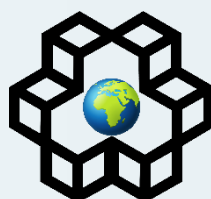


ثابت هابل و مدل استاندارد فیزیک

مهران میر شمس
آزمایشگاه تحقیقات فضایی
بهار ۱۴۰۴



www.spacerl.com

ثابت هابل^۱

کهکشان‌ها با سرعت در حال دور شدن از یکدیگر هستند. طبق نظریه‌های موجود این پدیده به دلیل وجود انبساط کیهان^۲ اتفاق می‌افتد. مقدار انبساط کیهان با قانون هابل-لمارتی^۳ محاسبه می‌گردد.

طبق این قانون سرعت دور شدن یک کهکشان از کره زمین برابر است با فاصله آن کهکشان تا زمین، ضربدر نرخ انبساط کیهان. نرخ انبساط کیهان وابسته به مقدار عددی ثابت هابل است. به عبارت دیگر ثابت هابل برابر است با نرخ انبساط کیهان تقسیم بر واحد حجم فضا با عرض ۳۲۶۰۰۰ سال نوری. به عنوان مثال وقتی می‌گوییم ثابت هابل برابر

$67.4 \frac{km/s}{MPC}$ است، منظور این است که واحد حجم فضا با عرض ۳۲۶۰۰۰ سال نوری با نرخ ۶۷/۴ کیلومتر بر ثانیه منبسط می‌گردد. تعیین مقدار دقیق ثابت هابل یکی از چالش‌های اصلی در کیهانشناسی است. این چالش زمانی حادث شد که تیمی از کیهانشناسان فاصله یک خوشه کهکشانی با نام خوشه «کوما»^۴ تا زمین را اندازه‌گیری کردند و متوجه شدند این خوشه کهکشانی ۳۹ سال نوری نسبت به عددی که از مدل استاندارد فیزیک برای ثابت هابل بدست می‌آید، به زمین نزدیک‌تر است!

برای فهم بهتر مشکل نیاز به اطلاعات پایه داریم. کیهانشناسان از دو روش برای اندازه‌گیری فواصل اجرام کیهانی استفاده می‌کنند (شکل ۱). اولین روش به نام «شمع‌های استاندارد»^۵ شناخته می‌شود. در این روش درخشندگی قابل انتظار پدیده‌های کیهانی مثل انفجار سوپرنواها^۶ از طریق مشاهده مستقیم اندازه‌گیری شده و با استفاده از اثر جابجایی طول موج قرمز^۷ سرعت دور شدن کهکشانی که پدیده در آن قرار دارد اندازه‌گیری می‌گردد. در مرحله بعد با استفاده از قانون هابل-لمارتی ثابت هابل را اندازه‌گیری می‌کنند. با استفاده از این مدل ثابت هابل مقدار

$$73.2 \frac{km/s}{MPC} \text{ بدست می‌آید.}$$

روش دوم: اصطلاحاً سفر به گذشته است. یعنی نزدیک شدن تا حد امکان به زمان شروع جهان. تابش میکروموج پس زمینه فضا^۸ (CMB) همان تابش نور در جهان هستی، ۳۷۹۰۰۰ سال پس از مه‌بانگ^۹ است. قبل از این زمان کل جهان هستی با گاز یونیزه شده یا همان پلاسما اشغال شده بود. درجه حرارت آنقدر بالا بوده که امکان ترکیب الکترون‌ها و ذرات اتمی وجود نداشته است. نور امکان رد شدن از پلاسما را ندارد. به عبارت دیگر پلاسما برای نور، کدر است و موج‌های متراکم در آن بازتاب می‌شوند. با کاهش دما، بعد از ۳۷۹۰۰۰ سال امکان ترکیب الکترون‌ها و ذرات اتمی و تشکیل اتم‌ها بوجود آمد. پلاسما تبدیل به ابری از گازهای هیدروژن و هلیوم خنثی شد و امکان عبور نور فراهم آمد ولی آن موج‌های متراکم ناشی از انفجار اولیه در ماده پراکنده شده در هستی به اصطلاح به دام افتاده تا به امروز هم باقی‌مانده‌اند. البته در مقیاس بسیار بزرگ‌تر.

¹ Hubble Constant

² Universe's Expansion

³ Hubble-Lemaitre Law

⁴ Coma Cluster

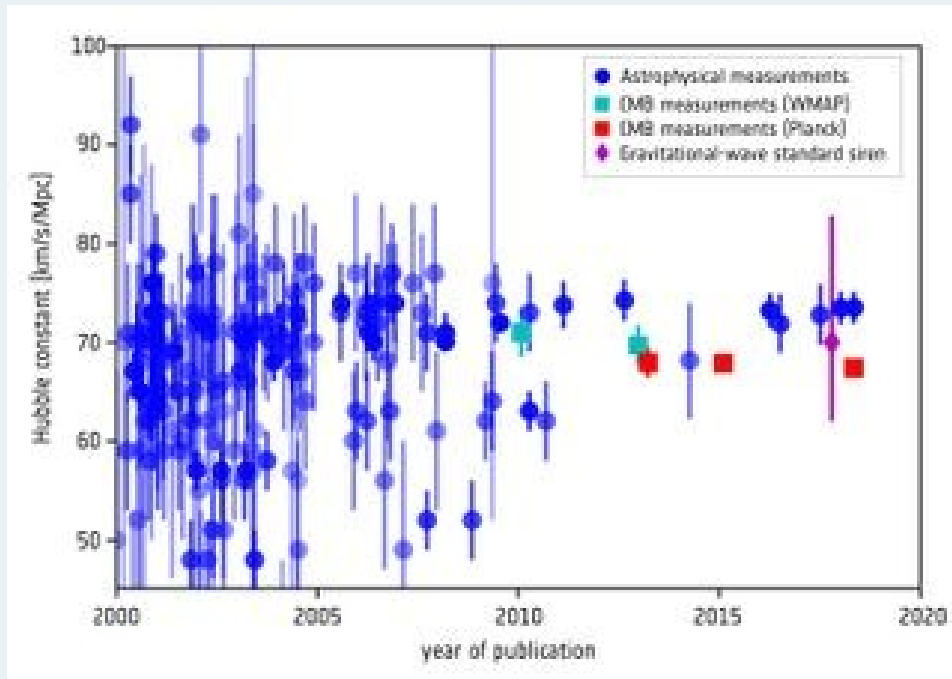
⁵ Standard Candles

⁶ Supernova explosions

^۷ Red Shift : قانون جابجایی طول موج قرمز می‌گوید هرچه جسم با سرعت بیش‌تری از ما دور شود نور آن به طول موج‌های قرمزتری می‌رود.

⁸ Cosmic Microwave Background

⁹ Big Bang



شکل ۱: The Hubble constant remains little change at a value of 67.4 km/sec-Mpc corresponding to 13.8 billion years for the age of the universe. (Image credit: ESA/Planck Collaboration)

دانشمندان با تحت نظر گرفتن CMB و استفاده از مدل استاندارد فیزیک^{۱۰} قادر به انجام پیش‌گویی‌هایی در مورد جهان هستند. مدل استاندارد، که بر اساس نظریه نسبیت عام آقای اینشتین کار می‌کند، اصلی‌ترین ابزار موجود به منظور شناخت رفتار جهان است. در حقیقت کاری که می‌کنیم، اندازه‌گیری CMB در ابتدای تشکیل جهان و بعد استفاده از آن برای پیش‌بینی انبساط جهان امروزی است. ولی مسئله اینجاست که پیش‌بینی مدل‌های موجود با مشاهدات عینی تطابق ندارند. با بکارگیری اطلاعات بدست آمده از سفینه پلانک^{۱۱}، و مدل استاندارد فیزیک مقدار ثابت هابل برابر $67.4 \frac{km}{s/MPC}$ بدست می‌آید.

تا آنجا که ما می‌دانیم هر دو روش درست و نتایج آن‌ها قابل اعتماد هستند، ولی تنها یکی از این دو عدد می‌تواند درست باشد. در محافل علمی این تناقض را به «تنش هابل^{۱۲}» می‌شناسند.

این مسئله به بحثی جدی بین دانشمندانی که از روش «شمع‌های استاندارد» استفاده می‌کنند با دانشمندانی که از روش «مدل استاندارد» برای تعیین نرخ انبساط جهان استفاده می‌کنند تبدیل شده است. به منظور کشف حقیقت به اطلاعات بدست آمده از رصدخانه کیت‌پیک^{۱۳} رجوع گردید. این رصدخانه انبساط جهان را از سال ۲۰۲۰ زیر نظر داشته است. در طول ۵ سال فعالیت، نور رسیده از ۳۰ میلیون کهکشان را ثبت و نحوه تأثیرگذاری ماده تاریک بر روی شتاب انبساط جهان را بررسی کرده است. نتیجه بدست آمده از این پروژه عدد $68.5 \frac{km}{s/MPC}$ برای ثابت هابل بوده است. عددی نزدیک به پیش‌بینی مدل استاندارد و اطلاعات ماهواره پلانک. اما این رصدخانه، ثابت هابل را به روش «شمع‌های استاندارد» هم محاسبه کرد و نتیجه عدد $76 \frac{km}{s/MPC}$ بود که نشان می‌داد تنش هابل همچنان برقرار است.

¹⁰ Standard Model

¹¹ Planck Spacecraft

¹² Hubble Tension

¹³ Kitt Peak

دانشمندان به این نتیجه رسیدند که خطای در اندازه‌گیری‌ها وجود دارد و درصدد رفع آن برآمدند. تلسکوپ واقع در رصدخانه کیت‌پیک را به سمت خوشه کهکشانی کوما^{۱۴} نشانه گرفتند. طبق پیش‌بینی مدل استاندارد خوشه کهکشانی کوما باید ۳۵۹ میلیون سال نوری از ما فاصله داشته باشد ولی محاسبات انجام گرفته بر اساس تصاویر بدست آمده از تلسکوپ این فاصله را 321 ± 7 میلیون سال نوری نشان می‌داد.

حال یک مشکل دیگر پیدا شده بود، نه تنها «تنش هابل» قابل توجیه نیست و مقدار دقیق «ثابت هابل» را نمی‌توان تعیین کرد، که خود «مدل استاندارد» هم زیر سؤال رفته، آن هم با دلایل و شواهدی غیرقابل انکار. «مدل استاندارد» موفقیت‌های زیادی داشته، از جمله توضیح چگونگی شکل‌گیری، رشد و تکامل کهکشان‌ها و پیش‌بینی تابش میکرو موج پس‌زمینه فضا، ولی به طور حتم هنوز نیاز به تکمیل و تصحیح دارد.

مرجع:

- Hubble tension is now in our cosmic backyard, sending cosmology into crisis, [News](#) By [Keith Cooper](#), published January 22, 2025
- https://www.space.com/space-exploration/hubble-space-telescope/hubble-tension-is-now-in-our-cosmic-backyard-sending-cosmology-into-crisis?utm_term=C944E6CE-8B53-4EF8-9CD3-8058C9C3B46E&lrh=c69b40b51fb082bb2f89a3b4ce6dda8baa97f75609b42925039a8a180a060374&utm_campaign=58E4DE65-C57F-4CD3-9A5A-609994E2C5A9&utm_medium=email&utm_content=96CE02CA-CODE-4502-B4AC-C82B4E002235&utm_source=SmartBrief