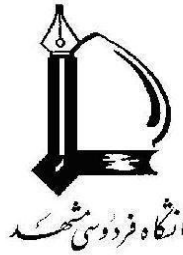


پایان نامه کارشناسی ارشد نجوم و اخترفیزیک

بررسی تحولی تهی‌جاها
در نقشه انتقال به سرخ COSMOS

اساتید راهنما

دکتر جمشید قنبری

دکتر سپهر اربابی بیدگلی

نگارنده

مهدی خادم

شهریور ۱۳۸۸

فهرست

فصل اول: کلیاتی از کیهان شناسی

مقدمه ---------- ۵
قانون هابل و انتقال به سرخ ---------- ۷
اجزای تشکیل دهنده کیهان ---------- ۱۱
کیهان مرئی: کهکشان ها ---------- ۱۱
باریون ها ---------- ۱۳
ماده تاریک سرد ---------- ۱۴
فوتون ها ---------- ۱۵
خلاء ---------- ۱۷
مدل کیهان شناسی براساس گرانش نیوتونی ---------- ۱۷
معادله پیوستگی ---------- ۲۲
معادله شتاب ---------- ۲۳

فصل دوم: انتقال به سرخ نورسنجی

مقدمه ---------- ۲۶
روش های انتقال به سرخ نورسنجی ---------- ۲۷
پیشینه تاریخی ---------- ۲۷
پیشرفت های نوین ---------- ۲۸
روش انطباق توزیع طیفی انرژی ---------- ۳۰
روش تجربی مجموعه الگو ---------- ۳۱
اعتبار انتقال به سرخ نورسنجی ---------- ۳۳
عدم قطعیت انتقال به سرخ نورسنجی ---------- ۳۳

انتقال به سرخ و فاصله همراه ---------- ۳۴

فصل سوم: ساختارهای کیهانی

تشکیل ساختار در کیهان اولیه ---------- ۳۹
مقدمه: دوران تاریک ---------- ۴۰
تشکیل ساختار مرتبه ای و نخستین اجرام کیهانی ---------- ۴۱
تشکیل نخستین کهکشان ها ---------- ۴۲
ساختارهای بزرگ مقیاس ---------- ۴۲
گروه کهکشانی ---------- ۴۳
خوشه کهکشانی ---------- ۴۳
رشته کهکشانی و دیواره ---------- ۴۴
تهی‌جا ---------- ۴۴
نقشه برداری از عالم ---------- ۴۵
نقشه SDSS ---------- ۴۶
پروژه COSMOS ---------- ۴۷

فصل چهارم: بررسی تحولی تهی‌جاها

بیان مساله ---------- ۴۹
حل مساله ---------- ۵۰
انتخاب داده ها ---------- ۵۰
تبدیل مختصات ---------- ۵۱
تبدیل انتقال به سرخ به فاصله در مختصات همراه ---------- ۵۲
ساخت نمونه های کهکشانی ---------- ۵۳
روش Pencil Beam و میدان چگالی نرم ---------- ۵۴
محاسبه چگالی کهکشانی و فاصله متوسط برحسب انتقال به سرخ ---------- ۵۵
جست و جوی تهی‌جاها ---------- ۵۶

نتایج بدست آمده ---------- ۵۷
بررسی تحولی تهی‌جاها ---------- ۶۱
گفتار آخر ---------- ۶۶
مراجع ---------- ۶۷

فصل اول

کلیاتی از
کیهان شناسی

کلیاتی از کیهان‌شناسی

مقدمه

هریک از علوم بشر به جنبه‌ای از رویدادها، موجودات و وقایع روی داده در عالم می‌پردازد. بزرگترین تفاوت شاخه های مختلف علم، پدیده ایست که هر شاخه به مطالعه آن می‌پردازد. انتخاب یک پدیده برای مطالعه، درواقع انتخاب شاخه ای از علم است که برای شناخت آن قسمت از جهان (هستی) به کار می‌آید.

کیهان‌شناسی نیز به عنوان یک شاخه علم همانند سایر علوم به مطالعه یک سیستم می‌پردازد. پدیده ای که کیهان-شناسی به مطالعه آن می پردازد *کل عالم* (یا کیهان) است. کیهان‌شناسی عالم را به عنوان یک *کل* بررسی می کند و به دنبال یافتن قوانین و روابطی است که بر سرتاسر این *کل* برقرار باشد. هم چنین سوال هایی مانند اینکه *آیا عالم خاستگاهی دارد و درصورت وجود، این خاستگاه چگونه بوده است و آیا کیهان پایانی دارد و اینکه این*

پایان چگونه روی خواهد داد، نیز ازجمله سوالاتی است که پاسخ آن در کیهان‌شناسی جست و جو می شود. دراصل کیهان‌شناسی بایستی بتواند برخی از ویژگیهای فعلی کیهان را نیز توضیح دهد. این ویژگی ها عبارتند از:

- چگالی اندک کیهان ($\rho \sim 10^{-26} kg \cdot m^{-3}$) و چگالی توان تابشی آن ($J \sim 10^{-39} W \cdot m^{-3}$)
- ترکیب شیمیایی کیهان
- عدم وجود تعادل حرارتی میان اجزای مختلف کیهان
- انبساط کیهان

کیهان‌شناسی تلاشی است برای ایجاد تصوری از عالم بزرگ‌مقیاس جهان مادی اطراف ما، براساس روش های مبتنی بر علوم تجربی. محدودیت های نجومی -که اجازه دسترسی مستقیم به موضوع های مورد مطالعه را به پژوهشگر نمی دهد- در کیهان‌شناسی حضور دارد اما براساس روش ها و قوانینی که با گذشت زمان بسیار گسترش یافته‌اند پژوهشگر این اجازه را پیدا می کند تا حوزه های مختلف دانش فیزیک -از نجوم گرفته تا ذرات بنیادی- را مورد استفاده قرار دهد. بسیاری از تلاش پیشینیان برای پاسخ دادن به سوال هایی چون جهان از کجا آمده است و به کجا می‌رود، بوده است و امروزه بسیاری از این سوال ها میراثی است که برای کیهان شناسی به جا مانده است، زیرا کیهان شناسی شاخه ایست که نجوم و فیزیک، ما را به آن هدایت می کنند.

ما امروزه شواهد محکمی داریم که نشان می دهند عالم درحال انبساط است و فضای میان کهکشان ها گسترش می یابد و این انبساط را می توانیم تا گذشته کیهان، زمانی که در یک حالت بسیار چگال و داغ بسر می‌برده است، تعقیب کنیم. ممکن است در آینده این انبساط معکوس شود و کیهان دوباره به یک حالت

چگال فروریزد.[1] امکان دیگر این است که کیهان به طور نامحدود انبساط خویش را ادامه دهد تا به یک چگالی بسیار اندک برسد، درحالیکه بیشتر ماده کیهان در کهکشان ها و خوشه های کهکشانی به دام افتاده است. در این حالت سرانجامِ کیهان به جای یک فروریزش بزرگ در فروریزش های کوچک ناشی از پایان عمر ستاره ها و تبدیل آنها به سیاهچاله ها مشخص می شود.

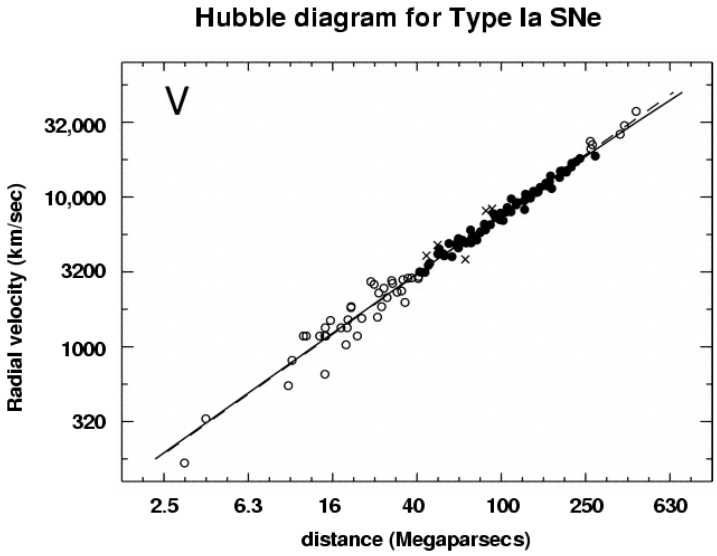
مانند تمام علوم فیزیکی، در کیهان شناسی نیز به مطالعه برشی از ماده موجود در عالم و رفتار توزیع بزرگ‌مقیاسِ تقریبا همگنِ ماده و تحول انحراف های آن از همگنی که به عنوان کهکشان ها، خوشه ها و ابرخوشه های کهکشانی می شناسیم می پردازیم. باید توجه داشت آنچه به عنوان همگنی از آن نام می بریم، پدیده ای است که در ابعاد چند صد میلیون سال نوری (حدوداً صد مگا پارسک) مشاهده می شود و به این معنی است که اگر عالم را در تصاویری با حداقل ابعاد صد مگا پارسک مورد بررسی قرار دهیم، در تمام جهت ها تصویر تقریبا یکسانی را مشاهده می کنیم. این تصویر به موقعیت ناظر و اینکه از کدام نقطه کیهان به کیهان بنگرد نیز بستگی ندارد.

قانون هابل و انتقال به سرخ

کیهان شناسی نوین با کشف ادوین هابل[2] (۱۹۵۳-۱۸۸۹م) آغاز شد. او دریافت که کهکشان ها متناسب با فاصله‌شان (R) با سرعت dR/dt از یکدیگر دور می شوند.

$$\frac{dR}{dt} = H_0 R + v_p \qquad (۱-۱)$$

[1] Big Crunch
[2] Edwin Powell Hubble



شکل ۱-۱. نمودار سرعت شعاعی دورشدن کهکشان ها برحسب فاصله،

نمودار برگرفته از (Reindl et al. (APJ 624,532 (2005)

ضریب تناسب این معادله ثابت هابل نامیده می شود. معکوس آن (H_0^{-1}) واحد زمانی است که مربوط به رخ دادن تغییرات عمده در R است. بنابراین H_0 را می توان نرخ فعلی انبساط کیهان محلی نامید. باید بین ثابت هابل و پارامتر هابل ($H(t)$) که بیان کننده نرخ انبساط برحسب زمان است تفاوت قایل شد.

همانطور که در رابطه (۱-۱) مشاهده می شود، کهکشان ها علاوه بر سرعت هابل (H_0R)، دارای یک سرعت خاصه (v_p) هستند که عموما از مرتبه $v_p \sim 10^{-3}c \sim 300\,km{\cdot}s^{-1}$ است. لازم به ذکر است آنچه در اینجا به عنوان رابطه هابل معرفی شده شکل غیر نسبیتی این رابطه است که تقریبی است که برای کهکشان های نزدیک کاربرد دارد. شکل کامل این رابطه در فصل ۲ معرفی خواهد شد.

به سبب دشواری های اندازه گیری فاصله در کیهان شناسی، مقدار تخمینی ثابت هابل از زمانی که برای اولین بار هابل آن را بیان نمود تا به امروز به اندازه یک مرتبه تغییر کرده است. آخرین اندازه گیری ها مقدار

$$H_0 = 71.9^{+2.6}_{-2.7}\ kms^{-1}\,Mpc^{-1} \qquad (۲-۱)$$

را بدست می دهد [۲۱]. البته مرسوم است که به جای H_0 از کمیت h یا h_{70} استفاده کنیم که به صورت

$$h = H_0 /\left(100\,kms^{-1}Mpc^{-1}\right) \qquad (۳-۱)$$

$$h_{70} = H_0 /\left(70\,kms^{-1}Mpc^{-1}\right) \qquad (۴-۱)$$

تعریف می شوند.

برای اندازه گیری H_0 ما نیاز به دانستن فاصله کهکشان ها و سرعت دورشدن آنها داریم. سرعت دورشدن کهکشان ها را به راحتی می توان با استفاده از انتقال به سرخ آنها (z) که از مشاهده و اندازه گیری خطوط طیفی آنها تعیین می شود بدست آورد.

$$z \equiv \frac{\lambda_0}{\lambda_1} - 1 \qquad (۵-۱)$$

در این رابطه λ_1 طول موجی است که در چارچوب ساکن که کهکشان در آن قرار دارد، اندازه‌گیری می شود و λ_0 طول موجی است که ما اندازه‌گیری می کنیم

$$\frac{\lambda_0 - \lambda_1}{\lambda_1} = \frac{v}{c} \qquad (۶-۱)$$

با استفاده از این رابطه، رابطه (۱-۵) به شکل زیر در می آید.

$$z \sim c^{-1}\frac{dR}{dt} \qquad (z << 1) \qquad (۷-۱)$$

با جایگذاری این رابطه در رابطه (۱-۱) می بینیم که قانون هابل را می توان برحسب انتقال به سرخ بازنویسی کرد.

$$z = \frac{H_0}{c} R + \frac{v_p}{c} = \frac{R}{d_H} + \frac{v_p}{c} \qquad (z << 1) \qquad (۸-۱)$$

که در آن d_H طول هابل است.

$$d_H = cH_0^{-1} = 3000\, h^{-1} Mpc \qquad (۹-۱)$$

می توان نتیجه گرفت برای $z << 1$ اگر $R << d_H$ باشد رابطه (۱-۸) به ما اجازه می دهد که فاصله یک کهکشان را برحسب انتقال به سرخ آن تخمین بزنیم

$$R \sim z d_H \quad (z << 1) \qquad (۱۰-۱)$$

این تخمین هنگامی دقیق است که بتوان از سرعت خاصه کهکشان چشم پوشی کرد.

با قراردادن $c = 1$ می توان رابطه (۱-۹) را به شکل $d_H = H_0^{-1}$ نوشت.

سه نتیجه مهم قانون هابل را می توان فهرست کرد:

۱- کیهان پویاست و در گذشته چگال‌تر و داغ‌تر از امروز بوده است. یک مدل ساده شده از قانون هابل ما را به لحظه ای می رساند که چگالی در آن بینهایت بوده است، که مهبانگ[۳] نامیده می شود. دلیل ساده نامیده شدن مدل این است که ما هنوز دانش کافی نسبت به فیزیک چگالی بینهایت نداریم. اگر سرعت امروزی دورشدن کهکشان ها را در تمام زمان ثابت درنظر بگیریم، زمان H_0^{-1} زمان سپری شده از لحظه تکینگیِ فرض شده ابتدایی است. این زمان، زمان هابل نامیده می شود

$$t_H = H_0^{-1} = 10^{10} h^{-1}\, yr = 1.4 \times 10^{10} h_{70}^{-1}\, yr \qquad (۱۱-۱)$$

[3] Big bang

در زمان هابل نور می تواند بازه ای به ابعاد $ct_H = d_H$ را بپیماید. بنابراین انتظار داریم که در ناحیه ای به ابعاد طول هابل، افقی وجود داشته باشد. اجرام ورای افق که هم مرتبه شعاع هابل است قابل مشاهده نیستند زیرا نور آنها هنوز به ما نرسیده است.

۲- خطی بودن قانون هابل به این معنی است که ناظری در یک کهکشان همسایه نیز کیهان را با همان نرخ انبساط H_0 مشاهده می کند. از آنجا که هر ناظر متصل به هر کهکشان قانون هابل یکسانی را مشاهده می‌کند؛ ما مشتاقیم استدلال کنیم که کیهان همگن است و احتمالا چگالی جرمی میانگین ثابتی در هر حجمِ به اندازه کافی بزرگ مشاهده می شود. به لحاظ تاریخی کیهان شناسان فرض کرده‌اند که تمام کیهان همگن است و این بیانی از اصل کیهان شناسی است.

۳- می توان با استفاده از H_0 و ثابت گرانشی نیوتون ($G = G_N$)کمیتی با ابعاد جرم (یا انرژی) در واحد حجم ساخت که چگالی آستانه شناخته می شود

$$\rho_c = \frac{3H_0^2}{8\pi G} = 0.92\, h_{70}^2 \times 10^{-25}\, kgm^{-3} = 1.4 h_{70}^2 \times 10^{11}\, M_S Mpc^{-3} \qquad (۱۲-۱)$$

همانگونه که از H_0^{-1} به عنوان واحد زمانی استفاده می شود مرسوم است که چگالی ها را برحسب چگالی آستانه ρ_c بهنجار نماییم. مثلا برای چگالی کل ρ_T داریم

$$\Omega_T \equiv \frac{\rho_T}{\rho_c} \qquad (۱۳-۱)$$

چگالی جرم مرئی نیز به شکل زیر در می آید

$$\Omega_{vis} = \frac{\rho_{vis}}{\rho_c} \sim 0.002 \qquad (۱۴-۱)$$

اجزای تشکیل دهنده کیهان

کیهان مرئی: کهکشان ها

سنگ بنای کیهان مرئی کهکشان ها هستندکه از ستاره ها، گاز میان ستاره ای و ماده تاریک ساخته شده اند. کهکشان ها دارای اشکال، جرم و تابندگی های متفاوتی هستند. با این حال بیشتر نور موجود در کیهان در کهکشان ها -که شامل ۱۰^۹ تا ۱۰^۱۱ ستاره هستند- تولید می شود که هرکدام به طور نمونه درخشندگی ای برابر با $\langle L_{gal} \rangle \sim 2\times10^{10}\, L_S$ دارند که L_S درخشندگی خورشید است و برابر است با

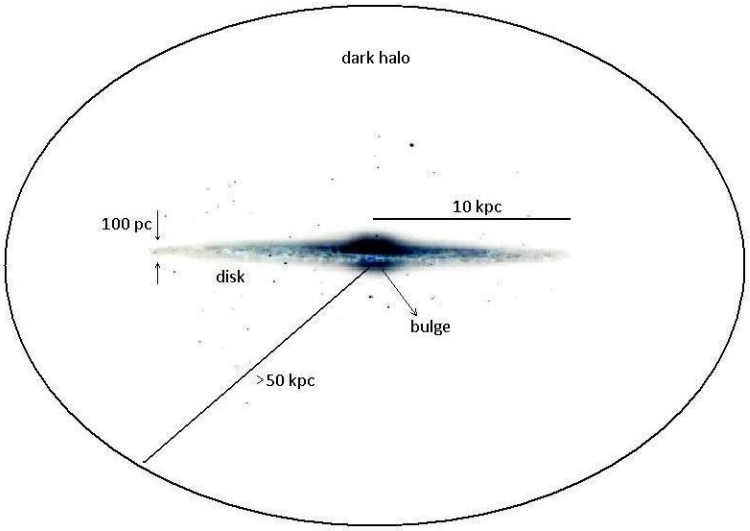
$$L_S = 2.4\times10^{45}\, eV\, s^{-1} \qquad (۱۵-۱)$$

جرم کهکشان ها را نمی توان به راحتی تعیین کرد؛ زیرا مطالعه سرعت چرخش ابرهای کهکشانی نشان می دهد که بیشتر جرم کهکشان در هاله ای تاریک و تقریبا کروی با حدودی نامعین قرار گرفته است. جرم نواحی مرئی (M_{vis}) غالبا در ستاره ها متمرکز شده و مشاهده شده است که تقریبا متناسب با درخشندگی کهکشان (L) می باشد. به طور نمونه نسبت جرم به درخشندگی از مرتبه سه برابر جرم خورشید به درخشندگی آن است

$$\langle M_{vis} / L \rangle \sim 3\left(M_S / L_S\right) \qquad (۱۶-۱)$$

باتوجه به اینکه $M_S = 1.988\times10^{30}\, kg$ است رابطه بالا حکم می کند که جرم مرئی یک کهکشان نمونه برابر باشد با

$$\langle M_{vis} \rangle \sim 6\times10^{10} M_S \qquad (۱۷-۱)$$



شکل ۱-۲. طرحواره ای از یک کهکشان. قرصی نازک به همراه هسته ای درخشان در وسط و هاله تاریک بزرگی که تمام آنها را دربر گرفته است.

شکل مربوط به کهکشان NGC 4565 می باشد اما ابعاد و اندازه های آن عمومی هستند

شعاع ناحیه مرئی یک کهکشان مارپیچی تقریبا برابر است با

$$\langle R_{vis} \rangle \sim 10\,kpc \qquad (۱۸-۱)$$

کهکشان ها به صورت یکنواخت در کیهان توزیع نشده اند. آنها اغلب در گروه ها و خوشه های مقیدی جای گرفته اند که بزرگترین آنها می تواند شامل چند هزار کهکشان باشد. باوجود این ناهمگنی، کیهان در بزرگ مقیاس ($>100\,Mpc$) همگن به نظر می رسد و دارای یک چگالی عددی کهکشانی است که برابر است با

$$n_{gal} \sim 0.005\,Mpc^{-3} \qquad (۱۹-۱)$$

این مقدار مربوط به فاصله میان کهکشانی حدود $6\,Mpc$ است. بایستی تاکید شود که این چگالی مربوط به کهکشان های درخشان مشابه راه شیری است. به نظر می رسد که چگالی عددی در مواجهه با کهکشان های کوچکتر و کم فروغ تر به صورت لگاریتمی افزایش می یابد. بنابراین نمی توان چگالی عددی کهکشان ها را به درستی تخمین زد. کهکشان های کوچک سهم کمی در مجموع نور کیهان که مقداری برابر با

$$J \sim \langle L_{gal} \rangle n_{gal} \sim 10^8 \, L_S \, Mpc^{-3} \qquad (۲۰-۱)$$

را داراست، دارند. چگالی جرمی کل مربوط به بخش مرئی کهکشان ها بافرض نسبت جرم به نور $3(M_S / L_S)$ برابر است با

$$\rho_{vis} = J\langle M / L \rangle \sim 3\times 10^8 M_S \, Mpc^{-3} \qquad (۲۱-۱)$$

باریون ها

تخمین زده می شود که چگالی کل ماده باریونی (پروتون ها، نوترون ها و الکترون ها) یک مرتبه بزرگتر از جهان باریونی قابل مشاهده باشد.

$$\Omega_b = (0.04 \pm 0.01) h_{70}^{-2} \qquad (۲۲-۱)$$

این مقدار از نظریه هسته زایی عناصر سبک بدست می آید زیرا تنها زمانی که Ω_b نزدیک این مقدار باشد می تواند نسبت فراوانی عناصر سبک را به درستی پیش بینی کند. همانگونه که ستاره ها هیدروژن‌شان را به هلیوم و سپس به عناصر سنگین تر تبدیل می کنند؛ ترکیب کیهان درطول زمان دستخوش تغییر می شود. با این حال با ردیابی ^2H و ^3He و ^7Li به نظر می رسد که مخلوط اولیه شامل ۷۵٪ هیدروژن (برحسب جرم) و ۲۵٪ ^4He بوده است. این مخلوط اولیه تقریبا همان چیزی است که در مناطقی که تحت تاثیر فرایند هسته زایی ستارگان قرار نگرفته اند مشاهده می شود. فراوانی اولیه، از واکنش های هسته ای –در زمانی که دمای کیهان درحدود keV 60 بوده است– ناشی می شود.

از آنجایی که چگالی ماده باریونی بیشتر از چگالی ماده مریی در عالم است ($\Omega_b > \Omega_{vis}$) ممکن است این سوال ایجاد شود که باریون های مشاهده نشده کجا هستند. تصور می شود بیشتر آنها به صورت گاز یونیده در

فضای میان کهکشانی پراکنده شده باشند. بخشی از آنها نیز ممکن است به صورت اجرام تاریک -مانند ستارگان مرده- و یا اجرامی که سبکتر از مقدار لازم برای هیدروژن سوزی هستند (کوتوله های قهوه ای) باشند. هم چنین ممکن است بخش قابل توجهی از آن به صورت ابرهای سرد مولکولی باشد.

ماده تاریک سرد

کهکشان ها و خوشه های کهکشانی از رمبش گرانشی ماده غیرنسبیتی بوجود آمده اند. یکی از مهم‌ترین نتایج این ساز و کار این است که توضیح و درک چگونگی تشکیل ساختارهای مشاهده شده بوسیله مقدار باریون داده شده در رابطه (۱-۲۲) بسیار مشکل است. مساله این است که توزیع فضایی فوتون های تابش زمینه تقریبا مستقل از راستای مشاهده است که نشان دهنده این است که توزیع ماده باریونی در زمان های گذشته بسیار یکنواخت بوده است در حالیکه شرایط فعلی توزیع ماده از آن حالت یکنواختی فاصله گرفته است. اگر تنها حضور باریون-ها را در کیهان درنظر بگیریم، رسیدن از آن همگنی به وضعیت فعلی مشکل است.

الگو های رایج تشکیل ساختار، وجود ماده تاریک سرد را به شکل غیرنسبیتی -که تنها دارای برهمکنش های ضعیف است- فرض می کنند. این ماده به عنوان ماده تاریک سرد (CDM)[۴] شناخته می شود. اغلب این ماده تاریک به شکل ذرات سنگین غیر باریونی فرض می شود و به آنها wimps[۵] می گویند.

تخمین زده می شود چگالی فعلی ماده تاریک سرد یک مرتبه بیشتر از باریون ها است؛ با این حال هنوز این چگالی کمتر از مقدار آستانه است

$$\Omega_{CDM} \sim 0.3 \qquad (۱-۲۳)$$

[4] Cold Dark Matter
[5] Weakly Interacting Massive Particles

براساس شواهد بدست آمده از مشاهدات مربوط به پدیده همگرایی گرانشی، اعتقاد بر این است که ماده تاریک، بیشترِ جرم هاله های کهکشانی و خوشه های کهکشانی را تشکیل می دهد.

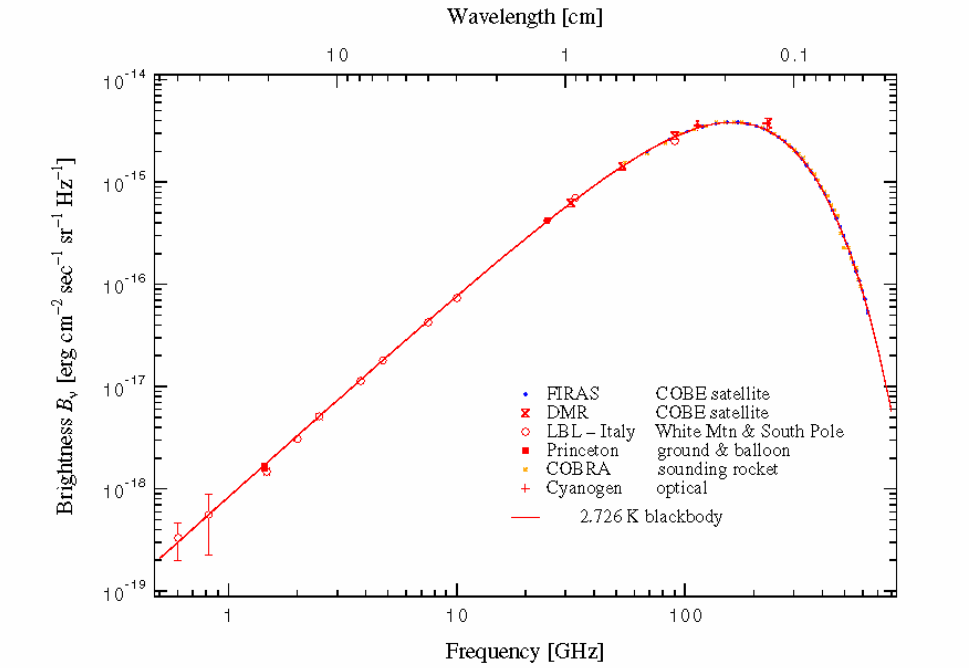
فوتون ها

بیشترین ذرات موجود درکیهان، فوتون های تابش ریزموج کیهان (CMB[6]) هستند. این فوتون ها با دقت بسیار بالا دارای طیف حرارتی هستند که در شکل ۱-۳ نشان داده شده است. دمای فوتون ها برابر با $T_\gamma = 2.726\,K$ و چگالی عددی آنها برابر با $n_\gamma = 411\,cm^{-3}$ است.این مقدار به میزان قابل توجهی بیش از فوتون های تولید شده توسط ستاره ها است. باوجود فراوانی زیاد فوتون های تابش زمینه، دمای اندک آنها موجب می شود که چگالی انرژی فوتون ها بسیار اندک باشد.

$$\Omega_\gamma = 5.06\,h_{70}^{-2} \times 10^{-5} \qquad (۱-۲۴)$$

دمای تابش زمینه، در راستاهای متفاوت کاملا یکنواخت نیست، مشاهده ها نشان می دهد که تغییراتی نسبی از مرتبه 10^{-5} وابسته به راستای مشاهده در آن وجود دارد.

[6] Cosmic Microwave Background radiation



شکل ۱-۳. طیف مشاهده شده از تابش زمینه کیهان. این طیف مطابق بر طیف جسم سیاهی با دمای $2.726\,K$ است.

خلاء[۷]

یکی از مهم ترین یافته های کیهان شناسی در دهه گذشته این بود که یک انرژی خلاء یا ثابت کیهان شناسی (Λ) مولفه غالب در عالم است.

$$\Omega_\Lambda \sim \frac{\Lambda}{3H_0^2} \sim 0.7 \qquad (۲۵-۱)$$

بنابر تعریف، انرژی خلاء ارتباطی با ذرات مادی ندارد و بنابراین با انبساط کیهان رقیق نمی شود و چگالی آن مستقل از زمان است. با فرض $\Omega_\Lambda = 0.7$ داریم

[7] Vacuum

$$\rho_{\Lambda} \sim 3h_{70}^{2} \times 10^{9}\, eVm^{-3} \qquad (۲۶-۱)$$

دلایل رصدی وجود این انرژی خلاء عمدتا از مشاهده ابرنواخترهای با انتقال به سرخ بالا بدست می آید که به ما نشان می دهد که سرعت انبساط کیهان -آنگونه که از گرانش معمولی انتظار داریم- کندشونده نیست بلکه تندشونده است. برای توضیح انبساط تند شونده عالم یک چگالی مثبت انرژی خلاء یا همان ثابت کیهان شناسی آسان ترین مدل است.

مدل کیهان شناسی براساس گرانش نیوتونی

به طور کلی می توان بدون استفاده از معادله های اصلی نسبیت عام، درباره کیهان شناسی، معادله فریدمن -که انبساط کیهان را توصیف می کند- را هم با کمک نظریه گرانش نیوتونی و هم روابط نسبیت عام بدست آورد و به نتایج مشابهی رسید.

در نظریه نیوتونی تمام مواد با یکدیگر بوسیله نیرویی که از جانب اجرام به یکدیگر وارد می شود طبق رابطه زیر برهمکنش می کنند

$$F = G\frac{Mm}{r^{2}} \qquad (۲۷-۱)$$

که در آن r فاصله میان دو جرم m و M و G ثابت گرانشی نیوتون می باشد. می توان برای این نیرو یک پتانسیل گرانشی تعریف کرد

$$V = -\frac{GMm}{r} \qquad (۲۸-۱)$$

در یک توزیع کروی از اجرام، اگر جرمی در شعاع خاصی قرار گرفته باشد نیرویی از سوی اجرامی که فاصله بیشتری نسبت به مرکز دارند احساس نمی کند.

معادله فریدمن توصیف کننده انبساط کیهان است و بنابراین مهمترین رابطه در کیهان شناسی است. برای بدست آوردن معادله فریدمن از نظریه نیوتونی انرژی پتانسیل و جنبشی یک جرم واحد را محاسبه کنیم و پایستگی انرژی را بکار می گیریم.

محیطی یکنواخت را با چگالی جرمی ρ درنظر می گیریم. از آنجا که هر نقطه از کیهان مانند دیگر نقاط به نظر می‌رسد می توان هر نقطه دلخواهی را به عنوان مرکز این ناحیه درنظر گرفت. ذره ای به جرم m را درنظر می گیریم که در فاصله r از این مرکز قرار گرفته است (شکل ۱-۴). بنابر برهانی که در بالا به آن اشاره کردیم این جرم تنها نیروی وارد از طرف جرم هایی که در شعاع های کمتری نسبت به آن قرار دارند را احساس می کند. جرم کل محدود به شعاع r برابر با $M = 4\pi\rho r^3/3$ است که نیروی

$$F = \frac{GMm}{r^2} = \frac{4\pi G\rho m}{3} r \qquad (۲۹-۱)$$

را اعمال می کنند. ذره مورد نظر دارای انرژی پتانسیل گرانشی زیر است