



تا چشم کار می کند و در تخیل ما
می گنجد، جهان جایگاه میلیاردها
میلیارد کهکشان و اجسام کیهانی
است، فاصله آنها از ما چقدر است؟
روش استاندارد اندازه گیری آن به
اصطلاح کیهان شناسان، استفاده از
نردبان فاصله سنج است: کیهان
شناسان روش های اندازه گیری
فاصله، و سرعت را با یکدیگر در
هم آمیخته و نتایج جالب توجه ای
نیز به دست آورده اند.

جهان با چه سرعتی در حال انبساط است؟ فیزیکدانان در طول سالیان تحقیق و تفحص نتایج مختلفی را به دست آورده اند که با هم همخوانی ندارند. آیا جدال آنها در مورد "ثابت هابل Hubble Constant" به آنجا ختم می شود که فکر کنیم قوانین طبیعی جدیدی دست اندر کارند که ما هنوز از آنها بی خبریم؟

"پروفسور دومینیک - جی - شوارز Dominik J. Schwarz"

ایشان یکی از محققین درجه اول آلمانی در حیطه "کیهان شناسی" و "ذرات بنیادی کیهانی" در دانشگاه بیلفلد آلمان "Bielefeld University" است، و فراتر از آن تحقیقات وسیع او در موارد دیگر علوم فیزیک، جایگاه والایی را به خود اختصاص داده اند.



توضیح: ثابت هابل Hubble Constant

ثابت هابل که براساس قانون هابل، سرعت دور شدن (انتقال به سرخ) یک کهکشان دوردست با فاصله آن رابطه مستقیم دارد را توجیه می کند. نسبت این سرعت به فاصله را ثابت هابل می نامند. هرچه اجسام کیهانی دورتر باشند، انتقال فرکانس نور آنها به سوی سرخ بیشتر است. لذا با اندازه گیری تواتر نور دریافتی می توان فاصله و سرعت را با تقریب قابل قبولی تعیین نمود.



آلبرت اینشتین را می توان به عنوان مشهورترین فیزیکدان قرن بیستم میلادی به حساب آورد. تا جایی که حتی نظرات اشتباه او نیز پر از معنی و دور اندیشی است. شاخص ترین مثال در این مورد در سال ۱۹۱۶ (م)، هنگامی که او یک سال پیش از آن تئوری نسبیت عمومی را معرفی کرد، و در پس آن به دنبال عرضه یک معادله و نظریه در خصوص تئوری معروف میدان ها که چندی پیش عرضه کرده بود و در نظر او کلید فهم کلیه فرایندهای کیهان به شمار می رفت، می باشد.

داستان بدین ترتیب بود که او هر الگویی از ساختار جهان را که طبق معادلات بدست آمده محاسبه می کرد، نتیجه قابل قبولی به دست نمی داد. برای او از منظر ریاضی راهی جز این نماند تا او جهت دستیابی به یک نتیجه فیزیکی قابل قبول، فاکتور جدیدی را به معادلات خود اضافه کند، تابعی به نام " **ثابت کیهانی** ". نتیجه آن شد که طبق محاسبات جدید جهان محدود بوده و بی کران نیست، و حجم آن در گذر زمان ثابت است و تغییر نکرده، و تا ابد به همین اندازه کنونی باقی خواهد ماند.

بلی، مدتی بعد آقای اینشتین به اشتباه فکری خود پی برد، و گفته می شود که در یک سخنرانی اقرار می کند که این بزرگترین " **خریتی Donkey egg** " بوده که او در زندگی خود تا آن زمان مرتکب شده است. اما سرنوشت چنین بود که تفکر "ثابت کیهانی"، هنگامی که محققین در سال ۱۹۸۸ با پدیده و معمای " **ماده تاریک** " که جهان را وسعت می بخشد مواجه شدند، برای بار دیگر نظرها را به سوی خود جلب نمود. جالب است که بدانید، حدود صد سال پیش بود که دانشمندان با اصرار بر این عقیده بودند که تفکر "ثابت کیهانی" غلط است و اینشتین اشتباه کرده است: این نظریه زمانی از هم پاشید که در سال ۱۹۱۷ یک دانشمند هلندی به نام " **Willem de Sitter** " اثبات کرد که بر خلاف نظر عامه، عامل ثابت کیهانی دقیقاً توجیح می کند که جهان در حال انبساط است و به مرور با گذر زمان، کهکشانشان ها نه تنها از ما دور تر می شوند، بلکه با گسترش فاصله سرعت گریز آنها افزایش هم می یابد. بدین ترتیب ثابت کیهانی منشاء انفجار کیهان به شمار رفته، تا جایی که کل جهان تعادل خود را از دست خواهد داد.

همین نظریه "آقای دسیتر" بود که کیهان شناس آمریکایی آقای " **ادوین هابل Edwin Hubble** " را بر آن داشت تا با کمک تلسکوپ های موجود و رصد جهان، واقعیت این معما را پی گیری کند. او با همکاری تیم خود و استناد به اندازه گیری و هزاران تصویر در مراحل و زوایای مختلف، در سال ۱۹۲۰ ثابت کرد که جهان واقعا با سرعت در حال گسترش است. بلی این نقطه عطفی برای تولد علم کیهان شناسی مدرن به شمار می رود، و در جهت بزرگداشت او یکی از توابع اندازه گیری فاصله و سرعت پراکندگی جهان که آقای هابل مبتکر آن بود، در همان زمان به احترام او نامگذاری شد (ثابت هابل).



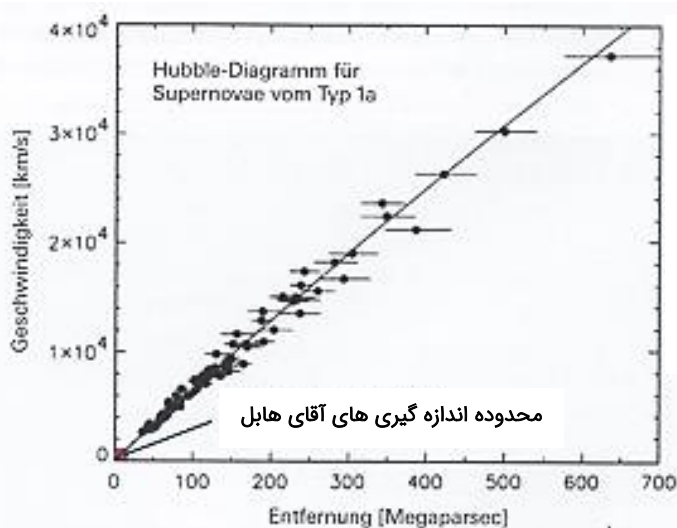
توضیح: طبق دانش کنونی تخمین زده می شود که:

ثابت هابل = ۷۰ کیلومتر/ثانیه/مگا پاراسک (Km/s/Mpc) می باشد.

یعنی: به ازای هر " **مگا پاراسک (مگا پاراسک = ۳/۲۶ میلیون سال نوری)** "، سرعت پراکندگی و انبساط جهان معادل (**۷۰ کیلومتر/ثانیه**) افزایش می یابد. به تعبیری دیگر: کهکشانی که حدود **۱۰۰ پاراسک** از کره زمین فاصله دارد، با سرعتی دو برابر کهکشانی که **۵۰ پاراسک** فاصله دارد از کره زمین دور می شود.

توضیح: "نمودار هابل" و "ثابت هابل"

در تئوری نسبیت اینشتین (معادلات فریدمن) استفاده می کنند. طبق این معادلات و توابع ریاضی می توان محاسبه کرد که انرژی آزاد شده ناشی از انفجار اولیه (بیگ بنگ)، با در نظر گرفتن مقدار ماده ای که از پیش تعریف شده با چه سرعتی قادر به پاشاندن و منبسط نمودن اجسام کیهانی از یک دیگر شده است. این انفجار و انبساط قائی ناشی از آن، موجب افزایش فواصل شده است. لذا در طول ۱۳/۸ میلیارد سال از زمان موجودیت کیهان تا به امروز، سرعت پراکندگی اجسام کیهانی تغییر کرده است: از سویی فشردگی مواد در طول زمان تنزل یافته که خود باعث کاهش سرعت انبساط می شود. ولیکن از جانب دیگر و متضاد با آن موادی یا ذراتی اسرار آمیز با نام " **ماده تاریک Dark Matter** " که از آن در



"معادلات فریدمن" تحت عنوان "ثابت کیهانی" یاد می شود، موجب افزایش سرعت پراکندگی و انبساط شده است. حال چگونه باید با چنین تضادی کنار آمد، هنوز با قطعیت نمی دانیم!

نمودار هابل (تصویر بالا)، نشان می دهد چگونه سرعت انبساط در رابطه با فاصله از کره زمین تغییر می کند. در نمودار بالا هر نقطه نشان دهنده یک کهکشان است که در آن فواصل با واحد ("مگا پاراسک" معادل ۳/۲۶ میلیون سال نوری)، و سرعت نسبی با واحد (کیلومتر/ثانیه) مشخص شده اند. حال هنگامی که به فواصل تا چند صد مگا پاراسک توجه کنیم، متوجه می شویم که نقاط مشخص شده در نمودار بر روی خطی مستقیم قرار دارند. گرادیان (Gradient) این خط مستقیم همان "ثابت هابل" است.

توضیح: گرادیان (Gradient)

برای محاسبه شیب یک نمودار و یا تغییرات یک تابع می توان از مفهوم گرادیان استفاده کرد. گرادیان در واقع تانژانت زاویه ای است که خط یک نمودار با محور افقی "محور X" می سازد.

توضیح: معادلات "الکساندر فریدمن A. Friedmann" – ویکی پدیا

در کیهان شناسی، دو معادله فریدمن، تکامل زمانی جهان را توصیف می کنند. این دو معادله گاهی اوقات معادلات فریدمن-لومتر نیز نامیده می شوند، زیرا توسط الکساندر فریدمن و مستقل از او، توسط ژرژ لومتر کشف شده اند. آن ها ساده سازی معادلات میدان نسبیت عام انیشتین (General Theory of Relativity)، تحت فرض یک جهان همگن یا ایزوتروپیک (اصل کیهان شناسی) هستند. بسته به محتوای انرژی جهان، پیش بینی هایی در مورد تکامل زمانی آن، یعنی شکل خاص انبساط یا انقباض را می توان از معادلات استخراج کرد. < {برای علاقمندان به ریاضیات} : معادلات فریدمن

$$f_k(r) = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{k}} \sin(\sqrt{k}r) & k > 0 \\ r & k = 0 \\ \frac{1}{\sqrt{-k}} \sinh(\sqrt{-k}r) & k < 0 \end{cases}$$

دانش فیزیک همواره در پی یافتن پاسخ برای توجیح اسرار طبیعت است و به دنبال "چرا ها و چگونگی ها" است. تا جایی که بتواند برای آنها پاسخی قطعی یافته و آنها را به عنوان یک "نظریه پایه" به حساب آورد. بلی همین ذهن کنجکاو انسان است که دانشمندان را بر آن داشت تا از خود سؤال کنند، واقعا میزان و مقدار دقیق "ثابت هابل" چقدر است؟ یا به تعبیری دیگر دقیقا در حال حاضر جهان با چه سرعتی در حال انبساط است؟ این مورد چندین نسل از دانشمندان فیزیک کیهانی بر آن شدند تا با استفاده از ابزارآلات هرچه پیشرفته تر، پاسخی در خور پذیرش برای حل این معما پیدا کنند – و هر چه جلوتر رفتند، به همان اندازه دست از پا درازتر بدون هیچ نتیجه قابل قبولی در جا زدند. بلی این اختلاف نظر همچنان تا به امروز ادامه دارد، تا جایی که چند سالی است در این مورد، چند تن از همکاران من بحث های داغی را آغاز کرده و در خصوص نظرات گوناگون خود، شیدیدا با یک دیگر مجادله می کنند.

مشکل اینجاست که تیم های گوناگونی از متخصصین، هر کدام با استفاده از روش های بسیار پیشرفته و ابزار های جدید نتایج مختلفی در مورد مقدار واقعی ثابت هابل به دست می آورند. و هنوز به طور قطع حرفی برای گفتن ندارند. آیا امکان دارد که یکی از تیم های تحقیقاتی، عامل یا فاکتوری مهم را در نظر نگرفته و از دید آنها پنهان مانده باشد؟ و یا با موردی بسیار جدی تر طرف هستیم که ما را به سوی کشف پدیده ای جدید در فیزیک کیهانی راهنمایی می کند؟ و یا اصلا تمام تلاش های ما به ناکجا آباد ختم می شود؟ پرسشی است بس بزرگ!



تلسکوپ هابل

جهان مانند خمیری در کوره نانوائی در حال متورم شدن است

هنگامی که مردم عادی سعی می کنند در خصوص انبساط جهان صحبت کنند، بلاوقفه این پرسش مطرح می شود که اصولاً چگونه می توان انبساط جهان را مجسم کرد؟ از شما چه پنهان، این پرسش را من نیز ده ها بار از خود سؤال کرده ام. به نظرم می آید، که مجموعه ای از کهکشان ها با مرور زمان، از یکدیگر فاصله گرفته و در حال انبساط هستند، درست شبیه تکه ای خمیر کشمشی در کوره نانوائی که منبسط و متورم می شود.

به دلیل متورم شدن خمیر تکه های کشمشی نیز از یک دیگر فاصله می گیرند. لذا می توان به سادگی مجسم کرد که دو تکه کشمشی که روبروی هم روی سطح خمیر قرار دارند از یکدیگر با سرعت بیشتری، در قیاس با ذرات کشمشی که در میان تکه خمیر قرار دارند فاصله می گیرند، به این دلیل که میان تکه های کشمشی که روی سطح قرار دارند مقدار بسیار بیشتری ماده خمیر، در مقایسه با ذرات کشمکش همجوار درونی، فضا را پر کرده است. بلی کاملاً شبیه مثال یاد شده از زمان "انفجار اولیه Big Bang" تا امروز، جهان و "فضا-زمان" در حال گسترش و انبساط است.

بدیهی است که الگوی بالا و مثال خمیر کشمشی، کاملاً منطبق با آنچه به راستی در مورد چگونگی انبساط جهان در حال وقوع است، نمی باشد؛ بر خلاف تکه خمیر که حجمی تعریف شده دارد، جهان بی نهایت بزرگ است و همه فواصل میان – کهکشانی همواره در حال گسترش هستند – من واقفم که تجسم چنین پدیده هایی کاری آسان نیست – ولیکن فرمول ها و توابع ریاضی علم کیهان شناسی آن را این طور توجیح می کنند. چه بسا، فراتر از آن می دانیم که کهکشان ها خود به تنهایی در حال حرکت و انبساط هستند، عاملی که در کل، بینش عینی این پدیده را، مانند حرکات نسبی درونی اجسام کیهانی و فواصل کاملاً پیش بینی نشده میان آنها، نهایتاً محاسبه و درک چنین پدیده ای، تجسم و فهم آنچه انبساط جهان نامیده می شود را به غایت بسیار مشکل می کند.

به سادگی و به دفعات پیش آمده که دانشمندان مفهوم درست ثابت هابل را اشتباه درک کرده اند. ثابت هابل تابعی است که به ما می گوید جهان با چه سرعتی امروز در حال انبساط است. حال هنگامی که سرعت انبساط جهان پیوسته در حال افزایش است، ثابت هابل نیز در طول زمان تغییر می کند. ولیکن سرعت انبساط، اینجا و آنجا، به نحوی باید در کل جهان یکی باشد و این همان دلیلی است که دانشمندان آن را به عنوان یک ثابت در نظر می گیرند. در ورای این برهان واقعیتی نهفته است که اصولاً ما فیزیکدانان بر این عقیده هستیم که قوانین طبیعت و شرایط موجودیت جهان در همه جا باید یکی باشد و هیچ استثنایی در میان نیست. ما این بینش را نظریه "بنیاد کیهانی Cosmological Principle" می نامیم.

در قدم بعدی این چالش بوجود می آید که، اصولاً چگونه می توان متورم شدن جهان را اندازه گیری نمود، جایی که فواصل جهانی تا چشم کار می کند در محدوده میلیون ها و شاید میلیارد ها سال نوری قرار دارند؟ چنین فواصل و سرعت هایی بر حسب عادات ما زمینیان، قابل متر کردن نیستند. تنها راهی که باقی می ماند اندازه گیری فواصل میان-کهکشانی و سرعت ها در پهنه سپهر و آسمان است.

اندازه گیری سرعت حرکت یک جسم کیهانی نسبت به زمین نسبتاً کار سختی نیست، فقط کافی است که طیف نور جسم مورد نظر را اندازه گیری نمود. در صورتی که کهکشانی از ما دور می شود نور دریافتی از آن طبق "پدیده دوپلر Doppler Effect"، خطوط واقع در طیف مزبور طول موج بزرگتری دارند، و نور دریافتی "سرخ" تر به نظر می رسد. در حالی که اجسامی که به ما نزدیک می شوند "آبی" تر هستند. (به تصویر صفحه اول توجه کنید).

این به آن معنی است که هنگام اندازه گیری نور اجسام موجود در منطقه ای از آسمان، بستگی به آن که آنها به ما نزدیک یا دور می شوند، طیف مورد نظر مجموعه ای از خطوط مایل به سرخ یا آبی را نشان می دهد. این مورد زمانی توجه کیهان شناسان را به خود جلب کرد که در سال ۱۹۲۰ کیهان شناس آمریکایی آقای "وستو ملوین Vesto Melvin" با اندازه گیری های خود ثابت کرد که تقریباً کلیه اجسام کیهانی در اطراف کره زمین در حال دور شدن از ما هستند و نور دریافتی از آنها تمایل به رنگ سرخ دارد، بلی یعنی قسمت اعظم جهان در حال انبساط است. فقط چند تایی از اجسام کیهانی اطراف "کهکشان راه شیری Milky Way" که کره زمین جزئی از آن است، به ما نزدیک می شوند.

"ادوین هابل" اولین کیهان شناسی بود که به صورتی گسترده اقدام به اندازه گیری فواصل کهکشان های گوناگون در اطراف کره زمین نمود. او در اندازه گیری های خود طیف نوری کلیه اجسام را ثبت و آنها را با فواصل به دست آمده مقایسه کرد. در ادامه؛ در رابطه با فاصله و سرعت، برای هر کهکشان نقطه ای را بر روی یک سیستم مختصات تعیین کرد (توضیح صفحه دو). او با تعجب مشاهده کرد که در محدوده اندازه گیری ها، کلیه نقاط نشان دهنده اجسام کیهانی ترسیم شده در نمودار فاصله-سرعت، بر روی خطی مستقیم قرار دارند. به نظر می آمد که پارامتر های فاصله و سرعت نوعی رابطه خطی با یکدیگر دارند؛ هرچه فاصله یک کهکشان از ما دور تر

بود، با سرعت بیشتری در قیاس با اجسام نزدیکتر، از کره زمین دور می شد. آیا مثال خمیر نانوائی را به یاد دارید؟ بلی انگار "خمیر فضا-زمان کیهانی" مشغول پف کردن و متورم شدن است!

در یک سیستم مختصات فاصله-سرعت، شیب زاویه هر خط با محور افقی، نسبت میان پارامتر های آن خط یا منحنی را نمایش می دهد. شیب به ما می گوید که افزایش سرعت با فاصله چه نسبتی دارد. در نمودار هابل، شیب خط ترسیم شده را "ثابت هابل" می نامند. یکی دیگر از کار های مورد توجه آقای هابل این بود که او با در نظر گرفتن و محاسبه سرعت گریز کهکشان های دورتر و مقایسه آن با زمان صفر، موفق شد تا با محاسبه معکوس، طبق نظر خود، عمر حدودی جهان را از بدو وقوع انفجار بزرگ تخمین زند.

نتیجه ای که او به دست آورد حدود ۲ میلیارد سال بود - که بر اساس دانش کنونی اشتباه به نظر می آید (به دلیل اندازه گیری اشتباه فواصل). روش های کنونی برای تخمین عمر کیهان و زمین از علم زمین شناسی و تجزیه مواد رادیواکتیو موجود در ساختار آنها سرچشمه می گیرد. بر این اساس متخصصان میزان وزنی (کربن-۱۲) موجود در اجسام آلی را مبنی قرار داده و با دقت اندازه گیری نموده و با محاسبه معکوس حدودا تخمین می زنند که در چه مدت میزان نسبی حجم عنصر نا پایدار مورد نظر (کربن-۱۴) در رابطه با شدت و میزان کنونی تشعشعات اندازه گیری شده، تغییر یا تنزل پیدا کرده است. زمان به دست آمده با تقریب قابل قبولی عمر مواد سازنده اجسام آلی را تعیین می کند. طبق چنین آزمایشاتی عمر کیهان و شهاب سنگ ها در زمان حال حدود ۱۳/۸ میلیارد سال و عمر کره زمین حدود ۴/۵ میلیارد سال تخمین زده شده است.

توضیح: روش تاریخ گذاری کربن-۱۲

روش (کربن-۱۲) یک تکنیک تاریخ گذاری مستقل نیست، بلکه یک نقطه مرجع در تاریخ گذاری رادیوکربن است. کربن-۱۲ یک ایزوتوپ پایدار کربن است که به عنوان مرجعی برای اندازه گیری جرم اتمی همه نوکلیدها عمل می کند. در تاریخ گذاری رادیوکربن، نسبت (کربن-۱۴) که یک ایزوتوپ ناپایدار است، نسبت به کربن-۱۲ در یک نمونه برای تعیین سن مواد آلی اندازه گیری می شود.

کلیه چنین اندازه گیری ها هنوز با در نظر گرفتن تکنیک های موجود در آن زمان از دقت کافی بر خوردار نبودند، به نحوی که متخصصان در سال ۱۹۶۰ میزان اشتباه آماری عدد "ثابت هابل" را معادل ۱۰۰٪ برآورد می کردند. لذا می توانست عدد ثابت هابل حدودا دو برابر میزان اعلام شده باشد. در ادامه، کیهان شناسان در سال ۱۹۹۰ میزان عدد ثابت هابل را چیزی حدود ۵۰ یا ۹۰ (Km/s/Mpc) برآورد نمودند. این گونه برآوردها همچنان ادامه داشت، تا زمانی که بالاخره در سال ۲۰۰۱ ورق توسط استفاده از تلسکوپ معروف هابل که به دور کره زمین می چرخد (تصویر صفحه ۳) برگشت، و با تقریب بسیار بالایی، میزان ثابت هابل چیزی معادل ۷۲ (Km/s/Mpc) تعیین گردید. بدیهی است که حتی این برآورد نهایی نیز، می تواند یک اشتباه اندازه گیری آماری حدود ۸ الی ۱۱ درصد را در بر گیرد.

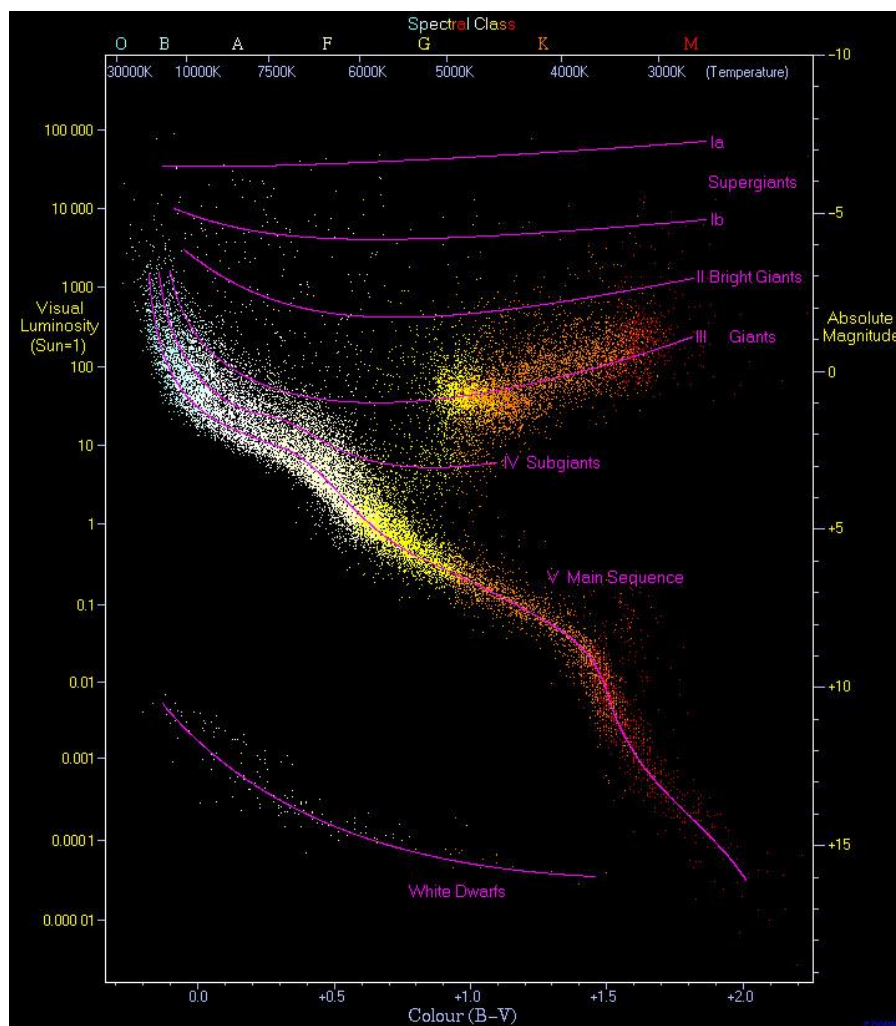
قابل توجه است که جهت تعیین مقدار واقعی ثابت هابل، کیهان شناسان با یک مشکل اساسی روبرو هستند: تعیین فواصل کیهانی در پهنه جهان - بر خلاف تعیین سرعت اجسام نسبت به یکدیگر - مشکلی است که تا به امروز به سختی انجام پذیر است. ساده ترین روش برای این منظور استفاده از همان روش به اصطلاح "مثلث بندی Triangulation" است، این همان روشی که از آن در گذشته ملاحان، نقشه برداران و منجمین جهت اندازه گیری فواصل استفاده می کردند.

جریان از این قرار است که در روش "مثلث بندی" از پدیده ای به نام اختصاری "اختلاف منظر Parallax"، که در طول گذر شش ماه از سال در تصویر نسبی موقعیت چند ستاره در افق پدید می آید استفاده می شود. لذا می توان با اندازه گیری دقیق زاویه جابجائی و با بهره گیری از چند تابع مثلثاتی و دانستن فاصله ای که کره زمین در شش ماه طی کرده است، فاصله کره زمین از هر جسم کیهانی را محاسبه نمود. بدیهی است که این روش نیز محدودیت های خود را داشته و می توان از آن فقط در محدوده کهکشان راه شیری که کره زمین نیز جزئی از آن است، سود جست. در حال حاضر فاصله نزدیکترین ستاره با کره زمین با استناد به همین روش محاسبه شده است. بر اساس همین روش اختلاف منظر بود که در سال ۲۰۱۸ ماهواره اروپایی "Gaia" موفق شد تا فاصله حدودی ۱/۳ میلیارد ستاره و اجسام کیهانی اطراف کره زمین را اندازه گیری کند.

در حال حاضر روش محاسباتی "اختلاف منظر" در قیاس با راه کار های دیگر، جهت اندازه گیری فواصل بزرگ، برای کیهان شناسان به عنوان روشی اصلی به شمار می رود: چه بسا در حالتی که فاصله دقیق یک جسم کیهانی با کره زمین تعیین شده باشد، می توان از آن به منزله نوعی خط کش اندازه گیری و تعیین فواصل بزرگتر نیز استفاده نمود. در زبان کیهان شناسی چنین تعبیری مانند صعود از نردبانی است که جهت بالا رفتن، پله های پائین تر به منزله تکیه گاه به شمار می روند.

در این مقوله فاصله نزدیکترین جسم کیهانی با کره زمین به عنوان "اولین پله نردبان" تلقی می شود. حال در مرحله بعدی می توان با دانستن فاصله، میزان روشنایی نسبی نور دریافتی از ستاره را تعیین نمود و در مرحله بعدی بر اساس دانش طیف نگاری فاصله باز هم دقیق تر ستاره را به دست آورد، چه بسا میزان روشنایی هر جسم کیهانی با مجذور فاصله آن با کره زمین نسبت معکوس دارد. همه آنچه عنوان شد به این معنی است که: زمانی که فاصله دو ستاره مشابه در فواصل ۴ و ۸ سال نوری اندازه گیری می شود، شدت نور ستاره ای که در فاصله ۴ سال نوری از ما فاصله دارد، دو برابر شدت نور ستاره ای که ۸ سال نوری از کره زمین فاصله دارد نبوده، بلکه شدت روشنایی آن ۴ برابر شدت روشنایی ستاره ای است که ۸ سال نوری از ما فاصله دارد.

از طریق نموداری که در علم طیف نگاری به نام "نمودار هرتس شپرونگ-راسل Hertzprung-Russel-Diagram" نامیده می شود، می توان در رابطه با میزان روشنایی نور دریافتی، طیف نور هر ستاره ای را به دست آورد (تعیین رنگ). حال با کمک تعیین رنگ نور دریافتی (طیف نگاری) می توان دریافت که آیا آن جسم اندازه گیری شده در محدوده کهکشان راه شیری قرار دارد؟ و یا خارج از آن است. یعنی در صورتی که ستاره مزبور در محدوده خارج از کهکشان راه شیری قرار داشته باشد، به دلیل فاصله بسیار زیاد، دیگر روش اندازه گیری "اختلاف منظر" به کار نخواهد آمد. در چنین حالتی آنچه باقی می ماند، مقایسه شدت روشنایی ستاره و تعیین فاصله (فقط در محدوده کهکشان راه شیری) با استفاده از ارقامی که در نمودار راسل نشان داده شده و مقادیر نسبتاً قابل قبولی ارائه می دهد، این قدم دوم در بدست آوردن فواصل کیهانی به منزله صعود از "دومین پله نردبان" تلقی می شود.

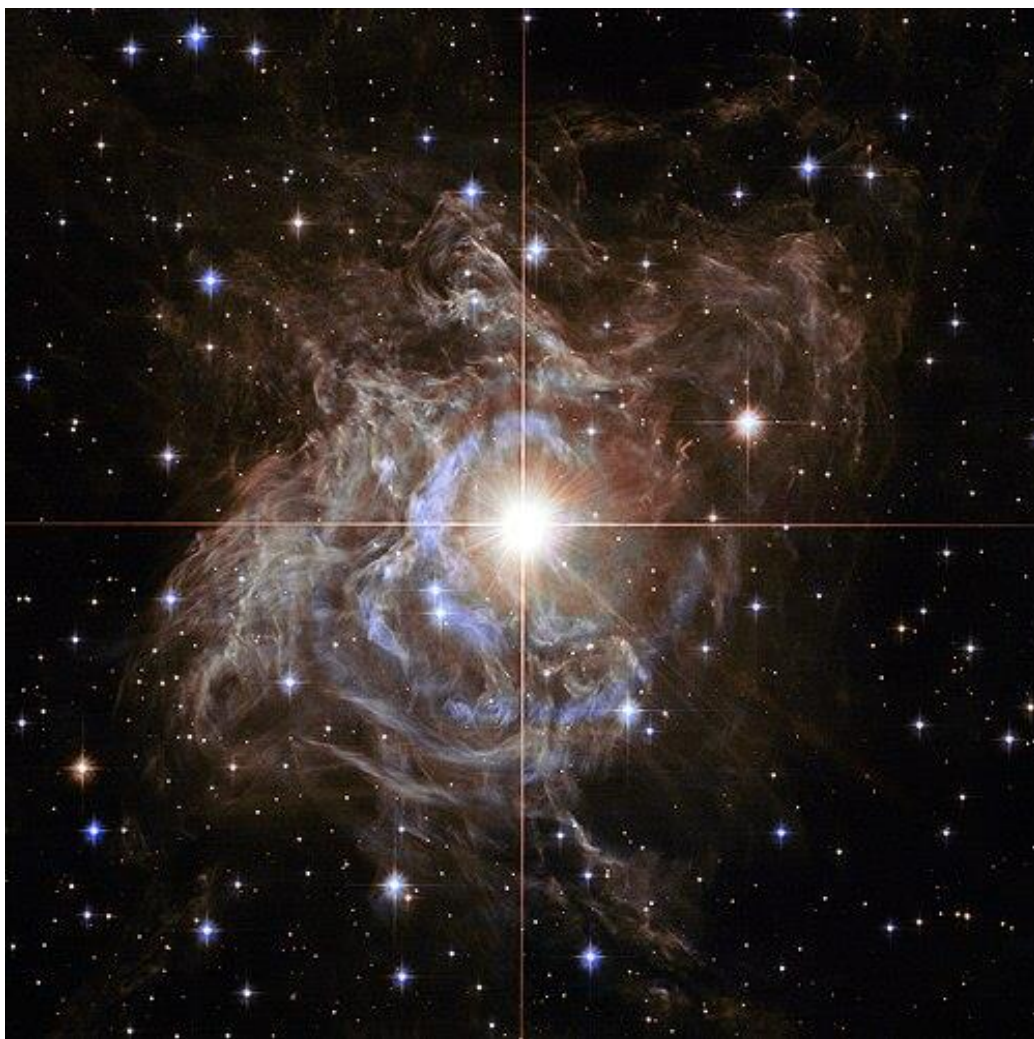


"نمودار - هرتس شپرونگ - راسل Hertzprung-Russel-Diagram"

جهت اندازه گیری فواصل باز هم بزرگتر، آنجایی که روش های نامبرده قادر به ارائه پاسخ قبول نیستند (پله های اول و دوم نردبان)، کیهان شناسان از روش (شمع استاندارد) که همان "پله سوم نردبان" می باشد استفاده می کنند. این گونه شمع های استاندارد می توانند از انواع اشکال کیهانی تشکیل شده باشند که در دو مورد با یکدیگر شباهت دارند: آنها از فواصل بسیار دور کاملاً قابل تشخیص هستند، و میزان نور و روشنایی آنها شناخته شده اند. در خصوص معروفترین مثال در این مورد می توان از نوعی "ابر ستاره های تپنده" به نام "قیفاووسی Cepheids" نام برد.

توضیح: متغیرهای قیفاووسی مهم ترین ستارگان تپنده ای هستند که تغییر پذیری زیاد و واضحی در شدت نور، روشنایی و طیف نور ارسالی از خود نشان می دهند .

این ستارگان در دوره های زمانی چند روز یا چند هفته به صورت توالی منقبض و منبسط می شوند و روشنایی دوره ای آنها پیوسته در حال تغییر است. با در نظر گرفتن این واقعیت که دوره زمانی و شدت روشنایی مستقیماً با یکدیگر مرتبط هستند، می توان با بهره گیری از نمودار "هرتس شپرونگ – راسل" و مقایسه با ستارگان نزدیک به تپنده ها که طبق نمودار، فاصله آنها تا کره زمین معلوم است، فاصله و شدت روشنای حقیقی چنین ستارگان تپنده از کره زمین را اندازه گیری نمود. لذا می توان نتیجه گیری کرد که در اثر تپش "قیفاووسی ها"، حتی اگر آنها بسیار دور باشند و "روش مثلث بندی" جواب ندهد، فاصله آنها تا کره زمین قابل اندازه گیری است.



ستاره ستاره قیفاووسی RS Puppies حدود ۶۲۰۰ سال نوری از کره زمین فاصله دارد و مقادیر فراوانی گردو غبار کیهانی آن را احاطه کرده است. هر چند هفته یک بار به صورت توالی، روشنایی آن تغییر کرده و در مواقعی به یک پنجم روشنایی اولیه می رسد.

"هرتس شیرونگ - راسل" و مقایسه با ستارگان نزدیک به تپنده ها که طبق نمودار، فاصله آنها تا کره زمین معلوم است، فاصله و شدت روشنای حقیقی چنین ستارگان تپنده از کره زمین را اندازه گیری نمود. لذا می توان نتیجه گیری کرد که در اثر تپش "قیفاووسی ها"، حتی اگر آنها بسیار دور باشند و "روش مثلث بندی" جواب ندهد، فاصله آنها تا کره زمین قابل اندازه گیری است.

یک دیگر از انواع شمع های استاندارد، "ابر نو اخترها **Supernovae**" از نوع (Ia) هستند. ابر نو اخترها ستارگان دوقلوئی هستند که در طول زمان و انبساط و انتشار مواد سازنده آنها و در نهایت تلفیق در یکدیگر، جسمی جدید و فشرده و بسیار نورانی به نام "کوتوله سفید **White Dwarf**" پدید می آید. حال در صورتی که در طول زمان حجم این "کوتوله سفید" چیزی معادل یک و نیم برابر حجم خورشید ما را در بر گیرد، این جسم جدید همراه با روشنایی بسیار شدیدی منفجر شده و به مرور مواد تشکیل دهنده آن طبق قوانین فیزیک در فضا منتشر می شوند. بدیهی است که میان میزان شدت نور ارسال شده در زمان انفجار و مدت ادامه آن، یک رابطه مستقیم وجود دارد. زمانی که نور چنین انفجاری به کره زمین برسد، می توان فاصله نسبی آن تا کره زمین را محاسبه نمود.



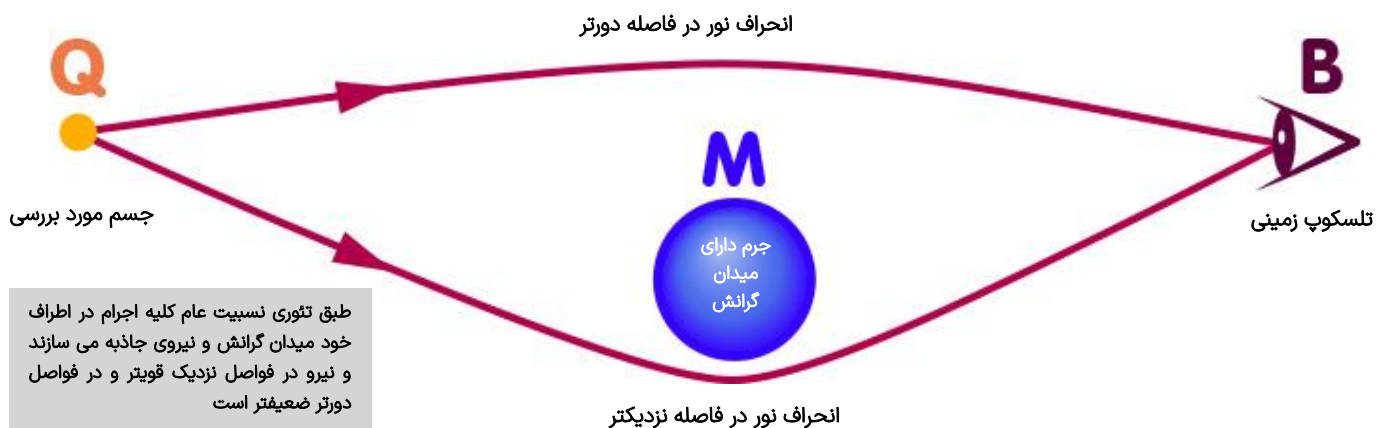
بازی سرنوشت چنان بود که در اثر کشف چنین انفجارهای کیهانی، ناگهان اهمیت تابع "**ثابت اینشتین**" که زمانی او آن را بزرگترین اشتباه خود خوانده بود، دوباره مد نظر کیهان شناسان قرار گیرد: تا سالیان ۱۹۸۸/۱۹۸۹ تصور دانشمندان چنین بود که جهان با سرعتی نزول کننده در حال انبساط است. این تصور ادامه داشت، تا زمانی که "گروه پروژه رصد ابر نو اخترها **Supernovae Cosmology Project**" با همراهی "تیم جستجوی ابر نو اخترها **High-Z Supernovae Search Team**"، کشف کردند که سرعت نسبی دور شدن دو کهکشان نسبت به دیگری، که در فاصله بسیار بزرگی از یکدیگر قرار دارند، در طول زمان نه تنزل بلکه در حال افزایش است. به نظر می آید که انبساط جهان در حال شتاب گرفتن است، چیزی که ما کیهان شناسان دلیل آن را در وجود نیرویی اسرار آمیز به نام "انرژی تاریک **Dark Energy**" می دانیم. در حال حاضر در علم کیهان شناسی، میزان و اثرات "انرژی تاریک" در معادلات و توابع مربوط به محاسبات میدان های انرژی، توسط "**ثابت اینشتین**" نمایش داده می شوند. پس آقای اینشتین اشتباه نکرده بود. جهت بزرگداشت چنین کشف بزرگی توسط تیم های تحقیقاتی نامبرده برای بشریت، در سال ۲۰۱۱ آقایان: **Saul Perlmutter, Brian P. Schmidt, Adam Riess** موفق به دریافت جایزه نوبل فیزیک گردیدند.

در حال حاضر کیهان شناسان و متخصصان فیزیک کیهانی موفق شده اند تا کلیه مراحل سنجش فواصل کیهانی را به دقت بالایی اندازه گیری کنند. بجز آن، آنها جهت جلوگیری از اشتباهات سیستماتیک برای هر مرحله سنجش، روش های کنترل کننده خاصی را ابداع کرده اند. در حال حاضر این امکان در دقت اندازه گیری تا چنان مرحله ای بهبود یافته که می توان "ثابت هابل" را نسبت به مقدار واقعی، با دقتی معادل ۲/۴ % اشتباه آماری تعیین نمود. نتیجه چنین تلاش های مستمری بود که آقای "**Adam Riess**" و تیم تحقیقاتی او که نام تیم خود را "**Supernovae H for the Equation of State**" گزارده اند، موفق شدند تا در سال ۲۰۱۶ میزان "ثابت هابل" را با دقت بالا معادل 73.24 ± 1.62 (Km/s/Mpc) تعیین کنند.

و اما، "تشعشع پیش زمینه کیهانی COSMIC BACKGROUND RADIATION" در کل، داستان دیگری را تعریف می کند.

اندازه گیری های تیم آقای "ریس" مطابقت نسبتاً خوبی با نتایج یک روش اندازه گیری دیگر دارد، که در سالیان گذشته توجه زیادی را به خود جلب نمود. آرمان این روش چنین است که می توان با کمک به اصطلاح "عدسی های گرانشی Gravitational lenses"، مراکز روشنایی متغیر کیهانی، مانند هسته های فعال کهکشان های گوناگون را رصد نمود. در این مقوله منظور فیزیک دانان کیهانی مجموعه ای از انبوهی از کهکشان های حجیم که در راستا و روی خط رصد میان تلسکوپ های زمینی و پشت یک کهکشان یا جسم کیهانی که در حال بررسی است قرار دارند، می باشد.

طبق معادلات و توابع تئوری نسبیت عام، حجم بسیار عظیم مواد تشکیل دهنده انبوه کهکشانهای نامبرده که دارای میدان و تلویحا نیروی گرانش فوق تصویری هستند، نور در گذر از میان میدان گرانش مانند یک عدسی که نور را خم کرده و متمرکز می کند، خم شده و هنگام عبور از کنار جسم مورد بررسی در زوایای مختلف منتشر شده و چند تصویر همانند به وجود می آورد. به نحوی که "انبوه فوق حجیم کهکشانی" که در واقع پشت جسم مورد بررسی قرار دارد و منطقاً نباید توسط دوربین های ما دیده شوند، در چند مکان در اطراف جسم مورد بررسی مشاهده می شوند.



$$r = \xi \frac{R_0 + R'}{R} - \frac{R' \alpha}{\xi}$$

$$r_0 = \xi_0 - \frac{1}{\xi_0} \dots (1)$$

$$\xi_0^2 = \xi^2 \frac{R + R'}{R R' \alpha}$$

$$\alpha = - \frac{R \alpha}{\xi} = - \frac{R \alpha}{\xi_0} \sqrt{\frac{R + R'}{R R' \alpha}}$$

$$= - \frac{1}{\xi_0} \sqrt{\frac{R}{R'} (R + R')} \alpha$$

Handwritten note: "S nach unten negativ. Dann soll auch für stark abgelenkte Strahl."

تصویر واقعی دستخط آقای اینشتین در خصوص توابع و معادلات محاسبه انحراف نور در عبور از میدان گرانش - با تشکر از آرشیو دانشگاه استنفورد - آمریکا



"عدسی های گرانشی Gravitational lenses"

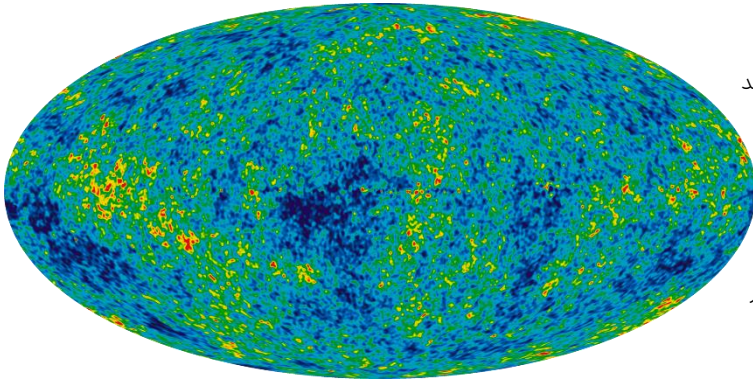
در صورتی که یک کهکشان دارای جرم فوق تصور بر روی خط رصد میان ما و یک "کوازار Quasar" قرار داشته باشد، چندین تصویر از "کوازار" دیده می شود. از طریق چنین صورت های فلکی خاص، فیزیکدانان کیهانی قادر به تخمین "ثابت هابل" می باشند.

این نوع صورت فلکی زمانی بخصوص جالب توجه است که روشنایی جسمی که در پشت قرار دارد نوسان کند، چیزی که به عنوان مثال در هسته کهکشان های فعال مانند کوازارها اتفاق می افتد. حال هنگامی که نور کوازار از کنار کهکشان میانی عبور کند، به تدریج به دلیل فواصل و زوایای مختلف طی شده توسط نور کوازار، نور در برخورد و عبور از میدان گرانش جسم میانی منحرف شده و چند تصویر مات در اطراف کهکشان میانی پدید می آید. این همان اثر "عدسی کیهانی" و اثبات مجدد قانون "تئوری نسبیت عام" به شمار می رود.

بدین ترتیب دانشمندان قادر شدند تا فاصله اجسام کیهانی مورد بررسی را اندازه گیری و تخمین زنند. با به کار گیری قوانین تواتر نور و تشخیص رنگ آن (انتقال به سرخ) می توان فاصله اجرام کیهانی در فواصل بسیار بسیار دور از کره زمین را نیز سنجید. با استفاده از همین روش بود که دانشمندان با انتشار نتایج یک پروژه تحقیقاتی در سال ۲۰۱۷ (پروژه به نام: HoLiCOW – H₀ Lenses in COSMOGRAIL's Wellspring)، برای میزان "ثابت هابل" عدد $3 - [71/9 + 2/4]$ (Km/s/Mpc) را با دقت خوبی تعیین کردند، مقداری که با حدود ۴٪ اشتباه آماری قابل قبول بود، و با مقادیر بدست آمده توسط روش های دیگر به خوبی همخوانی داشت.

تا اینجا به نظر می آمد که مشکل تعیین مقدار صحیح "ثابت هابل" با دقت قابل قبولی برای همیشه حل شده و اختر شناسان می توانند ارقام بدست آمده را به عنوان یک اصل کیهانی در نظر گیرند. مدت مدیدی است که روش اندازه گیری دیگری با استفاده از سنجش بسیار ژرف میزان "اشعه پیش زمینه کیهانی" پا به میدان گزارد، که از قرار معلوم بسیار دقیق بوده و فراتر از آن رل مهمی در علم کیهان شناسی بازی می کند. "آژانس فضایی اروپا ESA-European Space Agency" با کمک ماهواره "پلانک Planck" که میزان "اشعه پیش زمینه کیهانی" را اندازه می گیرد، از این راهکار استفاده می کند. با کمک این روش دانشمندان موفق شدند تا در سال ۲۰۱۶ میزان "ثابت هابل" را معادل عدد $66/88 \pm 0/91$ (Km/s/Mpc)، با اشتباه آماری حدود ۱/۳٪ تعیین کنند.

توضیح: کشف "اشعه پیش زمینه کیهانی" یکی از شاهکار های علم کیهان شناسی به شمار می رود. در سال ۱۹۶۴ آقایان "پنزیاس و ویلسون Arnold A. Penzias & Robert W. Wilson" ۱۴ سال پس از آن به خاطر کشف بزرگ خود، موفق به دریافت جایزه نوبل فیزیک شدند. محتوای این یافت بزرگ را می توان با جستجوی آخرین باز مانده امواج ارسالی انفجار بزرگ که حدود ۱۳/۸ میلیارد سال پیش در پهنه کل کیهان به وقوع پیوسته است مقایسه نمود. انگار سعی کنید سوزنی را بر روی کره مریخ شناسایی کنید.



برای کیهان شناسان کشف " امواج پیش زمینه مایکروویو کیهانی " مانند یافت یک گنج بزرگ به شمار می رود. عظمت این کشف زمانی هویدا می شود که بدانیم امواج ارسالی، حدود ۳۸۰ هزار سال پس از انفجار بزرگ و انبساط مواد کیهانی، هنگامی که ذرات پروتون و الکترون ها با یکدیگر تلفیق و تبدیل به اتم های هیدروژن شدند، پدید آمدند. تصویر، نشان دهنده پخش دمای امواج پیش زمینه (نقاط آبی و زرد) در کل کیهان است و نشان می دهد که ۳۸۰ هزار سال پس از انفجار بزرگ، مواد سازنده جهان چگونه پراکنده و در حال انبساط بوده اند.

لذا ۳۸۰ هزار سال پس از انفجار بزرگ، زمان تشکیل اتم های هیدروژن و سرد شدن مواد کیهانی، ناگهان مشاهده کیهان امکان پذیر شد، به نحوی که امواج الکترو مغناطیسی مایکروویو که در اوایل کار پس از طی فاصله ای کوتاه دوباره جذب می شدند، اکنون این امکان را یافتند تا به سادگی پراکنده و از میان مواد و عناصر دیگر عبور کرده و پخش شوند. بدیهی است که دمای امواج پیش زمینه در اوایل دارای مقادیر فوق تصویری بوده است، ولیکن گرمای آن در طول زمان پس از گذر ۱۳/۸ میلیارد سال تنزل کرده و اکنون در منطقه کیهانی ما چیزی معادل ۲/۷ درجه بالاتر از صفر مطلق می باشد. بدیهی است که شدت نوسان امواج نیز پس از زمان انفجار اولیه تا به امروز نیز در رابطه با دمای آن به گونه ای غیر تصور نزول کرده، به گونه ای که رد یابی چنین امواجی، حال از هر زاویه ای فقط کاری بس دشوار نیست، بلکه کارستان است.

در سال ۱۹۹۲ با استفاده از " ماهواره های کبه COBE-Satellites " که توسط سازمان فضایی آمریکا (NASA) به فضا پرتاب شدند، دانشمندان پس از تحلیل دقیق نتایج و سنجش ها، پی بردند که شدت امواج پیش زمینه در زوایای مختلف کاملاً ثابت نبوده، بلکه دارای نوسانات بسیار ظریفی است. شدت انتشار امواج در مراحل ضعیفتر و در بازه ای دیگر قویتر بود. چنین نوسانات حرارتی در عمل، چیزی معادل ده هزارم واحد سنجش گرما است. اندازه ای که در حالات عادی متوجه آن نشده و آن را به حساب اشتباهات آماری معمول در سنجش به شمار می آوریم. پی بردن به چنین تفاوت های بسیار ظریف واقعا در عمل بسیار دشوار است و همین دقت عمل و کشف بسیار مهم بود که جایزه نوبل فیزیک را برای کاشفان آن، آقایان " George F. Smoot و Gohn C. Mather " در سال ۲۰۰۶ به ارمغان آورد. در حال حاضر برداشت ما از چنین ارتعاشات ظریف گرمایی، در واقع تعبیری برای نوسانات چگالی مواد کیهانی در اوایل به وجود آمدن کیهان است که به صورت افت و خیزهای ظریف امواج پیش زمینه کیهانی ابدی شده اند! بدین ترتیب به تعبیری دیگر، در پشت هاله امواج مایکروویو پیش زمینه کیهانی، تصویری از شروع جهان، قبل از به وجود آمدن هر نوع اجرام آسمانی و ستارگان، نهفته است!

۳۸۰ هزار سال پس از انفجار اولیه عواملی مانند فشار تشعشعات به همراه نیروی گرانش، مواد بسیار داغ پراکنده شده را به اطراف پرت کرده، به نحوی که در بعضی مناطق چگالی مواد "پلازما Plasma" بیشتر و در نقاطی کمتر بوده است. نهایتاً چنین انبوهی از مواد که در مناطق گوناگون فضا دارای فشردگی نابرابر بودند، به صورت موج انفجار با سرعتی فوق تصور فضا را در نوردیدند، درست شبیه امواج صوت که در هوا منتشر می شوند. دانشمندان این پدیده را "ارتعاشات صوتی باریونی Baryonic acoustic oscillation" می نامند.

توضیح: در فیزیک و کیهان شناسی، واژه «باریونی» به ماده ای متشکل از باریونها (ذرات بنیادی که از کوآرک تشکیل شده اند)، یعنی ذراتی مانند پروتون ها و نوترون ها، اشاره دارد. ماده باریونی، ماده ای است که معمولاً با تقریبی بالا ستارگان، سیارات، کهکشان ها، سیاه چاله ها، نو اخترها، کوازارها، کوتوله های سفید و امثال آنها را تشکیل می دهند.

اهمیت شناخت " ارتعاشات صوتی باریونی " برای دانش مدرن کیهان شناسی بسیار بالا است. چه بسا به دلیل بی نظمی در ارتعاشات امواج پیش زمینه کیهانی، دانشمندان قادرند تا دریابند که میان مجموعه ارتعاشات در آن زمان (حوضچه تشکیل دهنده کلیه امواج و ارتعاشات موجود در آن زمان و یا به اصطلاح عام - مخلوط سوپ امواج)، کدام موج قوی تر از دیگری بوده است. لذا از این طریق می توان به پارامترهای کلیدی دیگری نیز مانند "انحنای فضا" و چگالی مواد قابل مشاهده و "ماده تاریک" دست یافت.

در کنار روش های نامبرده جهت اندازه گیری فواصل کیهانی، اکنون دانشمندان قادرند تا با بررسی دقیق ارتعاشات امواج پیش زمینه کیهانی میزان "ثابت هابل" را بدست آورند. برای این منظور آنها با استفاده از قوانین فیزیک ذرات برای عناصر هیدرژن و هلیوم - تنها عناصری که در اوایل انفجار بزرگ موجود بودند - ابتدا دمای مجموعه ذرات (حوضچه ذرات بنیادی) را تعیین نموده، که از طریق آن به صورت غیر مستقیم قادر به مشاهده و ردگیری امواج می شوند. این دما چیزی حدود ۳۰۰۰ درجه تعیین گردید. در ادامه با استفاده از دانستنی های گذشته در خصوص چگالی ماده قابل مشاهده و "ماده تاریک"، کیهان شناسان تخمین زدند که عمر جهان در آن زمان چه میزان بوده و "ارتعاشات صوتی باریونی" غالب (Dominant)، چه حجمی از فضا را اشغال کرده بودند.

سپس در قدم بعدی می توان دریافت که اندازه تکه های اجرام و مواد جهان اولیه در قیاس با تصویر "تشعشعات پیش زمینه" که اکنون در اختیار داریم، چگونه بوده است. اندازه های به دست آمده برای اختر شناسان، به عنوان نوعی واحد متریک برای دانش بررسی "امواج مایکروویو پیش زمینه" عمل می کند. از جانب دیگر به دلیل شناخت زوایای کیهانی و طیف کامل تابش امواج در برهه های گوناگون نسبت به موقعیت کره زمین، می توان با استفاده از معادلات مثلثاتی به سادگی محاسبه نمود که در آن زمان در چه فاصله ای از کره زمین، امواج پیش زمینه، شروع به تابش کرده اند. حال جهت دست یابی به "ثابت هابل" کافی است که فاصله به دست آمده را با جداول طیف نور (رنگ آن و یا انتقال به سرخ) مقایسه نموده و در ادامه، دمای موجود در ۳۸۰ هزار سال پیش را با دمای کنونی جهان مقایسه کرده و با در نظر گرفتن سایر پارامترهای کیهانی، میزان امروزی "ثابت هابل" را تعیین نمود.

بسیار جالب توجه است، هنگامی که کلیه این گونه تلاشها را با هم جمع می زنیم، متوجه می شویم تا چه حدود بالایی کیهان شناسان با استناد به دانش "امواج پیش زمینه کیهانی" قادر به دست یابی و بررسی اطلاعاتی که در ورای آن نهفته است می باشند. بی دلیل نیست که آنها نام آن را "گنجینه اطلاعات" گزارده اند. اما باید این را هم بدانیم که دست یابی به چنین اطلاعات مشکلات خود را در پی دارد. در حال حاضر برداشت های مختلفی از جانب گروه های گوناگون دانشمندان از وضعیت اوایل جهان ارائه می شود، از جمله این که ارقام به دست آمده در خصوص میزان "ثابت هابل" تا چه اندازه محوری، مستند و واقعی هستند، به خصوص هنگامی که گروه های تحقیقاتی مستقل هر کدام ارقام دیگری از "ثابت هابل" را ارائه می دهند. به عنوان مثال در این خصوص می توان از گروه تحقیقاتی "تلسکوپ قطب جنوب South Pole Telescope" نام برد. این تلسکوپ دارای دقت اندازه گیری بالاتر زوایای کیهانی، در قیاس با "ماهواره پلانک" است، ولیکن فقط محدوده کوچکی از فضا را رصد می کند و قادر نیست تا نوسانات چگالی در فضاهای بسیار بزرگتر را در نظر گیرد. میزان "ثابت هابل" که این گروه ارائه دادند، بسیار نزدیکتر به ارقام ارائه شده توسط گروه آقای "آدام ریس Adam Riess" و روش نردبانی او هستند. به نحوی، هنگامی که نتایج کل محدوده اندازه گیری هر دو متد را با دیگری مقایسه می کنیم، نتایج متفاوتند. اما در بررسی و مقایسه فقط برش هایی از کل طیف، نتایج تقریباً با هم برابرند، با این پیش برداشت که اشتباهات اندازه گیری و آماری در هر دو سنجش تا میزان بالایی حذف شده و قابل اطمینان هستند.

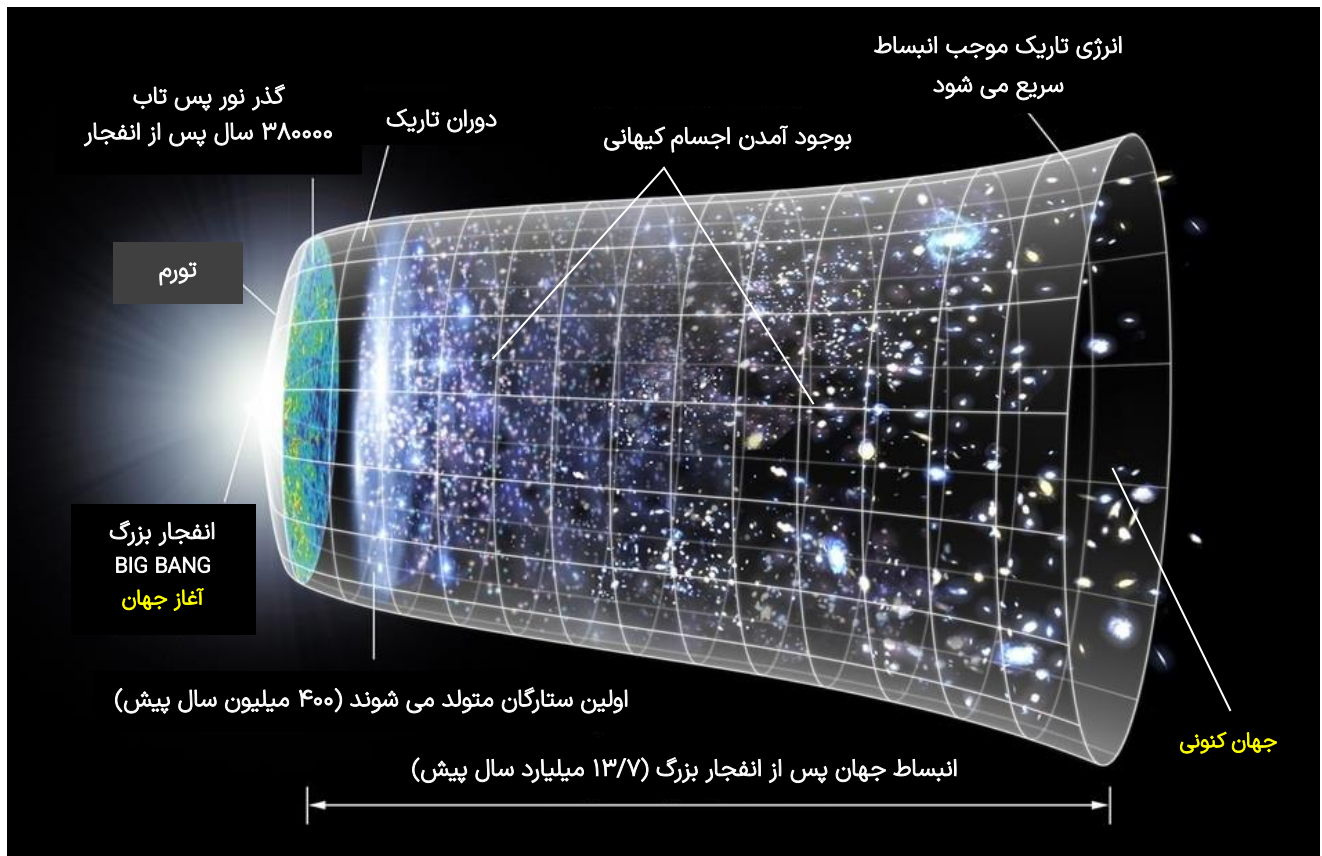
نگاهی دقیق نشان می دهد که این اختلاف نظر میان نتایج اندازه گیری شده، تا چقدر عمیق است

در حال حاضر دو گروه تحقیقاتی با نتایج مختلف روبروی هم قرار گرفته اند: در یک سو دانشمندانی که بر اساس نتایج گروه "آدام ریس" میزان "ثابت هابل" را معادل ۷۲ تا ۷۵ (Km/s/Mpc) تعیین کرده اند و از جانب دیگر فیزیک دانان کیهانی با استناد به "تابش پیش زمینه" میزان آن را ۵ الی ۸ (Km/s/Mpc) کمتر از نتایج گروه اول رقم زده اند. در نگاه اول به نظر می آید که نتایج هر دو گروه چندان از یکدیگر متمایز نیستند، ولیکن یک نگاه دقیقتر نشان می دهد که این شکاف در نتایج اعلام شده، پیامد های خود را داشته و عمیقتر از آن است که به نظر می آید. با این وجود که هر دو تیم در طول سالیان تلاش بی وقفه نتایج اعلام شده را چندین بار راستی آزمایی کرده و کلیه اشتباهات احتمالی آماری و انواع دیگر را حذف کرده اند، نتایج به دست آمده یکی نیستند. پرسش این است که کدام یک در مسیر درست تری قرار دارند و حق با چه کسی است؟

داستان این گونه است که مسلماً هر کدام از روش های اندازه گیری دارای نقاط ضعف خود هستند. به عنوان مثال در روش استفاده از خصوصیات "امواج پیش زمینه کیهانی"، صحت نتایج مستقیماً طبق الگوی استاندارد کیهانی، با پیش فرض های مهمی که باید در نظر گرفته شوند مرتبط است. من باب مثل هنگامی که برای درک "انرژی تاریک" الگویی انتخابی مانند ثابت بودن "ثابت کیهانی" در نظر گرفته شود، این برداشت بلاوقفه روی میزان "ثابت هابل" اثر می گذارد. شبیه همین ضعف نیز در روش اندازه گیری با استفاده از "عدسی های کیهانی" و بهره گیری از خصوصیات هسته های فعال کهکشانی و "خطوط گرانش" نمایان می شود. فراتر از آن در این میان، دقت تصاویر عدسی های کیهانی که دوربین های زمینی عرضه می کنند نیز رلی اساسی بازی می کند، چه بسا دانستن دقیق پراکندگی مواد در کهکشان های دوردست، محوری است و در حال حاضر به آن دسترسی نداریم.

حتی در مورد مدت اندازه گیری توسط آقای "آدام ریس" نیز مشکلاتی مانند عدم اعتبار ارقام بدست آمده برای کل جهان وجود دارد، چه بسا در این روش فقط میزان "ثابت هابل" در زمان کنونی روی کره زمین اندازه گیری می شود. هنگامی که نور کهکشان های دوردست را اندازه گیری می کنیم، در واقع نه زمان حال، بلکه گذشته بسیار دور تا چند صد میلیون سال نوری را می سنجم، زمانی که نور ستارگان احتیاج داشته تا به کره زمین برسند! زمانی که انبساط جهان در گذشته با سرعت های دیگری به مراتب بالاتر از زمان کنونی به وقوع می پیوسته است.

همین چالش در اندازه گیری فواصل است که مستقیماً توجیح می کند که با توجه به نمودار هابل (صفحه ۲)، در محدوده اندازه گیری، نمی توان نقاط روی نمودار را از طریق خطی مستقیم با یکدیگر مرتبط نمود، دست کم وقتی با چنان حجمی عظیم از جهان، معادل میلیارد ها سال نوری روبرو هستیم. هنگامی می توان انبساط جهان (افزایش سرعت و فواصل) را به گونه ای خطی فرض نمود که تورم کیهان با سرعتی ثابت انجام شده باشد، در حالی که شواهد نشان می دهند چنین نبوده است!

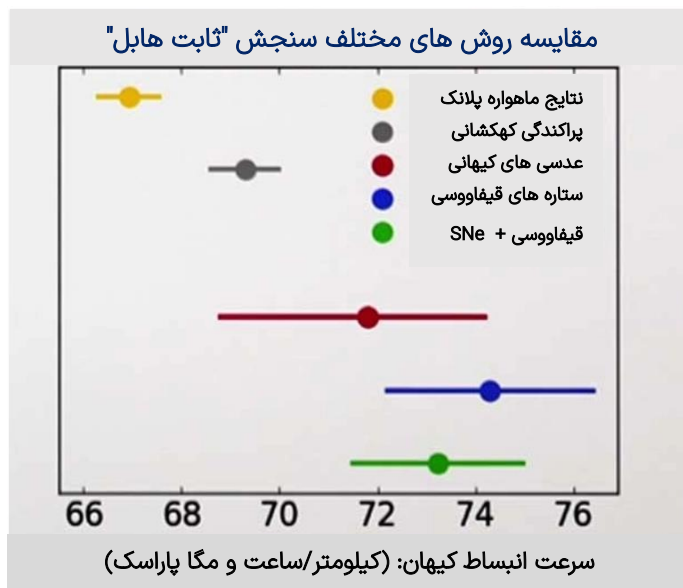


تاریخچه کوتاه کیهان: در اوایل دمای مواد به گونه ای غیر قابل تصور بالا بود. پس از ۳۸۰۰۰۰ سال از زمان انفجار بزرگ، ذرات بنیادی مانند الکترون ها و پروتون ها با یکدیگر تلفیق شده و اتم هیدروژن را بوجود آوردند، پس از آن بود که جهان به مرور اشکال دیگری به خود گرفته و کهکشان ها و سایر اجسام کیهانی متولد شدند.

در هر حال، انرژی تاریک که هنوز از چگونگی و ساختار فیزیکی آن بی خبریم، موجب سرعت بخشیدن به تورم جهان شده است. این بدان معنی است که نقاط روی "نمودار هابل" را نمی توان از طریق یک خط مستقیم به دیگری ارتباط داد، بلکه به جای آن باید از خطی منحنی با شیب مثبت یا منفی استفاده نمود. لذا فقط برای فضای حاشیه ای در اطراف کره زمین، می توان با تقریبی متوسط در زمان صفر با محاسبه تانژانت زاویه "ثابت هابل" را تعیین کرد. لذا تانژانت زاویه منحنی در مسیر آن در زمان های گوناگون، چیزی جز میزان "ثابت هابل" در گذشته های دورتر نیست. بدیهی است که اگر موجودات هوشمندی مجهز به تلسکوپ در کهکشانی که یک میلیارد سال نوری با زمین فاصله دارد زندگی می کردند، برای آنها میزان اندازه گیری شده "ثابت هابل" مسلماً چیز دیگری بوده است.

با توجه به آنچه گفته شد، معضل اصلی از همین جا شروع می شود: جهت تعیین "ثابت هابل" در فضای حاشیه ای از طریق روش "آدام ریس" (روش نردبانی)، ابتدا باید اجسام حاشیه ای را که فاصله نوری آنها تا کره زمین در مقایسه با فاصله نوری از زمان انفجار بزرگ تا امروز بسیار کم و قابل صرفنظر کردن است رصد نمود. در این میان ساختار مواد کیهانی و تشکیل دهنده کهکشان ها، مجموعه های کهکشانی و حتی فضاهای خالی نقش مهمی را ایفا می کنند. چنین موادی مستقیماً روی حرکت نسبی اجسام آسمانی اثر می گذارند و ما هنوز از ماهیت آنها بی خبریم، ولیکن تاثیر آنها در میزان و افت و خیز حرکت تورمی عالم حتمی است.

با استناد به جدید ترین دانسته های کیهانی، اجسام کیهانی که فاصله آنها تا کره زمین حدود 100 (Km/s/Mpc) معادل 300 میلیون سال نوری است و طبق آنچه گفته شد، سرعت حرکت نسبی آنها نسبتاً نازل و قابل صرفنظر کردن است را می توان جهت محاسبه "ثابت هابل" در نظر گرفت. میانگین قابل قبول چنین فاصله ای حدود 300 الی 500 میلیون سال نوری است. فقط در چنین فواصلی می توان سرعت حرکت تورمی آنها را با مقادیر امروزی با تقریب خوبی یکی دانست. بدیهی است که حتی همواره در چنین فواصلی اشتباهات آماری و اندازه گیری و نا آگاهی از میزان حرکات نسبی کهکشانی حتی با کمک رایانه های قدرتمند نقش خود را ایفا می کنند.



کیهان شناسان با استناد به نتایج سنجش "ماهواره پلانک" از طریق امواج مایکروویو از جانبی، و از طرف دیگر با استفاده از ماهواره هایی که روش "آدام ریس -نردبانی" را اندازه گیری می کنند و سایر روش های دیگر مانند استفاده از عدسی های کیهانی و امثال آن، برای میزان "ثابت هابل" نتایج مختلفی بدست آورده اند.

نمودار (چپ) پنج روش سنجش "ثابت هابل" را مقایسه کرده است

در کنار مشکلات نامبرده امکان بروز اشتباهاتی که تا کنون از نظر پوشیده مانده وجود دارد. این دلیلی است که دانشمندان می کوشند روش های دیگری را که احتمالاً شانس دقت سنجش را افزایش دهند، جایگزین متدهای کنونی کنند. یکی از چنین روش هایی به اصطلاح روش رصد اجسامی کیهانی بنام "مگا میز Megamaser" که صدها میلیون سال نوری از ما فاصله دارند می باشد. آنها تشکلاتی هستند که از سیاه چاله های بسیار عظیم، دارای حجمی صدها بار بزرگتر از خورشید ما که در اطراف آنها ابرهای ملکولی در چرخش هستند، ساخته شده اند.

ابرهای ملکولی نامبرده تشعشعات خاصی را ارسال می کنند که می توان از طریق آن فاصله میان آنها و سیاه چاله را اندازه گرفت، و متعاقباً، غیر مستقیم فاصله سیاه چاله از کره زمین را. متأسفانه تا کنون تعداد کمی از چنین "مگامیزرها" کشف شده اند. امید دیگری که در سال های آینده در راه است، ارسال ماهواره های مدل "جائیا Gaia Satellites" است که می توان از طریق آنها روش اندازه گیری "آدام ریس - نردبانی" را بهبود بخشیده و آن را ساده تر نمود.

پس از ملاحظات کلی این پرسش مطرح می شود که آیا روش سنجش "امواج پیش زمینه کیهانی" نیز احتمالاً عاری از اشتباه نیست؟ من در بالا اشاره کردم که این احتمال بسیار بعید به نظر می رسد و فقط شاید در طراحی الگوی کیهانی موجودف چیزی از قلم افتاده باشد، و یا تصور ما از فضای آغازین کیهانی کاملاً با حقیقت یکی نباشد. بسیار امکان دارد که در این فاز از تحقیقات، ناگهان با پدیده های کیهانی و نظریه های کاملاً جدیدی روبرو شویم.

در حال حاضر پیشنهاد های گوناگونی عرضه شده که چگونه می توان به بحث و جدل خاتمه داد

چند تن از همکاران من موضوع جدیدی را پیش کشیده اند، و آن امکان وجود نوع جدیدی از ذرات بنیادی "نوترینو **Neutrino**" می باشد که امکان دارد معما را حل کند، مثلا نوعی از نوترینو به نام "نوترینوی استریل **Sterile Neutrinos**". فراتر از آن امکان تعامل نامعلوم میان سه نوع نوترینوی شناخته شده نیز وجود دارد. احتمال دیگر مربوط به "ماده تاریک" و همکنش آن با مواد شناخته شده می باشد.

همه پارامترهای نامبرده این توانایی را دارند تا در اوایل جهان به نوعی وارد عمل شده و "ثابت هابل" را تغییر داده باشند که از نظر من محققا چنین بوده است. آنچه مشهود است این واقعیت است که هیچکدام از نظریات اعلام شده به تنهایی قادر به توجیه کامل آنچه واقعا رصد یا محاسبه شده نیستند.

هنگامی که وسعت کل چالش را بررسی کنیم، نتیجه این است که اصولا نتایج تحقیقات زمینی و پژوهش های کیهانی نمی توانند کاملا شبیه دیگری باشند، چه بسا نتایج میدانی فقط محدوده ای از فضا را در نظر گرفته و متضاد آن ارقام بدست آمده کیهانی بر اساس "امواج پیش زمینه کیهانی"، کل جهان از بدو تولد را منظور می کنند. به عنوان مثال هنگامی که صبح ها به پیشگویی شرایط جوی گوش می کنیم انتظار نداریم که گوینده میزان معدل گرمای یک سال را به اطلاع برساند، بلکه حدود و میانگین دمای همان روز را اعلام می کند.



بدیهی است که میزان سنجش سرعت انبساط در پهنه کیهان در مناطق گوناگون، بدلیل چگالی مختلف مواد و فشردگی و نوع آن متفاوت بوده و تغییرات نسبی کوچکی را ایجاد می کنند. چند گروه تحقیقاتی در سالیان گذشته، اثرکرد چنین عواملی را در متغیر بودن سرعت تورم کیهان محتمل می دانند. یکی از این تیم های تحقیقاتی در سال ۲۰۱۴ که اینجانب نیز در آن سهیم هستیم، به این نتیجه رسید که میانگین این گونه تغییرات سرعت می تواند چیزی حدود ۲ (Km/s/Mpc) باشد. در کنار انواع متد های اندازه گیری روش سنجش میزان "امواج گرانش" که روی کره زمین اندازه گیری می شوند نیز نتایج قابل توجه ای با میانگین حدود ۱۰٪ را ارائه داده اند. در کل انتظار می رود که با پیشرفت تکنولوژی و افزایش دقت سنجش ماهواره ها و تلسکوپ ها بتوان در آینده به نتایجی قابل قبول برای همه متخصصین دست یافت.