیرند. اتم‌ها یا عناصر شیمیائی سنگین‌تر در زمان‌های بعدی در داخل ستارگان به وجود می‌آیند؛ از آن‌جمله عناصر لازم برای حیات.

همزمان با شکل‌گیری اتم‌ها، ذرات نور، یعنی فوتون‌ها، زمان کوتاهی (حدود ۳۸۰هزار سال بعد از مهبانگ) در مقایسه با عمر کیهان (۱۳/۸۲میلیارد سال) آزاد می‌شوند و امکان آن دارند فاصله‌های زیادی را طی کنند بی‌آن‌که با ذرات دیگر برخورد کنند (تصویر۴).

طولِ موجِ نورِ آزاد شده از همان زمان همسو با انبساط کیهان گسترش پیدا کرده (انتقال به سرخ) و اکنون به طیف رادیوئی با دمای ۲/۷۱ کلوین رسیده است. برای مقایسه، دمای اولیه همین نور در زمان آزاد شدن حدود چهارهزار کلوین بود. این نور، این سنگواره، در سال ۱۹۶۴ به‌طور تصادفی کشف و به تابش پس‌زمینه‌ی کیهانی معروف شد. تابش پس‌زمینه‌ی کیهانی یکی از مهم‌ترین شواهد عینی برای فرضیه‌ی مهبانگ به‌شمار می‌آید.
۸. در اواخر قرن بیستم و اوایل قرن حاضر، نوسانات تابش پس‌زمینه‌ی کیهانی کشف و طیف آن اندازه‌گیری شد. نتایج حاصل از این مشاهدات از جمله امکان توضیح چگونگی شکل‌گیری ساختارهای بزرگ در کیهان را فراهم کرده است.[۱۵]

پیش‌تر گفتیم، از زمان پیدایش کیهان تا کنون حدود ۱۳/۸۲میلیارد سال می‌گذرد. در طول این زمان، افق کیهانی همسو با گسترش کیهان دورتر رفته است. به‌همین علت شعاع افق کیهانی (فاصله تابش پس‌زمینه کیهانی) در حال حاضر نه ۱۳/۸۲میلیارد سال نوری بلکه حدود ۴۵/۷میلیارد سال نوری است. البته این فاصله افق کیهانی از زمان آزاد شدن نور می‌باشد. حال چنانچه به این فاصله انبساط کیهان در طول زمان مهبانگ تا آزاد شدن نور را نیز اضافه کنیم در این‌صورت به شعاع بزرگتری برای فاصله افق کیهانی برابر با ۴۶/۶میلیارد سال نوری می‌رسیم. در حال حاضر این شعاع حداکثر فاصله‌ای است که می‌توان در کیهان چیزی را مشاهده کرد.

کیهان در زمان‌های دورِ آینده

مشاهداتِ تابش پس‌زمینه‌ی کیهانی (تصویر۴) نشان از هندسه کیهان، کیهان تخت (فضای اقلیدسی) و مقدار قابل توجهی انرژی تاریک دارد. در ضمن همان‌گونه که پیش‌تر گفتیم، مطابقتِ چگالی متوسط کیهان با چگالی بحرانی به‌معنای تخت بودن کیهان است. در بالا توضیح دادیم که سرعت رو به ازدیاد گسترش کیهان ناشی از اثر انرژی تاریک است و اضافه کردیم، پارامتر هابل نرخ سرعت انبساط کیهان، اندازه کیهان قابل مشاهده را در گذشته، حال و آینده تعیین می‌کند. البته این گفته به معنای آن نیست که ما از اندازه واقعی کیهان مطلع هستیم.

به‌نظر، کیهان در آینده بر اثر انرژی تاریک با سرعت بیشتری همچنان گسترش خواهد یافت. به‌همین خاطر می‌پرسیم: با ملاحظه‌ی این شرایط چه آینده‌ای در انتظار کیهان است و منجمان در آینده تا چه میزان از کیهانِ قابل مشاهده‌ی حاضر خواهند دید؟

گفتیم که از عمر کیهان حدود ۱۳/۸۲میلیارد سال می‌گذرد و از نیمه دوم آن به این سو با شتاب بیشتری در حال گسترش است. و همزمان با گسترش کیهان، فاصله افق کیهانی نیز بیشتر می‌شود. روشن است که این شرایط امکان بررسی کیهان را دوچندان دشوار می‌کند.

در حال حاضر شعاع افق کیهانی، شعاع 'افق تابش پس‌زمینه کیهانی'، برابر است با ۴۵/۷ میلیارد سال نوری. اما با ملاحظه انبساط کیهان از زمان مهبانگ تا آزاد شدن نور، شعاع افق کیهانی برابر می‌شود با ۴۶/۶ میلیارد سال نوری. این شعاع به شعاع 'افق ذرات' معروف است. سن محدود کیهان برای مشاهده‌ی 'افق ذرات' فاصله دقیقی قائل است. به این معنا که نورِ دورترین نقطه کیهان تا رسیدن به ما می‌باید فاصله ۴۶/۶ میلیارد سال نوری را طی کند. در اصل شعاع 'افق ذرات' حداکثر فاصله برای مشاهده کیهان است. البته باید در نظر داشت که همسو با انبساط کیهان، شعاع 'افق ذرات' نیز تغییر می‌کند.
ما می‌دانیم که سیستم‌های کلان در کیهان، مانند کهکشان‌ها، گروه کهکشان‌ها و خوشه‌های کهکشانی مدام در حال دور شدن

از یکدیگر هستند و هرچه دورتر باشند به‌همان نسبت نیز سرعت دورشدنشان بیشتر است.

"با فرض ثابت ماندن انرژی تاریک (ثابت کیهانی بدون تغییر) و افزایش سرعت انبساط کیهان، زمانی با محدودیت مشاهده‌ی ابژکت‌های کیهان مواجه خواهیم شد. به این معنا که ابژکت‌های فراتر از یک محدوده معین دیگر هرگز قابل مشاهده نخواهند بود. به این دلیل که نور منتشر شده از آنها هیچ‌وقت به زمین نخواهد رسید. ... محاسبات، فاصله تا آن محدوده را در آینده برابر با ۶۲/۶ میلیارد سال نوری نشان می‌دهند.

با این همه باید گفت، در آینده کهکشان‌های بیشتری قابل مشاهده خواهند بود. اما در عوض تعداد رو به ازدیاد آنها به دلیل انبساط دائمی کیهان دورتر رفته و طیف انتقال به سرخ‌شان بیشتر خواهد شد. به‌طوری که ظاهرن ناپدید و نامرئی به‌نظر خواهند رسید. برای این حالت می‌توان افقی به نام 'افق رویداد کیهانی' تعریف کرد، افقی که فاصله‌اش از زمین در طول زمان بیشتر می‌شود. در حال حاضر فاصله‌ی 'افق رویداد کیهانی' برابر است با ۱۶میلیارد سال نوری. یک بررسی ساده نشان می‌دهد که مرز قابل مشاهده در آینده ۶۲/۶ میلیارد سال نوری است، یعنی، دقیقن همان حد قابل دستیابی ۱۶میلیارد سال نوری که به مرز قابل مشاهده‌ی حاضر، ۴۶/۶ میلیارد سال نوری، افزوده می‌شود. ... افق‌های فراتر از 'افق نوری'، افق‌هایی هستند در آخرین سطحِ پراکندگی نیوترینوها و امواج گرانشی."[1]

توضیحات ارائه شده در باره‌ی آینده‌ی کیهان نشان می‌دهد که در آینده‌ی دور عمده‌ی ابژکت‌های کلان قابل مشاهده‌ی کنونی فراتر از 'افق رویداد کیهانی' قرار خواهند گرفت و در نتیجه غیرقابل مشاهده خواهند بود. به‌همین دلیل منجمان در آینده‌ی دور مشاهداتشان از کیهان محدود به گروهای کهکشانی محلی از جمله کهکشان راه شیری خواهد بود. آنها برای کسب آگاهی از وضعیت کنونی کیهان که ما شاهد آن هستیم، لازم است از جمله به مطالعه آثار بایمانده (؟!) از منجمان دوران ما بپردازند. بی‌تردید احتمال دستیابی به این منابع بسیار ضعیف است. چراکه تا آن زمان نه از کره زمین و نه از سامانه خورشیدی حداقل به شکلی که اکنون شاهد هستیم خبری نخواهد بود!

مراجع

1. https://en.wikipedia.org/wiki/Observable_universe#/media/File:Observable_Universe_with_Measurements_01.png/2

2. Hassan Bolouri, Hassan Bolouri, White hole, Wormhole, Black hole

۲. حسن بلوری، 'مفهوم مادّه در تراکم‌های بسیار بالا'- سفیدچاله‌ها، کرم‌چاله‌ها، سیاه‌چاله‌ها، منتشر شده در سایت‌های پارسی‌زبان، ماه اوت سال ۲۰۲۰

3. Hassan Bolouri, The big problems of the universe: what came before the big bang?

۳. حسن بلوری، 'مسائلِ بزرگِ جهانِ هستی: **پیش از مِهبانگ چه بود؟**' منتشر شده در سایت‌های پارسی‌زبان، ماه آوریل سال ۲۰۲۴

4. Hassan Bolouri, The big problems of the universe: The non-existence of time

۴. حسن بلوری، 'مسائلِ بزرگِ جهانِ هستی: **عدمِ وجودِ زمان**'، منتشر شده در سایت‌های پارسی‌زبان، ماه می سال ۲۰۲۴

5. Hassan Bolouri, The big problems of the universe: the moment the universe began

۵. حسن بلوری، 'مسائلِ بزرگِ جهانِ هستی: **لحظهِ آغازِ کیهان**'، منتشر شده در سایت‌های پارسی‌زبان، ماه جوئن سال ۲۰۲۴

6. Hassan Bolouri, The big problems of the universe: The origin and the essence of energy

۶. حسن بلوری، 'مسائلِ بزرگِ جهانِ هستی: **منشاءِ و چیستی انرژی**'، منتشر شده در سایت‌های پارسی‌زبان، ماه جولای سال ۲۰۲۴

7. Hassan Bolouri, The big problems of the universe: The origin and the essence of Mass

۷. حسن بلوری، ' مسائلِ بزرگِ جهانِ هستی: **منشاءِ و چیستیِ جِرم**'، منتشر شده در سایت‌های پارسی‌زبان، ماه اوت سال ۲۰۲۴

8. Hassan Bolouri, The big problems of the universe: The origin and the essence of dark matter

۸. حسن بلوری، ’مسائلِ بزرگِ جهانِ هستی: **منشاءِ و چیستیِ مادّهِ تاریک**‘، منتشر شده در سایت‌های پارسی‌زبان،ماه سپتامبر سال ۲۰۲۴

9. Hassan Bolouri, The big problems of the universe: The origin and the essence of dark energy

۹. حسن بلوری، ’مسائلِ بزرگِ جهانِ هستی: **منشاءِ و چیستیِ انرژیِ تاریک**‘، منتشر شده در سایت‌های پارسی‌زبان، ماه اکتبر سال ۲۰۲۴

10. https://www.wissenschaft.de/astronomie-physik/wohin-dehnt-sich-das-universum-aus/

11. Hassan Bolouri, **Symmetry:** the key to recognizing the cosmos

۱۱. حسن بلوری، ’تقارن: کلید شناخت کیهان‘، منتشر شده در سایت‌های پارسی‌زبان. ماه مارچ سال ۲۰۲۰

12. Hassan Bolouri, The Concept of Space

۱۳. حسن بلوری، ’مفهوم فضا‘، منتشر شده در سایت‌های پارسی‌زبان، ماه جولای سال ۲۰۲۰

13. https://en.wikipedia.org/wiki/Expansion_of_the_universe

14. https://en.wikipedia.org/wiki/Big_Bang

15. Hassan Bolouri, Big Bang Theory

۱۵. حسن بلوری، ’مهبانگ و پیدایش کیهان ـ پیش از مهبانگ چه بود؟ مهبانگ در کجا بود؟‘، منتشر شده در سایت‌های پارسی‌زبان، ماه می سال ۲۰۲۱ و منتشر شده در کتاب پژوهش‌هائی در نجوم، دانشگاه صنعتی شریف، سال ۱۳۹۷

16. https://de.wikipedia.org/wiki/Hintergrundstrahlung

17. Andrei Linde: Elementarteilchen und inflationärer Kosmos, Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg, Berlin, Oxford, 1993

18. Steven Weinberg: The First Three Minutes, Basic Books, inc., Publishers, New York, 1977

19. Steven Weinberg: Cosmology, Oxford University Press, New York 200

xxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxx