

Descriptive analysis on WMAP and Planck observation data

S. Davood Sadatian*

Department of Physics, Faculty of Science, University of Neyshabur, Neyshabur, Iran

Received: 29.11.2019 Final revised: 24.02.2020 Accepted: 03.05.2020

Doi link: [10.22055/JRMBS.2020.15572](https://doi.org/10.22055/JRMBS.2020.15572)

Abstract

In this study, according to the observation data obtained through two planck and WMAP satellites, in addition to studying and describing them, we obtain the highest adjustment and correlation between the calculated value and the observation of these data. However, these satellites periodic presentation of data from the universe, which has been modified in relation to previous data, therefore requires comparative and comparative analysis between them, and by determining the coefficient of correlation between them, we can find the best value of each parameter for using in cosmic models.

However, By reviewing this article, the following results are obtained:

1. The Hubble parameter is presented as the most important factor in determining other basic parameters of cosmology and its values in various articles. According to recent data, the value of this parameter has been obtained over the past 25 years in the range of $50 < H_0 \left(\frac{km}{sec.Mpc} \right) < 80$, but the amount now considered as the most probable data for the current Hubble parameter, The latest announcement by Planck Satellite in 2015, $H_0 = 67.9 \pm 1.5 \left(\frac{km}{sec.Mpc} \right)$.

2. Different density parameters such as ordinary and dark matter, baryonium, neutrino and dark energy were introduced as another fundamental parameter of cosmology and their methods of determination were investigated. Considering the very different data, the density of ordinary matter And the dark is in the range $0.1 < \Omega_m < 0.5$. Also, the appropriate interval for the baryon density parameter is $0.01 < \Omega_b h^2 < 0.025$. The last values given for the baronic density and cold dark matter and the whole world in 2015 were given by Planck satellite as $\Omega_b h^2 = 0.02217 \pm 0.00033$ and $\Omega_c h^2 = 0.1186 \pm 0.0031$. All quantities given by various papers for the total density of the universe support a value of $\Omega_0 \sim 1$, and this represents the flat cosmology model for our current universe. With respect to this value of Ω_0 , the current density of the universe is $\rho_0(t) = 1.880 \times 10^{-29} h^2 \Omega(t) \left(\frac{gr}{cm^3} \right)$.

3. The age of the universe was studied as one of the other fundamental parameters of the universe. By summarizing different data, an interval can be drawn

$1.2 \times 10^{10} (yrs) \leq t_0 \leq 1.8 \times 10^{10} (yrs)$ for the current age of the world, but according to the latest Planck satellite data, the most likely value for the current age of the world is 13.82 Billions of years.

Finally, a comparative analysis was carried out between some of the other important cosmological parameters according to Planck and WMAP data that are used to solve some cosmic problems and astrophysics. This research can be used for any expert who considers astronomy and astrophysics issues as a guidebook for examining cosmic models.

Keywords: Observation data, Cosmological parameters, Cosmic fluctuations

* Corresponding Author: sd-sadatian@um.ac.ir



تحلیل توصیفی داده‌های رصدی ماهواره‌های WMAP و Planck

سید داود ساداتیان*

گروه فیزیک، دانشکده علوم، دانشگاه نیشابور، نیشابور، ایران

دریافت: 1398/09/08 ویرایش نهایی: 1398/12/05 پذیرش: 1399/02/14

Doi link: [10.22055/JRMBS.2020.15572](https://doi.org/10.22055/JRMBS.2020.15572)

چکیده

در این پژوهش با توجه به داده‌های رصدی به دست آمده از طریق دو ماهواره مطالعاتی WMAP و Planck علاوه بر بررسی و توصیف داده‌های دریافتی، بیشترین تنظیم و همبستگی بین مقدار محاسبه شده و رصدی این داده‌ها را نشان خواهیم داد. لازم به ذکر است این ماهواره‌ها به صورت دوره‌ای داده‌های به دست آمده از کیهان را ارائه می‌نمایند که نسبت به داده‌های قبلی تغییراتی در آنها ایجاد شده، بنابراین لازم است که مقایسه و تطبیقی بین آنها انجام پذیرد و با تعیین میزان همبستگی بین آنها (در نجوم، تابع همبستگی توزیع کهکشان‌ها در کیهان را توصیف می‌کند. بر اساس مشاهدات، توزیع کهکشان‌ها در آسمان، یکنواخت نیست و آن‌ها در ساختارهایی مانند خوشه‌ها، ابرخوشه‌ها، رشته‌ها، تهی‌جاها و ... وجود دارند. عدم یکنواختی این توزیع، به کمک تابع همبستگی دو-نقطه‌ای توصیف می‌شود)، بهترین مقدار هر پارامتر برای استفاده در مدل‌های کیهانی تعیین شود. شایان ذکر است این پژوهش می‌تواند برای هر متخصصی که موضوعات نجوم، اختر فیزیک و کیهان‌شناسی را بررسی می‌کند همچون یک کتاب راهنما جهت بررسی مدل‌های کیهانی استفاده شود.

کلیدواژگان: داده‌های رصدی، پارامترهای کیهان شناسی، اف و خیزهای کیهانی

مقدمه

از این دو کشور خواسته شد که در دو کنسرسیوم³ بزرگ بین‌المللی شرکت کنند که یکی به سرپرستی ایتالیا و دیگری به سرپرستی فرانسه بود. اما در این کنسرسیوم‌ها تقریباً تمام کشورهای اروپایی و حتی آمریکا و کانادا نیز تحت عنوان پروژه اس‌ا⁴ حضور یافتند و به این ترتیب این پروژه به مأموریت ساخت این ماهواره تبدیل شد.

هدف اولیه پلانک رصد میکروامواج پس زمینه کیهانی⁵ (CMB) است که 380 هزار سال پس از انفجار بزرگ⁶ گسیل شده‌اند. در این پروژه همچنین

در این مقدمه ابتدا به طور اجمالی به معرفی دو ماهواره پلانک¹ و WMAP² می‌پردازیم و سپس داده‌های رصدی آنها را بررسی می‌نماییم. در نهایت نتیجه‌ای توصیفی از گزارش داده‌های آنها بر روی پارامترهای مهم کیهان شناسی ارائه می‌کنیم. در سال 2009 ماهواره پلانک (Planck) به مدار پرتاب شد. اولین تیم‌هایی که در همکاری با این پروژه شرکت کردند از ایتالیا و فرانسه بودند که این پروژه را در سال 1992 در حدود 20 سال پیش آغاز کرده بودند. بعدها

*نویسنده مسئول: sd-sadatian@um.ac.ir

¹ Planck

² The Wilkinson Microwave Anisotropy Probe

³ Consortium

⁴ ASA project

⁵ The cosmic microwave background

⁶ Big Bang



ماهواره برای بسامدهای بالاتر (بین 100 تا 850 گیگاهرتز) دستگاه دیگری با عنوان دستگاه بسامد بالا (HFI)³ وجود دارد که کار آن بولومتری (اندازه گیری انرژی ساطع شده از پرتوهای الکترومغناطیس) می نامند. بولومترها ترمومترهای بسیار حساسی هستند که به افزایش دمایی که از پرتوهای با شدت کم و زیاد برانگیخته شده اند واکنش نشان می دهند. به منظور دستیابی به این حساسیت بسیار بالا، این بولومترها⁴ به خنک شدن حتی تا دمای 271 درجه سانتی گراد زیر صفر نیاز دارند. این اولین بار است که در فضا از دستگاهی استفاده می شود که تا این حد سرد شده است. به طوری که تاکنون هرگز حتی در لابراتورهای زمینی نیز هیچ دستگاه به این دمای بسیار پایین نرسیده است. این دو دستگاه یعنی LFI و HFI طرح کانونی یک تلسکوپ واحد را با یکدیگر به اشتراک می گذارند و به روشی بسیار فشرده در تلسکوپ که قطری در حدود یک متر و نیم دارد در هم ادغام می شوند. بدین ترتیب تلسکوپ با آن دو آشکار ساز (در حالی که هم روی خود و هم در مدار خود می چرخد) آسمان را محک زده و به تدریج تمام آسمان را پوشش خواهد داد و نقشه کاملی از اعماق فضا را با یک حساسیت بسیار بالا ارائه می کنند [2]. به خاطر دقتی که پلانک دارد و می تواند ویژگی های اعماق امواج میکرو را اندازه گیری کند می توان انتظار داشت که اطلاعات جدیدی از ساختار جهان، انرژی و ماده ای که جهان را تشکیل می دهند به دست آورد.

WMAP، که نام آن از نام یکی از پیشگامان علم کیهان شناسی، دیوید ویلکینسون⁵ گرفته شده است، در سال 2001 به فضا پرتاب شد. این ماهواره موفق شد با دقتی بی سابقه، تصویری از جهان ابتدایی را تنها زمانی

رمزگشایی اطلاعات مربوط به بخش های پایه ای جهان و منشأ ساختار کیهانی مورد بررسی قرار گرفته است. ایده اصلی پروژه پلانک نقشه نگاری یا کارتوگرافی¹ از گرمای به وجود آمده بعد از انفجار بزرگ است [1]. به لحاظ ساختاری دو نوع آشکار کننده در این ماهواره وجود دارند که از فناوری های بسیار متفاوتی استفاده می کنند. یکی از این دو دستگاه بسامد کم (LFI)² نام دارد که بر پایه تقویت کننده صدای کم استوار شده است. این تقویت کننده ها ترانزیستور متعادل کننده الکترون بالا نامیده می شوند. این دستگاه تقویت کننده هایی هستند که سیگنال بسیار ضعیفی را که از عمق جهان دریافت می کنند تقویت کرده و آن را به سطوح قوی می رسانند. سپس این سیگنال ها را با یک «حسگر» می تواند اندازه گیری کنند. به این ترتیب این دستگاه از یک فناوری رادیویی برخوردار است که تنها ویژگی آن حساسیت بسیار زیاد است. این تقویت کننده ها برای رسیدن به حساسیتی که به آن نیاز دارند باید در دمای 20 درجه کلوین (در حدود 253 درجه سانتی گراد زیر صفر) سرد شوند تا به روشی دست یابند که امکان تثبیت بسیار زیاد این گیرنده های رادیویی برنامه ریزی شده را فراهم کند. غیر از حساسیت بالا، ثبات و پایداری یکی از ویژگی های بزرگ این دستگاه است. در حقیقت بسیار مهم است که این دستگاه ها ثبات و پایداری بالایی داشته باشند. این آشکار سازها سیگنال های جعلی را که می توانند با سیگنال های بسیار ضعیف در آمیخته شوند در نظر نمی گیرند. این سیگنال های ضعیف همان مواردی هستند که می خواهیم آنها را در اعماق کیهان اندازه گیری کنیم. از طرفی این دستگاه در بسامد بسیار بالا بین 30 تا 70 گیگاهرتز عمل می کنند. در این

⁴ Bolometer

⁵ David Wilkinson

¹ Cartography

² Low Frequency Instrument

³ High Frequency Instrument

مجموعه‌ای از نقاط تصادفی است. چرا که هر یک از این نقاط بیانگر افت و خیزها و نوسانات یابی‌نظمی‌های تحول اولیه انفجار بزرگ، در مدت زمان اندکی پس از پدید آمدن جهان هستند. این نوسانات کوچک، همانند کوانتاهایی هستند که از آن زمان به‌طور گسترده‌ای در سراسر کیهان پخش شده‌اند. امروزه، این دانه‌های کوچک به خوشه‌های کیهانی و کهکشان‌هایی که ما در آسمان می‌بینیم تبدیل شده است. به بیان دیگر، خود کهکشان راه شیری و تمام خوشه‌های کیهانی دور دست، روزی یکی از نوسانات کوچک بوده‌اند. با مطالعه و اندازه‌گیری توزیع این نوسانات و افت و خیزها، می‌توانیم منشأ خوشه‌های کیهانی را بیابیم.

یافته‌های تطبیقی ماهواره Planck و

WMAP

در این بخش سعی شده است که برخی از یافته‌های این دو ماهواره را با هم تطبیق و برخی تشابه و تفاوت‌های اندازه‌گیری شده توسط این دو را بررسی نماییم. ناهمسانگردی‌های تابش زمینه کیهانی به‌خاطر عوامل گوناگونی به‌وجود می‌آیند. بررسی بسیار دقیق این ناهمسانگردی‌ها به ابزار مهمی برای آزمودن نظریه‌های کیهان‌شناسی تبدیل شده است. افت و خیزهای کنونی تابش زمینه کیهانی حاصل تحول افت و خیزهای آغازین این تابش تحت اثرهای گوناگون فیزیکی هستند. نکته اساسی در بررسی افت و خیزها این است که این افت و خیزها بر اثر شرایط اولیه کاتوره‌ای پدید آمده‌اند. بنابراین مشاهده‌پذیرهای مفید در بررسی ناهمسانگردی‌های تابش زمینه کیهانی تنها ویژگی‌های آماری آنها است و نه خود این افت و

که 380000 سال عمر داشت در اختیار دانشمندان قرار دهد. امروزه با کمک ماهواره WMAP (تصاویر ضبط شده با جزئیات دقیق) نقشه‌ای تهیه شده است که قبلاً از عالم دیده نشده بود؛ تصویری از آسمان که با جزئیات حیرت‌آوری تابش ریز موج ایجاد شده از انفجار بزرگ را نشان می‌دهد. تجهیزات این ماهواره هنرمندانه طراحی شده‌اند. WMAP می‌تواند با استفاده از حسگرهای قدرتمند تابش‌های خفیف ریز موج باقی مانده از انفجار بزرگ را که کل جهان را پر کرده‌اند، آشکار کند. این ماهواره دارای دو تلسکوپ پشت به پشت است که تابش ریز موج تابیده از آسمان را جمع‌آوری کرده و داده‌ها را به زمین می‌فرستد [2]. به‌علاوه WMAP تنها با توان الکتریکی 419 وات (توان 5 لامپ معمولی) تغذیه می‌شود. ماهواره WMAP، در فاصله میلیون‌ها کیلومتری از زمین، به‌اندازه کافی دور از اغتشاشات جوی، که می‌توانند تابش‌های خفیف ریز موج زمینه را به‌راحتی بپوشانند، قرار گرفته و بنابراین امکان مطالعه پیوسته کل آسمان را فراهم می‌آورد. اولین مشاهده WMAP از کل آسمان در آوریل سال 2002 انجام گرفت. شش ماه بعد، دومین مشاهده کامل آسمان صورت پذیرفت. امروزه، ماهواره WMAP، توانسته است جامع‌ترین و جزئی‌ترین نقشه از این تابش را تهیه کند (البته تا قبل از داده‌های پلانک). تابش ریز موج تهیه شده به‌وسیله WMAP، اولین بار به‌وسیله جرج گاموف و همکاران در سال 1948 پیش‌بینی شده بود؛ کسی که همچنین بیان کرد که این تابش، دمای مشخصی دارد. WMAP این دما را کمی بالای صفر مطلق، بین 2/7249 و 2/7251 درجه کلوین اندازه‌گیری کرده است [2].

برای چشم غیر مسلح، نقشه WMAP از آسمان چندان جالب به‌نظر نمی‌رسد؛ چون تصویر آن

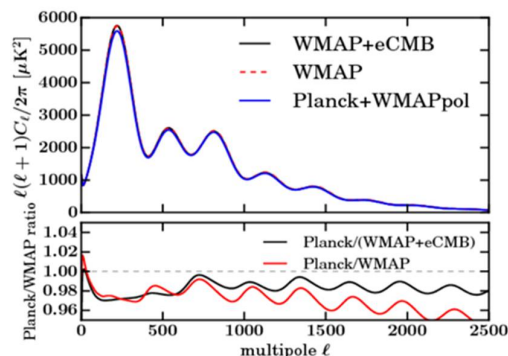
اطلاعات آماری موجود در تابش زمینه کیهانی را می توان از تابع بستگی دو نقطه ای آن به دست آورد که به صورت زیر تعریف می شود:

3

$$C(\hat{n}, \hat{n}) = \langle \Delta T(\hat{n}) \Delta T(\hat{n}) \rangle$$

که در آن، علامت $\langle \rangle$ به معنی میانگین گیری روی کل زاویه فضایی است و تابع ΔT افت و خیزهای دمایی تابش زمینه کیهانی بر روی یک کره است (تابع اسکالر $C(\hat{n}, \hat{n})$ نیز تابع بستگی دو نقطه ای می باشد که از روی روش های آماری به دست می آید. به عبارت دیگر، تابع بستگی، طیف توان توزیع دماهای نقاط مختلف فضا در دامنه فرکانس است. طیف توان مستقیماً توسط نظریه های تشکیل ساختار پیش بینی می شود و توصیف آماری کاملی از افت و خیزها ارائه می دهد). با مقایسه طیف توانی که نظریه های کیهان شناسی پیش بینی می کنند با طیف توانی دیده شده، می توان پارامترهای مهم کیهان شناسی را به دست آورد [4]. نتایج مأموریت ماهواره WMAP سنجش دقیقی از طیف توانی زاویه ای در مقیاسی کمتر از یک درجه است که روی بسیاری از پارامترهای کیهان شناسی قندهای محکمی می گذارد. این نتایج همخوانی بسیار خوبی با نظریه تورم کیهانی² دارد. با این که WMAP سنجش های دقیقی از افت و خیزهای بزرگ در مقیاس درجه دارد (افت و خیزهایی به اندازه زاویه ای ماه در آسمان) و وضوح زاویه ای اش به اندازه سنجش های تداخل سنج های زمینی که افت و خیزهای کوچک تر را سنجیده اند نیست. حال اگر عکس های کارتوگرافی دو ماهواره را مقایسه کنیم در ماهواره پلانک ناهنجاری های عجیبی مشاهده می شود، یکی از مهمترین آنها وجود نقطه ای در آسمان است که بخش وسیعی از آن را شامل می شود و منطقه سرد³ نامیده می شود طبق داده ها از آنجا علائم ضعیفی

خیزها. طیف توانی¹ ناهمسانگردی تابش زمینه کیهانی برحسب جدایی زاویه ای (یا مؤلفه چندقطبی) دو ماهواره Planck و WMAP و نسبت آنها در شکل زیر نشان داده شده است.



شکل 1. طیف توانی ناهمسانگردی تابش زمینه کیهانی برحسب جدایی زاویه ای یا مؤلفه چندقطبی دو ماهواره پلانک و WMAP و نسبت آنها [1].

از آنجا که افت و خیزهای دمایی تابش زمینه کیهانی یک تابع عددی روی کره است، بهترین راه برای بررسی آنها بسط آنها برحسب هماهنگ های کروی است. هماهنگ های کروی توابع پایه راست هنجار روی کره هستند و به زبان ریاضی با رابطه زیر نشان داده می شود.

$$\Delta T(\hat{n}) = \sum_{l,m} a_{lm} Y_{lm}(\hat{n}) \quad 1$$

در این بسط a_{lm} ها ضرایب بسط هستند و از رابطه زیر به دست می آیند:

$$a_{lm} = \int d\Omega_{\hat{n}} Y_{lm}(\hat{n}) \Delta T(\hat{n}) \quad 2$$

در رابطه 2، برداری که در راستای θ, ϕ است و $d\Omega_{\hat{n}}$ جزء زاویه فضایی در این راستا است. در حالت کلی، می توان نشان داد که همه

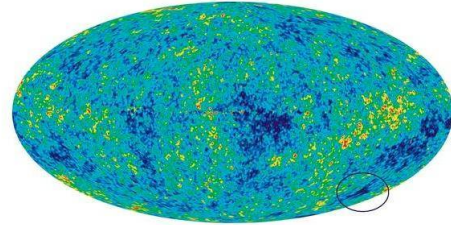
³ Cold region

¹ Power spectrum

² Inflation theory

دریافت می‌شود که این موضوع با درک کنونی از فیزیک قابل توضیح نیست [4].

در شکل 2 نمایی معدل گیری شده از توزیع دمایی کیهان نمایش داده شده است.



شکل 2. نقشه کیهان تهیه شده از ماهواره پلانک [1].

برخی داده‌های به دست آمده از ماهواره‌های Planck و WMAP در سال‌های اخیر

در ادامه این بخش جدولی از برخی از داده‌های خاص دو ماهواره آورده شده است. این داده‌ها از طریق رصد و برخی محاسبات آماری بهینه شده و در اینجا گردآوری شده است. البته لازم به ذکر است که هر دو ماهواره از سال 2014 به بعد خاموش می‌باشند و فقط اطلاعات رصدی جدیدی ارسال نمی‌نمایند و فقط داده‌های آنها به لحاظ آماری دقیق‌تر می‌شود.

بهتر ترتیب آخرین داده‌های کامل این دو ماهواره در جدول 3 به اختصار در کنار هم جهت تطبیق قرار گرفته‌اند. لذا این جدول می‌تواند برای مقایسه داده‌ها در مدل‌های مختلف کیهان شناسی بسیار سودمند باشد.

جدول 1. بهترین نتایج پارامترهای کیهان شناسی ماهواره پلانک در سال 2015 [5].

| Parameter | [1] Planck TT+lowP | [2] Planck TE+lowP | [3] Planck EE+lowP | ([1] [4] Planck TT,TE,EE+lowP | - [4]/ σ_{111} |
|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-------------------------------|-----------------------|
| $\Omega_b h^2$ | 0.02222 ± 0.00023 | 0.02228 ± 0.00025 | 0.0240 ± 0.0013 | 0.02225 ± 0.00016 | -0.1 |
| $\Omega_c h^2$ | 0.1197 ± 0.0022 | 0.1187 ± 0.0021 | $0.1150 \pm 2z$ | 0.1198 ± 0.0015 | 0.0 |
| $100\theta_{MC}$ | 1.04085 ± 0.00047 | 1.04094 ± 0.00051 | 1.03988 ± 6.00094 | 1.04077 ± 0.00032 | 0.2 |
| τ | 0.078 ± 0.019 | 0.053 ± 0.019 | 0.0591E | 0.079 ± 0.017 | -0.1 |
| $\ln(10^{10} A_s)$ | 3.089 ± 0.036 | 3.031 ± 0.041 | 3.066117 | 3.094 ± 0.034 | -0.1 |
| n_s | 0.9655 ± 0.0062 | 0.965 ± 0.012 | 0.973 ± 6.016 | 0.9645 ± 0.0049 | 0.2 |
| H_0 | 67.31 ± 0.96 | 67.73 ± 0.92 | 70.2 ± 3.0 | 67.27 ± 0.66 | 0.0 |
| Ω_m | 0.315 ± 0.013 | 0.300 ± 0.012 | $0.286^{0.027}$ | 0.3156 ± 0.0091 | 0.0 |
| σ_8 | 0.829 ± 0.014 | 0.802 ± 0.018 | 0.796 ± 0.024 | 0.831 ± 0.013 | 0.0 |
| $10^9 A_s e^{-2\tau}$ | 1.880 ± 0.014 | 1.865 ± 0.019 | 1.907 ± 0.027 | 1.882 ± 0.012 | -0.1 |

جدول 2. بهترین نتایج پارامترهای کیهان شناسی از نهمین سال WMAP [6].

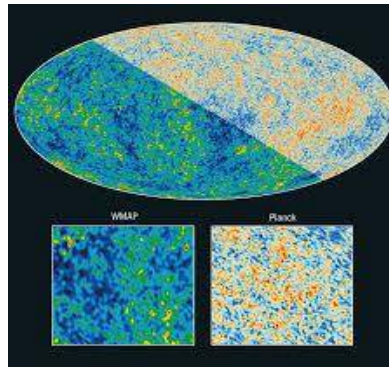
| Parameter | Symbol | WMAP data | Combined data ^b |
|--|-------------------|-----------|----------------------------|
| Fit ΛCDM parameters | | | |
| Physical baryon density | $\Omega_b h^2$ | 0.02256 | 0.02240 |
| Physical cold dark matter density | $\Omega_c h^2$ | 0.1142 | 0.1146 |
| Dark energy density ($w = -1$) | Ω_Λ | 0.7185 | 0.7181 |
| Curvature perturbations, $k_{ip} = 0.002 \text{ Mpc}^{-1}$ | $10^9 \Delta_R^2$ | 2.40 | 2.43 |
| Scalar spectral index | n_s | 0.9710 | 0.9646 |
| Reionization optical depth | τ | 0.0851 | 0.0800 |
| Derived parameters | | | |
| Age of the universe (Gyr) | t_0 | 13.76 | 13.75 |
| Hubble parameter, $1/0 = 100h \text{ km/s/Mpc}$ | H_0 | 69.7 | 69.7 |
| Density fluctuations $0.8h^{-1} \text{ Mpc}$ | σ_8 | 0.820 | 0.817 |
| Baryon density/critical density | Ω_b | 0.0464 | 0.0461 |
| Cold dark matter density/critical density | Ω_c | 0.235 | 0.236 |
| Redshift of matter-radiation equality | z_{ea} | 3273 | 3280 |
| Redshift of reionization | z_{reion} | 10.36 | 9.97 |

جدول 3. مقایسه برخی پارامترهای کیهان شناسی ماهواره Planck و WMAP.

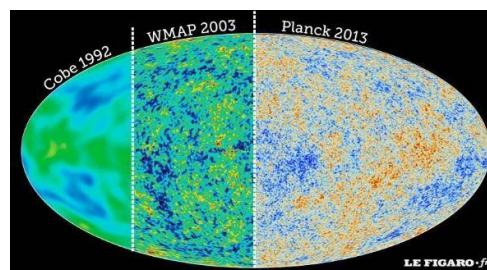
| parameter | WMAP (9-year) | Planck (2015) | Difference (value) |
|--|---------------------|--------------------|-----------------------|
| Ω_b | 0.0463 ± 0.0024 | 0.0451 | -0.0012 |
| Ω_c | 0.233 ± 0.023 | 0.246 | 0.013 |
| Ω_Λ | 0.721 ± 0.025 | 0.685 ± 0.013 | -0.036 |
| Ω_m | 0.27 ± 0.04 | 0.315 ± 0.013 | 0.045 |
| Ω_0 | 0.991 | 1 | 0.009 |
| $(\text{Km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1})H_0$ | 70.0 ± 2.2 | 67.9 ± 1.5 | -2.1 |
| $t_0(\text{Gyr})$ | 13.74 ± 0.11 | 13.796 ± 0.058 | 56 Myr |
| n_s | 0.972 | 0.9655 | -0.0065 |
| T | 0.089 | 0.078 | -0.011 |
| σ_8 | 0.821 | 0.829 | 0.008 |
| R | < 0.38 | < 0.103 | - |
| $dn_s/d \ln k$ | -0.019 | -0.008 | 0.011 |

در ادامه تحلیلی از داده های این جدول را مورد مطالعه قرار می دهیم. برای دریافت یک دید کلی از تفاوت ظاهری داده های این دو ماهواره در شکل 3 نمونه ای از نقشه به دست آمده از داده های رصدی این دو ماهواره از کل کیهان آورده شده است.

مقایسه می‌کنیم همین‌طور است، اما در بزرگ مقیاس پلانک نشان می‌دهد که نیمی از جهان تغییرات بزرگ‌تری نسبت به نیمه دیگر دارد. در مقایسه با WMAP، آشکارسازهای پلانک 10 مرتبه حساس‌ترند و تفکیک زاویه‌ای 2/5 برابر WMAP را دارند که نگاه بهتری را از این امتداد در اختیار کیهان‌شناسان قرار می‌دهد.



اکنون که کیهان‌شناسان منبع جدیدی از اطلاعات در اختیار دارند، بدون شک این ناهنجاری‌ها¹ برای سالیان درازی محل بحث خواهند بود. دانشمندان پروژه پلانک پیش از این از اندازه‌گیری‌های خود برای بهبود نرخ انبساط عالم استفاده کرده‌اند؛ انبساطی که توسط پارامتری به نام «ثابت هابل»² توصیف می‌شود. با مقایسه نتایج پلانک و WMAP مقدار جدید این ثابت که 67/9 کیلومتر بر ثانیه بر مگاپارسک³ است به دست می‌آید، به این معناست که کهکشانی که حدوداً یک میلیون سال نوری از ما فاصله دارد، با سرعت 20/6 کیلومتر بر ثانیه از ما دور می‌شود؛ عددی که از مقدار فعلی (70 کیلومتر بر ثانیه بر مگاپارسک) کمتر است. در اختر فیزیک و کیهان‌شناسی فرض شده است که جهان با سرعتی ثابت که برای تمام زمان‌ها ثابت است، در حال گسترش است. این اندیشه از شناخت دو پدیده به دست آمده است. یکی اینکه: آن دسته از جرم‌های آسمانی که در ژرفای بیرون از کهکشان راه شیری (کهکشان بیرونی) هستند؛ و بیشتر آن‌ها بیش از 10 مگاپارسک از زمین دورند، همگی دارای انتقال به سرخ می‌باشند؛ این خود به معنی داشتن شتاب در دور شدن از زمین است. دیگر اینکه اندازه‌گیری این شتاب دور شدن از زمین، نشان داده که برای ستارگانی که در فاصله‌های کمتر از چند مگا پارسک در کهکشان درونی جا دارند در آنها این



شکل 3. تفاوت توصیفی داده‌های WMAP و Planck به همراه داده‌های قدیمی CoBE [4,5].

نتایج به دست آمده از داده‌های دو ماهواره

WMAP و Planck

با تحلیل مشخصات آماری حاصل از داده‌های رصدی، کیهان‌شناسان می‌توانند بهترین مدل‌های موجود برای تورم را با جهانی که امروزه می‌بینیم مقایسه کنند. نتایج پر کیفیت پلانک مطابقت بسیار بالایی با نظریه کیهان‌شناختی استاندارد نشان می‌دهد. این طور به نظر می‌آید که نتیجه‌گیری کلی این است که کیهان‌شناسی استاندارد مطابقت بسیار خوبی با داده‌های پلانک دارد. با این وجود، کار کیهان‌شناسان در اینجا تمام نمی‌شود چرا که نقشه پلانک وجود یک امتداد مرموز را در جهان تأیید کرده است. بر اساس مدل‌های کیهان‌شناسی، الگوی تغییرات گرم و سرد در تابش زمینه کیهانی باید به صورت تصادفی توزیع شده باشد. البته هنگامی که تکه‌های کوچک جهان را با هم

³ Mega Parsec

¹ Anomaly

² Hubble constant

مگاپارسک تصحیح کرده است. معنی آن این است که، هر میلیون پارسک (که یک پارسک $3/26$ سال نوری است)، یعنی هر 3260000 سال نوری از فضا با سرعت $6/79$ متر در هر ثانیه در حال انبساط است بنابراین اطلاعات مربوط به عالم با جزئیاتی بیشتر از قبل نسبت به ماهواره WMAP توسط ماهواره پلانک مشاهده شده است. همچنین افزایش مقدار Ω_0 و نزدیکتر شدن آن به عدد یک نشان دهنده تأیید بیشتر وجود جهانی تخت² می باشد. به هر حال می توان با رسم نمودارهایی مانند نمودار طیف توان اسکالر³ برحسب کمیته مانند نسبت تانسور به اسکالر اختلالات، یک مقایسه جدی بین نتایج دو گروه برحسب شمارنده های سطح رضایتمندی⁴ انجام شود.

برخی از نتایج بهبود یافته پلانک در سال 2018

آخرین نتایج گروه پلانک در سال 2018 نشان می دهد که داده های رصدی با مدل استاندارد کیهان شناسی سازگار است [8]. مدلی که مؤلفه های کیهان را به 68% انرژی تاریک، 27% ماده تاریک و 5% ماده معمولی (مدل استاندارد ذرات) می داند. پلانک هندسه قسمت فضایی کیهان را تخت به دست آورد و سن کیهان را $13/8$ میلیارد سال می داند. با به پایان رسیدن مأموریت پلانک، پژوهشگران در حال حرکت به سمت پروژه های کوچکتری هستند که جنبه های مختلف تابش پس زمینه مایکروویو کیهانی مطالعه می کند. پلانک سومین و آخرین تلسکوپ فضایی بزرگی بود که برای مطالعه تابش های پس زمینه مایکروویو کیهانی (CMB) اختصاص یافته بود و نتیجه کار آن، اندازه گیری های دقیق تر از سن، هندسه و ترکیب کیهان بود. در حالی که

شتاب متناسب با فاصله آنها از زمین است. از این دو گواه قابل رؤیت باورهای گسترش جهان، انبساط جهان و پارامتر هابل را می توان استخراج کرد. مقدار به دست آمده برای این پارامتر از دیدگاه دو تیم پلانک و WMAP در تفاوت در روش تعیین این مقادیر است. نتایج ماهواره پلانک از سوی دیگر عمر جهان را حدود $13/79$ میلیارد سال به دست می آورد، که حدود 56 میلیون سال پیرتر از چیزی است که داده های ماهواره WMAP اندازه گیری کرده بود (74 میلیون سال). همچنین با این مقایسه سهم نسبی ماده معمولی، ماده تاریک و انرژی تاریک¹ را که گمان می شود کل کیهان را شکل می دهند تغییر می کند. بر اساس این نتایج، جهان به میزان اندکی بیشتر از ماده معمولی و ماده تاریک تشکیل شده است و سهم انرژی تاریک آن از چیزی که قبلاً گمان می شد اندکی کمتر است. این نتایج بدین شرح است: $4/9$ درصد جهان از مواد معمولی تشکیل شده است، بیشتر از $0/3$ درصد از اندازه گیری WMAP. ضمناً، انرژی تاریک اندکی کمتر از تصورات قبلی وجود دارد، $68/3$ درصد در مقایسه با 71 درصد قبلی WMAP، و اندکی ماده تاریک بیشتر، $26/8$ درصد در مقابل 24 درصد نسبت به رصدهای قبلی. باید در نظر داشت که این اندازه گیری ها و محاسبات براساس چگونگی حرکت امواج CMB در امتداد گسترش جهان به شکل زنجیره ای از خوشه های کهکشانی می باشند. با اندازه گیری دامنه امواج در CMB در مقایسه با اندازه خوشه های کهکشانی امروزی، به یک مقدار دقیق، مشهور به ثابت هابل می رسیم که یعنی با چه سرعتی جهان در حال انبساط است. این ثابت را WMAP $69/32$ کیلومتر بر ثانیه بر مگا پارسک اندازه گرفت و پلانک آن را برابر با $67/9$ کیلومتر بر ثانیه بر

³ Scalar power spectrum index

⁴ Confidence Levels

¹ Dark Matter and Energy

² Flat Universe

برخی دیگر از داده‌های آماری رصدی

می‌دانیم کیهان در انتقال به سرخ‌های پایین بسیار یونیده است و الکترون‌های یونیزه می‌توانند فوتون‌های ریز موج تابش پس زمینه را پراکنده کنند و الگوی ناهمسانگردی‌های این تابش را تغییر دهند. پارامتری که برای این پدیده به کار می‌رود عمق نوری است [5]. عمق نوری به طور ساده احتمال اینکه یک فوتون یک بار پراکنده شود است. که این پارامتر در کیهان‌شناسی به صورت تابعی از انتقال به سرخ به شکل زیر تعریف می‌شود

$$\tau(z) = \int_0^z \sigma_T n_e(z) dl \quad 4$$

در اینجا $\sigma_T = 6.25 \times 10^{-25} \text{cm}^2$ و سطح مقطع پراکندگی تامسون فوتون‌ها از الکترون‌هاست و $n_e(z)$ تابع انتقال به سرخ می‌باشد (این پارامتر در کیهان‌شناسی اشاره به میزان مشخصی از شفافیت و فرآینابی عمقی جو است، یعنی چه کسری از تابش الکترومغناطیسی (یا نور) جذب شده توسط اجزایی که نور از آن عبور کرده، یا به عبارتی دیگر لگاریتم طبیعی نسبت نور تابیده به شار تابشی منتقل شده در عبور از یک ماده می‌باشد. عمق نوری طیفی یا ضخامت نوری طیفی نیز لگاریتم طبیعی نسبت «نور تابیده به انرژی تابشی انتقالی طیفی» در گذر از یک ماده است. عمق نوری بی‌بعد است و به طور خاص یک طول نیست؛ هر چند که یک عملکرد تابع یکنوای افزایش طول مسیر نوری است. از طرفی در اینجا کمیت عمق اپتیکی²، انتقال به سرخ باز یونش و زمان باز یونش را مشخص می‌کند. به بیان ساده‌تر عمق اپتیکی بیانگر کدر بودن یا شفاف بودن محیط برای انتشار فوتون‌ها می‌باشد. به هر ترتیب با توجه به مقایسه داده‌ها در ماهواره WMAP با مقدار (0/089) و در ماهواره پلانک با مقدار (0/078)

آژانس‌های اروپایی و آمریکایی در تأمین بودجه این مأموریت فضایی دچار تردید شده‌اند، به نظر می‌رسد که پلانک آخرین تلسکوپ فضایی باشد که برای مطالعه CMB در نظر گرفته شده است. پلانک با جمع‌آوری داده‌های مربوط به سال‌های 2009 تا سال 2013، این کار را با دقت بیشتری نسبت به قبل انجام داده است: با استفاده از این اطلاعات، دانشمندان سن جهان را برآورد کرده‌اند، شکل هندسی آن را به شکل مسطح و ترکیب آن را به صورت 95% ماده تاریک و انرژی تاریک تعیین کرده‌اند. در آخرین نسخه مشخص شد که جهان باید 9% کندتر از آنچه در حال حاضر مشاهده می‌شود، در حال گسترش باشد. اکنون تمرکز اصلی این حوزه تهیه اندازه‌گیری‌های دقیق از دیگر پارامترهای CMB شامل قطبیت آن است (یعنی گرایش ضعیف میدان‌های الکترومغناطیسی مایکروویوها برای جهت‌گیری‌های خاص در کیهان). در این مباحث، پژوهشگران امیدوارند که بتوانند نشانه‌هایی از تورم کیهانی بیابند، دوره کوتاهی در آغاز انفجار بزرگ که طی آن جهان به طور فزاینده بسط پیدا کرده است. کیهان‌شناسان همچنین می‌توانند توزیع ماده را در جهان با مطالعه اینکه چگونه قطبش CMB در فضا و زمان انحنای پیدا می‌کند مورد اندازه‌گیری قرار دهند (این اثر لنزینگ گرانشی¹ نامیده می‌شود).

² Optical deep

¹ Gravitational lensing

تانسوری و اختلال اسکالر⁴، کاهش این پارامتر در جدول فوق نشان دهنده کاهش سهم اندک اختلالات تانسوری و امواج گرانشی در کیهان می باشد [7]. در پایان این مقاله دو پیوست وجود دارد که به شکلی دقیق تر این پارامترها و چگونگی تعریف آنها نشان داده است.

جمع بندی نتایج

با بررسی این مقاله نتایج زیر حاصل می شود:

1- پارامتر هابل به عنوان مهمترین عامل در تعیین سایر پارامترهای اساسی کیهان شناسی معرفی و مقادیر آن در مقالات مختلف ارائه شده است. بنا به آخرین داده ها مقدار این پارامتر در طول 25 سال اخیر در بازه $80 < H_0 \left(\frac{km}{sec.Mpc} \right) < 50$ به دست آمده است، اما مقداری که اکنون به عنوان داده محتمل تر برای پارامتر هابل مورد قبول قرار گرفته است مقدار اعلام شده توسط ماهواره پلانک در سال 2015 میلادی یعنی $H_0 = 67.9 \pm 1.5 \left(\frac{km}{sec.Mpc} \right)$ می باشد.

2- پارامتر چگالی محتوی های مختلف از قبیل ماده معمولی و تاریک، باریونی، نوترینو و انرژی تاریک به عنوان پارامترهای اساسی کیهان شناسی معرفی شده و روش های تعیین آنان مورد بررسی قرار گرفت (پیوست 2). صرف نظر از داده های بسیار متفاوت، پارامتر چگالی ماده معمولی و تاریک در بازه $0.1 < \Omega_m < 0.5$ قرار می گیرد. همچنین بازه مناسب برای پارامتر چگالی باریونی $0.025 < \Omega_b h^2 < 0.01$ است. آخرین مقادیر برای پارامترهای چگالی باریونی و ماده

می توان نتیجه گرفت که به میزان این شفافیت اندکی افزوده شده است که نشان دهنده کاهش انتشار فوتون ها می باشد. از آنجا که شاخص طیفی¹ که معرف چگونگی تغییرات افت و خیزهای چگالی با مقیاس می باشد، اگر مقدار این عدد دقیقاً برابر یک باشد آنگاه طیف توان مقیاس-ناورد است یعنی در مقیاس های مختلف الگوی اختلالات تغییر نمی کند. داده های رصدی مقدار شاخص طیفی را حدوداً 0.96 پیش بینی می کنند در نتیجه طیف توان تقریباً مقیاس-ناورد است [3]. کمیت running spectral index که به عنوان مشتق شاخص طیفی تعریف می شود میزان تغییرات شاخص طیفی با مقیاس را نشان می دهد. کمیت سیگما 8 در واقع جذر متوسط مربع² افت و خیزهای چگالی در مقیاس 8 مگا پارسک می باشد که به صورت زیر تعریف می شود

$$\sigma^2(R) = \int \frac{dk}{k} \frac{k^3}{2\pi^2} \mathbf{p}(k) W^2(kR) \quad 5$$

این کمیت در واقع همان واریانس جرم افت و خیزهای در کره ای به شعاع 8 مگا پارسک می باشد. مقیاس 8 مگا پارسک مقیاسی است که خوشه های پر جرم کهکشانی در چنین شعاعی پراکنده شده اند. کمیت نسبت دامنه طیف توان تانسوری به دامنه طیف توان اسکالر³ به شکل زیر تعریف می شود

$$r_T \equiv \frac{P_T}{P_R} \quad 6$$

$$P_T = \left(\frac{H}{2\pi} \right)^2 \frac{1}{2\epsilon M_p^2} \quad 7$$

$$P_R = \left(\frac{H}{2\pi} \right)^2 \frac{8}{M_p^2} \quad 8$$

هر چه نسبت r_T بزرگتر باشد نشان دهنده بیشتر بودن شدت اختلالات تانسوری در تورم است. لازم به ذکر است که در تورم دو نوع اختلال وجود دارد اختلال

³ Tensor to scalar ratio

⁴ Scalar and Tensor Fluctuation

¹ spectral index

² Root mean square

پرداخته‌اند. بنابراین می‌توانند نقش مهمی در بررسی مدل‌های کیهان‌شناسی پیشنهادی داشته باشند.

مرجع‌ها

- [1] P.A.R. Ade, N. Aghanim, M. Arnaud, et al, Planck Collaboration Planck 2015 results, *Astronomy & Astrophysics* **594** A13 (2016) 1-63. <https://doi.org/10.1051/0004-6361/201525830>
- [2] K.N. Abazajian, K. Arnold, J. Austermann, et al., Inflation Physics from the Cosmic Microwave Background and Large Scale Structure, *Astroparticle Physics* **63** (2015) 55-65. <https://doi.org/10.1016/j.astropartphys.2014.05.013>
- [3] C.L. Bennett, D. Larson, J.L. Weiland, et al, Nine-year Wilkinson Microwave Anisotropy Probe (WMAP) Observations: Final Maps and Results. *Astrophysical journal supplement series* **208** (20) (2013) 1-54. <https://doi.org/10.1088/0067-0049/208/2/20>
- [4] A. Faale Parsa, B. Khaleseh, Big Bang, Astan ghodseh Razavi Publisher, Mashhad, Iran (2006). <https://www.adinehbook.com/gp/product/9640201081>. ISBN: 978-964-02-0108-4
- [5] P. A. R. Ade et al., Measurement of the Cosmic Microwave Background Polarization Lensing Power Spectrum with the POLARBEAR experiment, *Physics Review Letters* **113** (2014) 021301. <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.113.021301>
- [6] E. Komatsu, K.M. Smith, J. Dunkley, et al, Seven-year Wilkinson Microwave Anisotropy Probe (WMAP) Observations: Are There Cosmic Microwave Background Anomalies?, *Astrophysical journal supplement series* **192** (17) (2011) 1-47. <https://doi.org/10.1088/0067-0049/192/2/18>
- [7] J.R. Bond, C. Contaldi, D. Pogosyan, Cosmic microwave background snapshots: pre-WMAP and post-WMAP, *Royal Society of London Philosophical Transactions Series A* **361** 2435

تاریک سرد و کل جهان در سال 2015 میلادی توسط ماهواره پلانک به صورت $\Omega_b h^2 = 0.02217 \pm 0.00033$ و $\Omega_c h^2 = 0.1186 \pm 0.0031$ داده شده است. همه مقادیر داده شده توسط مقالات گوناگون برای چگالی کل جهان، از مقدار $\Omega_0 \simeq 1$ پشتیبانی می‌کنند و این موضوع بیانگر مدل کیهان‌شناسی تخت برای جهان کنونی می‌باشد. با توجه به مقدار Ω_0 پارامتر چگالی کنونی جهان برابر با $\rho_0(t) = 1.880 \times 10^{-29} h^2 \Omega(t) \left(\frac{gr}{cm^3}\right)$ تعیین می‌گردد. در اینجا $\Omega(t)$ نسبت تغییر چگالی کل محتوی ماده عالم برحسب زمان به چگالی بحرانی عالم است و مقدار آن تقریباً برابر یک است.

3- در این مقاله سن جهان به عنوان یکی از پارامترهای اساسی دیگر کیهان مورد مطالعه قرار گرفت. با جمع بندی داده‌های مختلف [1-8] (پیوست 2 را ملاحظه فرمایید) می‌توان بازه $1.2 \times 10^{10} (yrs) \leq t_0 \leq 1.8 \times 10^{10} (yrs)$ را برای سن کنونی جهان تعیین کرد ولی با توجه به آخرین داده‌های ماهواره پلانک محتمل ترین مقدار برای سن کنونی جهان 13,82 میلیارد سال می‌باشد.

در نهایت یک تحلیل توصیفی بین برخی دیگر از پارامترهای مهم کیهانی با توجه به داده‌های پلانک و WMAP مورد مطالعه قرار گرفت که به طور تخصصی در حل برخی از مسائل کیهانی و اختر فیزیک مورد استفاده قرار می‌گیرند. در پایان تأکید می‌کنیم که ماهواره‌های فوق تابش زمینه کیهانی (CMB) در زمان انفجار بزرگ را جمع‌آوری کرده و با استفاده از دما و پلاریزاسیون¹ ناهمسانگردی به تحلیل و جمع‌آوری پارامترهای کیهانی و تطابق آن با نظریه‌های موجود

¹ Polarization

(2003) 455-461.
<https://doi.org/10.1098/rsta.2003.1295>

[8] Y. Akrami, et al. Planck 2018 results. I. Overview and the cosmological legacy of Planck, Accepted in *Astronomy & Astrophysics* (2019)
[.https://doi.org/10.1051/0004-6361/201833880](https://doi.org/10.1051/0004-6361/201833880)

پیوست‌ها

پیوست 1

در این پیوست برخی از پارامترهای استفاده شده در جداول این مقاله که در متن اصلی توصیفی برای آنها ارائه نشده تعریف شده است.

انتقال به سرخ Z

افزایش طول موج خطوط طیفی و جابه‌جا شدن به سمت قرمز طیف را انتقال به سرخ می‌گوییم. برای انتقال به سرخ یک شیء نجومی، سه منبع مختلف می‌تواند وجود داشته باشد: (1) پدیده دوپلر (2) انتقال به سرخ گرانشی (3) انتقال به سرخ کیهان‌شناسی

انتقال به سرخ ناشی از پدیده دوپلر (zD)

این انتقال به سرخ به علت سرعت ویژه ناظر نسبت به سرعت میانگین انبساط است. زمین به دور خورشید حرکت می‌کند، خورشید حول مرکز راه شیری می‌چرخد و گروه محلی کهکشان‌ها به طرف خوشه ویرگو حرکت می‌کنند. ابزارهای اندازه‌گیری نور از یک کهکشان دور، در حال سکون نیستند.

پارامتر چگالی (Ω)

پارامتر چگالی نقش تعیین کننده‌ای در آینده کیهان دارد. به گونه‌ای که در الگوهای $\Omega > 1$ است، جهان کم کم فروپاشیده می‌شود و به صورت یک جرم متراکم در می‌آید؛ در حالی که الگوهای $\Omega \leq 1$ همواره گسترش می‌یابند. ما با مشاهده جهان مرئی تصور می‌کنیم که چگالی کیهان تنها به مقدار چگالی ماده مرئی وابسته است، اما تکامل تدریجی جهان تنها به این چگالی وابسته نیست، بلکه به سهم‌های مستقل مؤلفه‌های مختلف کنونی (ماده باریونی¹، فوتونها، نوترینوها و انرژی تاریک²) نیز بستگی دارد. نشان می‌دهیم. Ω_i را از جرم متمرکز شده در کهکشان‌های دور تخمین زد. Ω_i می‌تواند هر یک از مؤلفه‌های تابش (r)، ماده روشن و تاریک (m)، باریون‌های روشن و تاریک (b)، نوترینوها (ν) و انرژی تاریک (A) باشد. می‌توان سهم کهکشان، البته ممکن است سهمی نیز مربوط به ماده‌ای باشد که شامل

کهکشان‌ها نمی‌شود، برای مثال سهمی که ناشی از ماده موجود در خوشه‌های کهکشانی می‌باشد. یک برآورد مستدل برای مقدار کل جرمی که در دینامیک گرانشی اجسام بزرگ مقیاس مشارکت دارد.

دمای عالم

جهان همان‌گونه که از ماده پر شده، از تابش گرمایی زمینه، که تابش زمینه ریزموجی کیهانی نامیده می‌شود، نیز انباشته گشته است. این تابش یک طیف گرمایی دارد و دمای دقیق کنونی آن به صورت زیر می‌باشد [4].

$$T_{0r} = 2.726 \pm 0.005k$$

مقدار Ω_g با استفاده از کهکشان‌ها

مقدار Ω_g روشنایی متوسط تولید شده به ازای واحد حجم کهکشان‌ها، به علاوه مقدار متوسط، $\left(\frac{M}{L}\right)$ نسبت جرم به روشنایی مطلق (تابش) کهکشان‌ها، است. کهکشان‌های بیضوی و کهکشان‌هایی از این قبیل، حرکت‌های مداری مخصوص مشابه با کهکشان‌های مارپیچی را ندارند. بنابراین نمی‌توانیم منحنی‌های چرخش را برای آنها به کار ببریم. پس به جای آن از نظریه ویريال³ استفاده می‌کنیم که انرژی جنبشی متوسط از پاشندگی سرعت ستاره‌ها و انرژی پتانسیل از اندازه و شکل کهکشان تخمین زده می‌شود. پس مقدار فرضی‌ای که برای $\left(\frac{M}{L}\right)$ به دست می‌آید عبارتست از:

مقدار Ω_{dyn} با استفاده از خوشه‌های کهکشانی

با استفاده از نظریه ویريال همچنین می‌توان جرم گروه‌ها و خوشه‌های کهکشانی را برآورد کرد. این شیوه مخصوصاً برای خوشه‌های کهکشانی غنی مثل خوشه‌های کما⁴ و ویرگو مفید است. انرژی جنبشی‌ای که می‌توان از پاشندگی سرعت کهکشان‌ها در خوشه برآورد کرد. کیهان‌شناسی مدل‌های تورمی جدید به دلایل نظری از $\Omega_0 \approx 1$ پشتیبانی می‌کنند و اغلب این موضوع مورد بحث قرار می‌گیرد که اگر مشخص شود که جهان دارای پارامتر چگالی $\Omega_0 \approx 1$ است، این مسئله می‌تواند به عنوان مدرکی به نفع تورم تعبیر شود. در حال حاضر ما نمی‌دانیم که پارامتر چگالی کل جهان بسیار نزدیک به واحد است یا خیر، بنابراین تنها

³Virial

⁴Coma

¹Baryonic Matter

² Dark Energy

چیزی که می توانیم بگوییم این است که حداقل مقدار آن $\Omega_0 \approx 0.2$ می باشد.

4-نظریه واپاشی نوترینو و زمینه نوترینوی کیهانی

برخی دیگر از مقادیر و پارامترها نیز در داخل متن توضیح داده شده است.

سن جهان (t_0)

تعیین مقیاس زمانی مشخصه تحول جهان با هدف نهایی تعیین کردن t_0 ، مدت زمان سپری شده از انفجار بزرگ تاکنون است. کمیته را در اینجا تعریف می کنیم که زمان هابل نام دارد و معکوس ثابت هابل است. سن جهان از مرتبه زمان هابل و حدود 14 میلیارد سال می باشد و این مقیاس زمانی، سازگار با سن ستاره ها و کهکشان ها و مقیاس سنی هسته ای به دست آمده از واپاشی رادیواکتیو ایزوتوپ های طولانی زیست می باشد.

زمان هابل (τ_H)

برای محاسبه زمان هابل، τ_H ، به صورت زیر عمل می کنیم: دو کهکشان فرضی در فاصله d از یکدیگر قرار گرفته اند و سرعت دور شدن آنها از یکدیگر v می باشد. برای سهولت، سرعت v را ثابت در نظر می گیریم. بنابراین در زمان τ_H آنها با فاصله ای از هم قرار گرفته اند خواهد بود؛ و چون هر سال تقریباً 31,557,600 ثانیه می باشد، زمان هابل در حدود 13,6 میلیارد سال به دست خواهد آمد. ضمناً هر مگا پارسک برابر با 3.1×10^{19} کیلومتر می باشد. چهار سازوکار مستقل برای تعیین سن جهان وجود دارد:

1- اندازه گیری آهنگ انبساط هابل و محاسبه از طریق معادلات فریدمان

2- بررسی های کیهانی (مدل سازی ستاره ای و ترکیب جمعیت پیرترین جمعیت های ستاره ای، مشاهدات آبرنواختر نوع در قرمزگرایی بالا، تابش زمینه ریزموجی کیهانی (CMB)، قرمزگرایی کهکشان ها، تحول قیفاووسی ها، نقشه برداری از قلّه های آکوستیکی زمینه میکروموجی کیهانی و ...)

3- گاه شمار کیهانی هسته ای رادیواکتیو طولانی زیست (کیهان شناسی هسته ای)

پیوست 2

در این پیوست مقدار عددی H_0 که از روش های گوناگون حاصل و در مقالات مختلف ارائه گردیده است را به اختصار توضیح می دهیم. اما قبل از بیان مقادیر مفید است ذکر شود که مقادیر ارائه شده در سمت راست مقدار اصلی با علامت مثبت یا منفی، بالاترین و پایین ترین مقدار بازه اندازه گیری را نشان می دهند.

مقدار H_0 از طریق روش های مختلف آبرنواخترهای نوع Ia؛ $H_0 = 58.0 \pm 2.0 \frac{km}{sec.Mpc}$ کهکشان های زمینه؛ $H_0 = 53.0 \pm 3.0 \frac{km}{sec.Mpc}$ خوشه ویرگو؛ $H_0 = 56.0 \pm 3.0 \frac{km}{sec.Mpc}$ شیوه های فیزیکی؛ $H_0 = 55.0 \frac{km}{sec.Mpc}$ و مقدار پذیرفته شده نهایی از طریق جمع بندی مجموع روش های بالا به صورت به دست آمده است [6]. مقدار H_0 از طریق نظریه واپاشی نوترینو برای $\Lambda = 0$ و $\Omega = 1.1 \pm 0.1$ ، $\Omega = 1.1 \pm 0.1$ ، $\Omega = 1.1 \pm 0.1$ و برای $\Lambda = 0$ و $\Omega = 1$ ، $H_0 = 54.8 \pm 0.3 \frac{km}{sec.Mpc}$ ارائه شده است [7].

مقدار H_0 از مجموع داده های آبرنواخترهای نوع Ia و روش نوسانات درخشندگی سطحی¹؛ و متغیرهای قیفاووسی، به صورت $H_0 = 73.0 \frac{km}{sec.Mpc}$ داده شده است [7]. همچنین داده های ارائه شده برای H_0 از طریق پارامترهای مافوق عادی² به مقدار $H_0 = 73.0 \frac{km}{sec.Mpc}$ و از طریق CMB و قیفاووسی ها به مقدار $H_0 = 75.0 \frac{km}{sec.Mpc}$ اشاره دارد [7].

از سوی دیگر داده های HST، مقدار کنونی پارامتر هابل را $H_0 = 72.0 \pm 8.0 \frac{km}{sec.Mpc}$ اعلام نموده است [8]. داده های گردآوری شده دبلیمپ توسط اسپرگل³ و همکاران در طول سال 2003

³Spiegel

¹Surface Brightness Fluctuations (SBF)

²Hyper Parameters (HP)

میلادی مقدار $H_0 = 71^{+4}_{-3} \left(\frac{km}{sec.Mpc} \right)$ را به دست داده است. همچنین داده‌های گردآوری شده دبلیومپ توسط همان گروه در طول 3 سال، یعنی سال‌های 2004-2007 میلادی، مقدار $H_0 = 73.2^{+3.1}_{-3.2} \left(\frac{km}{sec.Mpc} \right)$ را ارائه داده است. داده‌های جمع جدول 2-1. داده‌های H_0 از کهکشان‌های زمینه [6].

| نام روش | $H_0(km/sec/Mpc)$ | منبع |
|------------------------------|-----------------------------|------------------------------------|
| تالی - فیشر | 5 ± 48 | ساندیج 1994 |
| M101 | 43 ± 11 | ساندیج 1993 |
| M31 | 45 ± 12 | ساندیج 1993 |
| روشنایی رده مارپیچ‌ها | 56 ± 5 | ساندیج 1996 |
| روشنایی‌های مشابه M31 و M101 | 55 ± 5 | ساندیج 1996 |
| تالی - فیشر | 55 ± 5 | تیوریو ² و همکاران 1996 |
| قطرهای کهکشانی | 50-55 | گودوین ³ و همکاران 1997 |
| بازه تغییر | $32 < H_0(km/sec/Mpc) < 61$ | |

جدول 2-2. داده‌های H_0 از شیوه‌های فیزیکی [6].

| نام روش | $H_0(km/sec/Mpc)$ | سال کشف |
|---|---|---|
| فتوسفر منبسط شونده و مدل ^{56}Ni ابرنواختر Ia | 65-55 | 1996 |
| فتوسفر منبسط شونده و مدل ابرنواختر Ia | 5 ± 73 | 1994 |
| فتوسفر منبسط شونده و مدل ابرنواختر Ia | <50 | 1995 |
| اثر سانیا - زلدویچ برای خوشه A2218 | 5 ± 45 | 1995 |
| اثر سانیا - زلدویچ برای 6 خوشه دیگر | 15 ± 60 | 1995 |
| اثر سانیا - زلدویچ برای خوشه A2163 | 78(+54, -28) | 1997 |
| اثر سانیا - زلدویچ برای 2 خوشه | 10 ± 42 | 1997 |
| اثر سانیا - زلدویچ برای 2 خوشه | 14 ± 54 | 1997 |
| اثرات شامل نسبییت | 7 ± 44 | 1997 |
| عدسی‌های گرانشی QSO0957+561 ⁴ | 7 ± 62 | 1997 |
| عدسی‌های گرانشی B0218+357 | ~60 | 1995 |
| عدسی‌های گرانشی PG1115+080 | 17 ± 60 | 1997 (کیتون ⁵ و کچانک ⁶) |
| عدسی‌های گرانشی PG1115+080 | 14 ± 52 | 1997 (کاندیک ⁷ و همکاران) |
| بازه تغییر | $78 < H_0 \left(\frac{km}{sec.Mpc} \right) < 32$ | |

⁵ Keeton
⁶ Kochanek
⁷ Kundik

¹Hinshaw
²Theureau
³ Goodwin
⁴Gravitational lenses

جدول 2-3. جمع بندی نتایج داده های H_0 [6.7.8].

| نام روش | $H_0(km/sec/Mpc)$ |
|---|-----------------------------|
| قیفاووسی ها - اَبَرِنواختر نوع Ia درجه بندی شده (تا سرعت $35000 \frac{km}{sec}$) | 2±58 |
| خوشه ویرگو (تا سرعت $10000 \frac{km}{sec}$) | 3±56 |
| کهکشان های زمینه (تا سرعت $3000 \frac{km}{sec}$) | 3±53 |
| شیوه های فیزیکی | ~55 |
| اَبَرِنواخترهای نوع Ia- نوسانات درخشندگی سطحی و متغیرهای قیفاووسی | 73 |
| پارامترهای مافوق عادی | 73 |
| داده های CMB و قیفاووسی ها | 75 |
| HST | 8±72 |
| WMAP (2003 میلادی) | 71(+4, -3) |
| WMAP (2007 میلادی) | 73,2(+3,1, -3,2) |
| WMAP (2009 میلادی) | 70,1±5,3 |
| بازه تغییر | 50 < $H_0(km/sec/Mpc)$ < 80 |

همان گونه که از جداول بالا مشاهده می شود داده های روش های مختلف در طول 25 سال اخیر در بازه $50 < H_0 \left(\frac{km}{sec.Mpc} \right) < 80$ به دست آمده است، اما آن مقداری که اکنون به عنوان داده محتمل تر برای پارامتر هابل کنونی مورد قبول قرار گرفته است، آخرین مقدار اعلام شده توسط ماهواره دبلیومپ در سال 2009 میلادی یعنی $H_0 = 70.5 \pm 1.3 \left(\frac{km}{sec.Mpc} \right)$ می باشد. ناسا در نظر دارد که از ماهواره های جدیدتری برای تعیین دقیق تر این پارامتر استفاده نماید. به دست آوردن دقیق تر این پارامترها را به داشتن آگاهی بیشتر درباره سرنوشت کیهان رهنمون می کند.