بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه آزاد اسلامی

واحد تهران مرکزی

دانشکده علوم پایه،گروه فیزیک

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد(M.Sc)

گرایش: نجوم

عنوان:

ناهمسانگردی تابش میکروموج زمینه کیهانی ناشی ازاختلال چگالی

استاد راهنما:

دکترمجید محسن زاده گنجي

استاد مشاور:

دکترپرویز زبده

پژوهشگر:

فاطمه مکی نسب

تابستان ۱۳۹۰

ISLAMIC AZAD UNIVERSITY

Central Tehran Branch

Faculty of Basic Sciences- Department of Physics

"M.Sc" Thesis

On Astronomy

Subject:

Anisotropy of Cosmic Microwave Background radiation Due to the density perturbation

Supervisor:

Dr.Majid Mohsenzade Ganji

Advisor:

Dr.Parviz Zobdeh

By:

Fatemeh Makinasab

Summer2011

تشکر وقدردانی

"الحمد لله رب العالمین"

از استادان بزرگوارم دکتر مجید محسن زاده گنجی و دکتر پرویز زبده که با صبوری مرا در این امر یاری فرمودند و همچنین پدر و مادر بزرگوارم که همواره پشتیبان و راهنمایم بوده اند.

تقدیم به:

ساحت مقدس امام عصر(عج)

وکریم اهل بیت امام حسن مجتبی(ع)

بسم الله الرحمن الرحيم

فهرست

عنوان	صفحه
۱)مقدمه	۱
۱-۱)پیش گفتار	۲
۱-۲)برخی مفاهیم کیهان شناسی	۴
۱-۳)مروری بر کیهان شناسی	۲۱
۱-۴)روند آغازین کیهان شناسی	۲۴
۱-۵)انواع کهکشان	۲۶
۲) تابش میکروموج زمینه ي کیهاني	۲۹
۲ -۱) نظریه انفجار بزرگ	۲۹
۲-۲)اساس کیهان شناسی انفجار بزرگ	۳۰
۲-۳)آزمایشهای انفجار بزرگ	۳۲
۲-۴)تاریخچه میکرو موج زمینهي کیهانی	۳۵
۲-۵) فراسوي کیهان شناسي انفجار بزرگ	۴۱
۳)بررسی ویژگیهای میکروموج زمینهي کیهانی	۴۷
۳-۱)تشکیل $\boldsymbol{cmb}$ و ویژگی های آن	۴۸
۳-۲)میکروموج زمینه	۴۸
۳-۳)تابشهای زمینه	۵۳
۳-۴)دمای زمینه	۵۵
۳-۵)گرمایی شدن	۵۸

۴)انواع اختلال و اختلال چگالی ۶۵
۴-۱)ناهمسانگردیهای تابش میکرو موج زمینه‌ي کیهانی ۶۶
۴-۲)ناهمسانگردی ناشی ازاختلال چگالی ۷۰
۴-۳)طیف توانی cmb ۷۶
۴-۴)ناهمسانگردی دو قطبی ۸۲
۴-۵)ناهمسانگردی ناشی از افق ذره ۸۳
۴-۶)ناهمسانگردیهای کوچک زاویه ای ۸۵
۴-۷)اثر سانیف زلدویچ ۸۷
۴-۸)نوسانهای ساخاروف ۸۸
۴-۹)آزمایشهای آتی ۸۹

بحث کلی ۹۱
پیوست الف ۹۵
پیوست ب ۱۰۵
پیوست ج ۱۱۴
مراجع ۱۲۷

خلاصه

همانطور كه مي دانيم علاوه بر اختلال ماده، كه مي تواند از طريق مشاهدات مربوط به توزيع و حركت كهكشانها انجام گيرد، اختلالاتي نيز در فوتونهاي كيهاني وجود دارد. ما فوتونهاي كيهاني را بعنوان تابش ميكروموج زمينه كيهاني مي شناسيم. اين تابش بعنوان مرجع و زمينه براي بررسي ساختار جهان از اهميت خاصي برخوردار است، و چون اين تابش مربوط به جهان اوليه است، آنرا تابش كيهاني گويند. شدت اين تابش ميكروموج زمينه كيهاني بر حسب فركانس را مي توان با دقت خوبي، يك توزيع جسم سياه در نظر گرفت. اما اخيرا مشاهدات نشان مي دهد كه براي يك طول موج داده شده، يك ناهمسانگردي كوچك در شدت تابش ميكروموج زمينه كيهاني وجود دارد. يعني، شدت تابش ميكروموج زمينه كيهاني وابسته به جهت مشاهده است. ما در اين پايان نامه قصد داريم ناهمسانگردي ايجاد شده در تابش ميكروموج زمينه كيهاني كه ناشي از اختلال چگالي است را مورد بحث و بررسي قرار دهيم.

فصل اول

مقدمه

"سَنُریهم آیَاتِنا فِی الافاق وَ فِی اَنفُسِهم حَتیّ یَتبَیّنَ لَهُم اَنَّهُ الحَقُّ "

"بزودی نشانه های خود را در اطراف جهان ودرخودشان به آنها می‌نمایانیم ، تا اینکه برای آنها آشکارا شود که او حق است."

ستایش شایسته خداوندی است که به رازهای پنهان آگاهی دارد وپدیده های آشکار آفرینش بیانگرتوانایی اوست.خداوندی که هفت آسمان را پدید آورد ودر زیر آن امواجی ایسنا و بازدارنده بیافرید وبرفراز سقفی بلند واستوارکه بر ستونی تکیه ندارد و میخهایی آن را استوار و منظم نسازد.آنگاه آسمان را به زیور اخترانی روشن و ستارگانی درخشنده بیاراست وچراغهایی درخشان وقمرهایی روشنگر در مدارهایی گردان وسقفی چرخان وگنبدی جنبان به گردش آورد.

سلام برپیام آوران وحی وراهنمایان سعادت وروشنگران راه حق و حقیقت،بخصوص خاتم پیامبران حضرت محمد ابن عبدالله صلی الله علیه وآله که نور علم وخداپرستی را بردلهای جهانیان تابانید .و درود و بدرود بر جانشینان پاک و معصومش که هر یک کشتی نجاتی بر عالمیانند.

۱-۱)پیش گفتار

هیچ شاخه ای از علوم نمی تواند مدعی داشتن زمینه ای جالب توجه‌تر از کیهان شناسی شود زیرا کیهان شناسی علم مطالعه‌ی عالم است و تعریف عالم همه چیز را در بر می‌گیرد . نجوم کار خود را با مطالعه‌ی ویژگی‌های سیارات و ستارگان آغاز کرد ، و به تدریج گسترش یافت و به مرزهای دستگاه راه شیری رسید، که کهکشان مربوط به ماست . روشهای نجومی جدید موضوع را فراتر از کهکشان به اجسام دوردستی گسترش داده‌اند که نور آنها پس از بیلیونها سال به ما می رسد.

کیهان شناسی بیشتر به جهان فرا کهکشانی می‌پردازد که بررسی ساختار بزرگ مقیاس عالم است که تا فاصله‌های بیلیونها سال نوری گسترش می یابد .

اینکه ابزارهای رصدی ما آنقدر خوب هستند تا اطلاعات کافی درباره‌ی ساختار بزرگ مقیاس عالم را در اختیارمان بگذارند ؟ و یا آیا شناخت ما از قوانین حاکم بر طبیعت آنقدر کافیست که این اطلاعات را تفسیر کند را با این گفته‌ی انیشتین می‌توان پاسخ داد که "غیر قابل درک ترین چیز درباره‌ی عالم ، قابل فهم بودن آن است " بنابراین شناخت ما از قوانین فیزیکی هنوز جای پیشرفت بسیار دارد .

بدنبال پیشرفت علم فیزیک و ورود به عرصه‌ی کیهان شناسی وجهان بینی،دانشمندان عملاً مسئله را به دو بخش تقسیم می‌نمایند:

نخست قوانینی که مارا در جریان چگونگی تغییر و تحول هستی نسبت به زمان قرار می‌دهند یعنی"اگر در هر لحظه بدانیم جهان چه شکلی دارد این قوانین فیزیکی به ما خواهند گفت که در هر لحظهٔ دلخواه بعد از آن،چگونه جهان را خواهیم دید ؟" ثانیاً مسئله حالت نخستین هستی مطرح می باشد که "چگونگی وقوع عالم و رخ داد عجیب آن مدتهاست که بی پاسخ مانده و عده‌ای معتقدند که به متافیزیک و مذهب بر می‌گردد .

به نظر می رسد قادر متعال از آنجا که هستی را بر اساس نظامی قانونمند و بسیار دقیق و مرتب خلق نموده اراده‌اش بر آن بوده که عالم را به گونه‌ای حساب شده و طبق قوانین معینی در راستایی هدفمند ایجاد کند .

از آنجا که بر همگان ثابت شده که تمام موجودات عالم بر اساس موازین و قوانین بسیار منظم و یکپارچه راه تکامل را طی می‌کنند بنابراین می‌توان نتیجه‌گرفت که بی‌شک و تردید قوانینی نیز وجود دارند که بر وضعیت نخستین عالم حکم می راند.

برای توضیح منشأ پیدایش‌وسرانجام جهان،چندین نظریه موجود است که ازمیان آنها نظریه‌ی انفجاربزرگ‌داغ $(hot\ big\ bang)$ [1] درباره پیدایش‌گیتی‌واخیراً مدل ماده‌ی سیاه داغ و سرد $(hot\ and\ cold\ dark\ matter)$[1] بیشترین مقبولیت را دارند .

درباره‌ی وضع آینده جهانی که در آن زندگی می‌کنیم نیز نظرات کاملاً متفاوتی وجود دارد . برخی عقیده دارند که‌جهان تا بی‌نهایت به انبساط خود ادامه می دهد در حالیکه گروهی دیگر بر خلاف آنها محدوده‌ای براین‌گسترش قائلند و معتقد هستند که زمانی می رسد که این انبساط متوقف می شود و پس از آن جهان رو به انقباض می‌رود و درهم فرو می‌ریزد و دوباره در نقطه‌ی اولیه منتظر زایشی جدید می‌نشیند .

هدف‌کلی بحث‌کیهانشناسان شرح پدیده‌هایی همچون‌شکل‌گیری کهکشانها دسته‌بندی در توزیع آنها ، دامنه و شکل ناهمسانگردیها در میکروموج زمینه‌است .

۱- ۲)برخي مفاهيم كيهان شناسي

قبل از شروع بحث اصلي اجازه دهيد بعضي از پارامترها و مفاهيم كيهانشناختي كه دراين بحث با آنها سرو كار داريم را ارائه دهيم و بقيه‌ي موارد را درضميمه قرار خواهيم داد.

- طول :فیزیکدانها از متر (یکا در سیستم SI) یاسانتی متر (درسیستم cgs)استفاده میکنند.اگر چه از این یکاها در به دست آوردن عبارتهای مربوط به فرمولهای فیزیکی استفاده می‌کنیم اما آنها برای فواصل کیهانی بسیار کوتاهند بنابراین ازسال نوری استفاده می‌شود که فاصله‌ای است که نور در

یک سال می‌پیماید.نور درخلاء با سرعت 300000 کیلومتر در ثانیه حرکت میکند،بنابراین سال نوری،تقریبا برابربا 9461000 میلیون کیلومتر است. معمولاً اخترشناسان از واحد پارسک (pc)استفاده می‌کنند.یک پارسک ،فاصله‌ایست که از آن ،قطر دایره زمین تحت زاویه 1 ثانیه رؤیت می شود واز آنجاکه هر ثانیه برابر با $\frac{1}{3600}$ درجه است پس یک پارسک معادل با 3.26 سال نوری است($1pc = 3.26\ light\ years = 3.09 \times 10^{16}$) برای کیهانشناسان ، واحد مگاپارسک بصورت $1Mpc = 10^6 pc$ تعریف مي شود،مناسب است.

- زمان : يكاي بنيادي براي زمان "ثانيه"است.در کیهان شناسی به مقیاسهای زمانی بسیار طولانی احتیاج داریم یکای نوعی گیگا سال $1Gyr = 10^9$ مناسب است .
- جرم : فیزیکدانها از یکای کیلوگرم در SI و cgs استفاده می کنند ولی جرم اجرام سماوی بر حسب یکای جرم خورشید بیان می شود که برابر است با:

اغلب $h^{-1}Mpc$ را براي فواصل بسيار دور تعريف مي كنند .تعريف

- برای توصیف تحول جهان ، ما به معادله‌ی حالت احتیاج داریم یعنی یک رابطه بین فشارP و چگالی ρ باید داشته باشیم.کلاً لازم است تمام شاره‌های کامل‌که برای کیهان شناسی در نظرگرفته می شوند از معادله‌ی حالت زیر پیروی کنند .

که دراینجا $\boldsymbol{\omega}$ مقدار ثابت و مستقل از زمان است

$$p = \omega\rho \qquad (۱-۲-۱)$$

با استفاده از معادله‌ی بقاء انرژي$\nabla_\mu T_0^\mu = 0$ برای شاره‌کامل ،و نیز استفاده از رابطه‌ی فوق نتیجه‌ی زیر بدست می‌آید[7] (اثبات در پیوستA)

$$\rho \propto a^{-3(1+\omega)} \qquad (۲-۲-۱)$$

برای این مورد معمولاً سه حالت در نظر گرفته می شود:

الف) تسلط ماده(*matter dominated*)

ب) تسلط تابش (*radiation dominated*)

ج) تسلط خلاء (*vacuum dominated*)

الف) تسلط ماده : ناحیه ای است که در آن تسلط ماده نسبت به چیزهایی دیگر بیشتر است پس در این ناحیه ما فرض مي‌کنیم که ذرات غیر نسبیتی‌اند و برخورد با هم ندارند.

دراین ناحیه $\omega = 0$ می‌باشد [7] پس با جایگذاری در رابطه‌ی $(1-2-2)$خواهیم داشت:

$$\rho \propto a^{-3} \qquad (۳-۲-۱)$$

که این رابطه این طور بیان می‌کند که با انبساط هستی (يعني افزايش $a(t)$)چگالی ρ درحال کاهش است و قابل ذکر است که در حال حاضر جهان با استفاده از ناحیه‌ی تسلط ماده توضیح داده می شود .

ب) تسلط تابش : در این ناحیه فرض مي‌کنیم که ذرات با سرعت نسبیتی حرکت مي‌کنند پس انرژي آنها بسیار زیاد بوده بطوریکه مي توان از جرم آنها صرف نظرکرد. در نتیجه تمام این ذرات یا شبیه فوتون‌ها یا نوترینوها رفتار مي‌کنند در این جهان که چگالی انرژی به شکل تابش است ناحیه‌ی تسلط تابش نامیده می‌شود . در این ناحیه $\omega = \frac{1}{3}$ است[7] ودر نتیجه ازرابطه $(1-2-2)$داریم:

$$\rho \propto a^{(-4)} \qquad (۴-۲-۱)$$

ج) تسلط خلاء : در این ناحیه $\omega = -1$ می باشد [7] و با جایگذاری در رابطه‌ی فوق خواهیم داشت:

$$P = -\rho = \textbf{ثابت} \qquad (۵-۲-۱)$$

همانطور که می بینیم چون فشار و چگالی برابرمقدار ثابتی است واز a مستقل است یعنی ρ نسبت به زمان و هم نسبت به مکان ، همگن وهمسانگرد است .

مرسوم‌این‌استکه واحدها را طوری انتخاب کنند که $c = 1$ و $\hbar = 1$ باشد بنا براین یعنی299,792,458 متر معادل با یک‌ثانیه است و نیز جرم‌وزمان معکوس یکدیگرند.

- جهان درحال انبساط

فاکتورهای اندازه‌گیری وپارامتر هابل

اگرجهان همگن و همسانگرداست،فاصله‌ی بین دونقطه‌ی هم حرکت با اندازه‌ی فاکتورجهان $a(t)$متناسب‌است. دراینجا τ زمان کیهانی است.[1]

یک‌نقطه‌ی‌همحرکت($commoving$) با انبساط جهان حرکت میکند.درتعریف قراردادی،چگالی اندازه حرکت صفررا بعنوان موقعیت یک مشاهده‌گر،اندازه می‌گیرد.

فاکتور مقیاس در دوره‌ی کنونی بهنجار به یک است.بطورکلی،اندیس صفربردوره‌ی کنونی اشاره دارد.فاصله‌ی یک نقطه‌ی هم حرکت داده شده ،ازموقعیت ما اندازه گیری می شود.ومیتوان نوشت:

$r(\mathrm{t}) = xa(t)$[1] ثابت x فاصله‌ی هم حرکت نامیده شده است و مساوی با فاصله‌ی کنونی تا دوره‌ی کنونی است.تغییر جزیی در زمان که به زمان همدیسی معروف می باشد، غالبا مفیداست. و بوسیله‌ی رابطه‌ی زیرتعریف می شود[1]:

$$d(\tau) = \frac{dt}{a(t)} \qquad (۶\text{-}۲\text{-}۱)$$

برای ذره ی آزادی که با سرعت $c = 1$ درحرکت است،مختصات فاصله‌ي طی شده دربازه‌ی یک زمان همدیسی $\Delta\tau$ بطور ساده$\Delta\tau$ است.که این نتایج را برای فوتونهاونوترینوهاي بی‌جرم بکارمی بریم.

- قانون هابل

در سال ۱۹۲۹ ، هابل که کوششهاي او در طبقه بندي کهکشانها معروف است ،به تحلیل علت پدیده انتقال به سرخ در طیف برخي کهکشانها پرداخت .او دریافت که میان سرعتي که يك کهکشان از ما دور مي شود و فاصله آن رابطه اي وجود دارد و این بدان معناست که هر چه کهکشاني دور تر باشد مشاهده مي شود که سرعت دور شدن آن هم بیشتر مي شود این اصل به نام قانون هابل خوانده مي شود،بعدها بصورت رابطه اي تنظیم شد که مي توان آن را بشکل زیر نوشت:

که در این H نماینده عددي است که ثابت هابل نامیده مي شود.

درهردوره،سرعت انبساط جهان بوسیله‌ی پارامترهابل داده می شود.

$$\mathrm{H} \equiv \frac{\dot{a}}{a} \qquad (۷\text{-}۲\text{-}۱)$$

زمان هابلی H^{-1} و فاصله‌ی هابلی CH^{-1} (باانتخاب $C = 1$مساویست با H^{-1}) اهمیت بسیار مهمی دارد.فاصله هابل اغلب افق نامیده می شود.زیرا این یک فاصله‌ی تخمینی رامیسرمی‌سازدکه درصورتی جهان بطورمحسوس منبسط شود، تورمی می‌تواندحرکت کند.(دراینجا نور(light)حامل ایده-آل اطلاعات است زیرا بدون هیچ برخوردی باسرعت $C = 1$ حرکت می کند)اکنون دو کمیت ایده آل را درنظر می‌گیریم:

<u>افق ذره</u> ،که مسافتی است برحسب $a = 0$ که نورتوانسته ازابتدای جهان درنوردد. [1]

<u>افق رویداد</u>، مسافتی است که نور خواهدتوانست درآینده حرکت کند.[1]

[1].به پیوست A مراجعه شود.

ازاین سه(فاصله هابل،افق ذره،افق رویداد)فاصله هابل بسیارمهمتراست که به همین دلیل افق نامیده می-شود.برای اهداف بسیاری،ماازانبساط عالم درمناطق بسیارکوچکی،ازمسافت هابلی،درطی مدتی بسیارکم،اززمان هابلی چشم پوشی می‌کنیم.(به عبارت دیگر،دریک منطقه ازفضا زمان که روی مقیاس هابلی کوچک است صرف نظر می کنیم.)به ویژه به علت فرآیندهایی ازقبیل انتشاراامواج و برقراری تعادل گرمایی،چنانکه اگرانبساط هم نمی‌بود،اتفاق می‌افتاد،چنین فرآیندهایی روی مقیاسهای بزرگ نمی-تواندرخ دهد. وقتی ماجهان ناهمگن را مطالعه می‌کنیم یک سوال بسیار سخت،چگونگی تعیین مقیاسهای فاصله هاست و بویژه چگونه یک اندازه‌ی بدست آمده را با مشخصات اندازه‌های شبیه طول هابلی مقایسه کنیم.

نسبت مقياس خود همراه $\frac{a}{k}$ به فاصله هابل H^{-1} ،مساوي است با $\frac{aH}{k}=\frac{\dot{a}}{k}$.با شرط اينكه گرانش جاذبه است يعني $\ddot{a}<0$ ، $\frac{aH}{k}$ تابعي نزولي نسبت به زمان مي باشد.چون گرانش جاذبه است ،در اين صورت سبب كند شدن انبساط مي شود.پس $\dot{a}$ تابعي نزولي از زمان شده، در نتيجه كميت $\frac{aH}{k}=\frac{\dot{a}}{k}$ نيز تابعي نزولي از زمان مي شود.

در حالتیکه$\frac{aH}{k}=1$ *باشد گفته مي شود كه مقياس وارد افق شده است* $(horizon\ entry)$. قبل از داخل شدن افق اگر$\frac{aH}{k}>1$ (بزرگتر از۱)باشد،گفته میشود که مد خارج افق$(outside\ the\ horizon)$ است يعني مقياس بزرگتر از فاصله افق است.اگر$\frac{aH}{k}<1$ (کمتر از۱)باشد،مد داخل افق$(inside\ the\ horizon)$ است که به معنای این است که مقیاس خیلی کوچکتر از آن است که روی فرآیندهای علتی اثر بگذارد .

مشخصه‌های کلیدی تورم ،به روشی که در آن مقیاسها با مقیاس هابل مقایسه شوند مربوط می‌شوند.یک مقیاس در طول دوره تورم ،می‌تواند از درون افق شروع شده و تا بیرون افق ادامه یابد.

سرعت نسبی یک جفت ناظر هم حرکت نزدیک به هم بوسیله‌ی فاصله‌ی $dr\ll H^{-1}$وسرعت $v=Hdr\ll 1$ مشخص مي شود.

- انتقال به سرخ

در سال ۱۸۶۸ ستاره شناس انگليسي بنام سرويليام هويگنز ،نخستين فردي بود كه به اين نكته توجه كرد كه در برخي ستارگان خطوط طيفي بسوي انتهاي سرخ طيف جابجا شده اند.او اين پديده را به اثر دوپلر نسبت داد ،كه پيش ازآن در سال در سال ۱۸۴۲ كشف شده بود.طبق اين اثر،و همان قياس كه تن صداي آمبولانسي كه در حال حركت است در هنگام نزديك با تن صدای آن كه در حال دور شدن متفاوت است ، طول موج ستاره يا كهكشانی كه به ما نزديک يا دور می شود نيزدستخوش تغيير می

شود .آندسته ازستارگان یا کهکشانهایی که از زمین دور میشوند ، طول موج خطوط طیفی آنها بسوی انتهای قرمزجابجا می شود (انتقال به سرخ)،در حالیکه آندسته از ستارگان و یا کهکشانهایی که به زمین نزدیک می شوند ،خطوط طیفی آنها بسمت انتهای بنفش طیف منتقل می شوند(انتقال به بنفش)

دردوره کنونی انتقال به سرخ z نور از یک چشمه‌ی کیهانشناختی به وسیله‌ی رابطه‌ی زیرتعریف شده است.[1]

$$1 + z = \frac{\lambda_{obs}}{\lambda_{emit}} \qquad (۱-۲-۸$$

در اینجا λ_{obs} طول موج ناظر است و λ_{emit} طول موج نقطه‌ی‌انتشاراست.برای $z \ll 1$ ،انتقال به سرخ بوسیله‌ی قانون هابل ، $z = Hdr$ معین شده است.که به ما اجازه‌ی تعیین دقیق مقدار کنونی H_0 را اگرفاصله‌ی بین کهکشانها دقیقا مشخص باشد ، می دهد.

مقدار کنونی H_0 همیشه بوسیله‌ی کمیت تعریف شده‌ی h پارامتری شده است و برابر است با[1]:

$$H_0 = 100h\ km.s^{-1}\ M_{PC^{-1}} \simeq \frac{h}{3000} M_{PC^{-1}} \qquad (۹-۲-۱)$$

دراینجا در تساوی آخری $C = 1$ بکاربرده‌شده است.چنانچه خواهیم دید ناظران پیشنهاد کرده اند که این H_0 بین 0.5 و 0.8 واقع می‌شود.

زمان هابلی کنونی و فاصله‌ی هابلی کنونی به ترتیب مقدارهای زیر هستند[1] :

$$H_0^{-1} = 9.78\ h^{-1} Gyr$$
$$(۱۰-۲-۱)$$

$$cH_0^{-1} = 2998h^{-1}\ M_{PC}$$
$$(۱۱-۲-۱)$$

انتقال به سرخ z ازمنشاء نور که درزمان t_1 انتشار یافته است (ترجیحاً نسبت به سالها یا مگا پارسکها) موضوعی است که در مشخص کردن هر دو مؤلفه‌ی زمان و مسافت مطلوب است.

وقتی ازانتقال به سرخ برای ارجاع به یک زمان استفاده شود دقیقاً این معنی را می دهد:به سادگی منظور زمانی است که در آن فاکتور مقیاس $\frac{1}{1+z}$ کسرم ازمقدار کنونی اش باشد.وقتی ازانتقال به سرخ برای ارجاع به یک فاصله استفاده می شود منظور فاصله ای است که نور درطول آن زمان طی

میکند،ازآنجائیکه جهان همین که نور انتشار می یابد،منبسط می شود فاصله‌ی انتقال به سرخ مساوی با زمان انتقال به سرخ ضربدر سرعت نورنیست .

در کیهان شناسی،فاصله‌ها ازطریق انتقال به سرخ اندازه گیری می شوند و بدلیل اینکه پارامتر هابل به اندازه‌ی یک عامل h عدم قطعیت دارد ،فاصله‌های فیزیکی حقیقی هم به اندازه‌ی یک عاملh^{-1} دارای عدم قطعیت می باشند،حتی درحالتهایی که سرعتهای بازگشتی خیلی خوب اندازه گیری شوند.برای نشان دادن این موضوع،فاصله ها به طور عمومی برحسب $h^{-1}M_{PC}$ داده می شود.

- شتاب گرانشی و معادلات پیوستگی

بارشد کیهانشناسي در سالهاي ۱۲۹۹/۱۹۲۰ علت اساسي دست بردن انيشتين در معادلاتش از بين رفت .الكساندر فريدمن ،رياضيدان روسي،در سال ۱۳۰۱/۱۹۲۲ به جوابهاي دست يافت كه ج.ابهاي عمومي معادلات ميدان انيشتين شدند.جوابهاي فريدمان رفتار جهانهاي همگن وهمسانگرد را،چه باثابت كيهانشناسي و چه بدون آن،بيان مي كردند.مدلهاي فريدماني امروزه پايه كيهانشناسي به شمار مي روند.معادله فريدمان مهمترين معادله كيهانشناسي است كه انبساط عالم را توصيف مي كند.اين معادله چه از طريق گرانش نيوتوني و چه از طريق نسبيت عام استخراج شود،داراي نتيجه يكساني خواهد بود.

اگر گرانش قابل صرف نظر کردن باشد پس$\ddot{a} = 0$ و طبق تئوری نسبیت عام انیشتین انبساط نه تندشونده است نه کندشونده[1].

همین که گرانش به حساب آورده شود: (اثبات درپیوست الف)

$$\frac{\ddot{a}}{a} = -\frac{\rho+3P}{6M_{PL}^2} + \frac{\Lambda}{3}$$

(۱۲-۲-۱)

دراینجا،بجای ثابت نیوتن G ، $M_{PL} = (8\pi G)^{-1/2}$ را بکارمی بریم.

اینجاρ چگالی انرژی جهان است وP هم فشار آن است.به اضافه ما Λ به عنوان ثابت کیهان شناسی گنجاندیم.(ممکن است امکان شامل شدن یک چنین ترمی نادیده گرفته شود.)

اما،بطوركلي،دانشمندان باشواهد قابل رؤيتي به وجود يک ثابت كيهان شناسي درجهانمان به اتفاق نظررسيده اند.واين برای این منظور گنجانده شده است زیرا که این ثابت برای ساختار جهان، مخصوصا جهان مسطح لازم است.

زمان وابسته به ρ بوسیله‌ی معادله‌ی پیوستگی بدست آمده است.و این صورت نوشته می شود(اثبات در پیوست الف)

$$\dot{\rho} = -3\frac{\dot{a}}{a}(\rho + P)$$
(۱۳-۲-۱)

$$a\frac{d\rho}{da} = -3(\rho + P)$$
(۱۴-۲-۱)

به همین ترتیب این‌معادله‌ای است برای قانون پایستگی انرژی برای انبساط بی دررو

$dE = -pdv$ که $E = \upsilon$ انرژی در حجم خودهمراه $\upsilon \propto a^3$ است.انبساط یک جهان همسانگرد،درواقع بی دررو است،زیرا گرما نمی تواند جابجا شود.

بجزدرفازهای انتقالی ممکن که خیلی هم کوتاه انگاشته اند،بعدازتورم جهان گازی فرض شده است.

اگر مولفه‌های اصلی گاز توان دوم سرعت را معنی داده باشند،فشار $P = \frac{\rho v^2}{3}$ است.(بخاطر داشته باشید که ما $c = 1$گرفتیم).این بطورجداگانه هریک ازمولفه‌های گازرا بکارمی بردوهر مولفه‌ی معلوم،معمولاً هریک از این دو را داراست.

$\upsilon \ll 1$ که ماده یا گاهی اوقات گردوغبار(dust) نامیده اند یا $\upsilon \simeq 1$ (که تابش نامیده اند) برای سهم مربوط به ماده،معادله‌ی پیوستگی $\rho_M \propto a^{-3}$ را می دهد،که بقا جرم را بیان می کند.برای سهم مربوط به تابش این $\rho_M \propto a^{-4}$ را می دهد که فاکتوراضافی a^{-1} ازسرخ گرایی انرژی ذرات به علت برخوردها ناشی می‌شود.درحالت آفرینش یا نابودی ذرات، $\frac{\rho_M}{\rho_R} \propto a$ وبنابراین جهان در ابتدا در دوره‌ی تسلط تابش بوده است.[1]

لحاظ کردن ثابت کیهان شناسی مفید است.بعنوان مثال درزمان غیروابسته‌ی ممکن ،سهم انرژی وحجم فشاراین گونه است:

$$\rho_{total} = \rho + \rho_{vac}$$
(۱۵-۲-۱)

$$P_{total} = P + P_{vac}$$
(۱۶-۲-۱)

$$\rho_{vac} = -P_{vac} = M_{PL}^2 \Lambda$$ (۱۷-۲-۱)

مطابق عقاید کنونی $\rho + P$ هرگز منفی نیست وρ همیشه در حال افزایش است.

بعنوان نتیجه، ثابت کیهان شناسی در ابتدای عالم ناچیزبوده است، ولي اکنون بسیار مهم است .

تعریف قراردادی تورم بعنوان یک دوره‌ی انبساط شتابان ،متناظر است با $P < -\frac{\rho}{3}$ [1].

- معادله‌ی فریدمن

دربکاربستن معادله‌ی پیوستگی ،معادله برای $\dot{a}$ ، بوسیله‌ی معادله‌ی فریدمن می‌تواند جایگزین شود.[1]

دراینجا $H = \frac{\dot{a}}{a}$ که پارامتر هابل است.

$$H^2 = \frac{\rho}{3M_{pl}^2} + \frac{\Lambda}{3} - \frac{k}{a^2} \qquad (۱-۲-۱۸)$$

این معادله‌ی بوسیله‌ی ضرب پارامترهابل در a^2 ومشتق گیری از آن و همین طوربکارگیری معادله‌ی پیوستگی می تواند ثابت شود.(پیوست الف)

ثابت k هندسه‌ی گرانشی جهان را شرح داده است.اگر $k = 0$ باشد جهان مسطح (اقلیدسی) است.اگر $k > 1$ باشد جهان متناهی و بسته است واگر$k < 0$ باشد باز یا نامحدود است.(اگر $k = 0$ باشد نیزجهان نامحدود است.اما بر حسب عادت مورد k منفی را برای دوره ی بازکنار گذاشتیم).[8]

- پارامتر چگالي

پارامتر چگالي راه مناسبي براي مشخص کردن چگالي عالم است .در معادله‌ی فریدمن، برای یک مقدار بدست آمده‌ی پارامتر هابل ، چگالی ویژه‌ای وجود دارد ،که به عنوان چگالی بحرانی ρ_c شناخته شده است،برای اینکه جهان درفقدان یک ثابت کیهان شناسی فضایی مسطح است.یعني انحناي فضا صفر است ،که با رابطه ی زیر بدست آمده است:

$\rho_c = 3M_{PL}^2 H^2$ ویک تابع زمانی است.

مقدار کنونی اش $\rho_{c,0} = 1.88h^2 \times 10^{-29} gcm^{-3}$ است اگربخواهیم شهود بهتري درمورد آن در واحدهاي نجومي داشته باشیم برابر خواهد بود با:

$$\rho_{c,0} = 2.775h^{-1} \times 10^{11} \frac{M_\odot}{\left(h^{-1}M_{pc}\right)^3} \qquad (۱-۲-۱۹)$$

دراینجا $M_{\odot} = 1.99 \times 10^{33} g$ جرم خورشیدی است. درحقیقت 10^{11} تا 10^{12} برابرجرم خورشید،جرم يك كهكشان نوعي است و يك مگاپارسك كم و بيش فاصله بين دو كهكشان است.بنابراين چگالي جهان ما خيلي با چگالي بحراني فاصله ندارد.

این معادله همچنین درواحدهای ذرات فیزیکی می تواند بازنویسی شود به عنوان مثال:

$$\rho_{c,0} = (3.000 \times 10^{-3})^4 h^2 \qquad (۲۰-۲-۱)$$

از آنجا که استفاده از كميتهاي بدون بعد مناسب تر است و معمولا اندازه گیری چگالی انرژی به صورت کسری ازچگالی بحرانی ساده تر است ،کمیت بدون بعد پارامتر چگالی Ω با رابطه ی زیر تعریف می شود:

$$\Omega = \frac{\rho}{\rho_c} \qquad (۲۱-۲-۱)$$

این معادله می‌تواند بطور جداگانه مولفه‌های متفاوت ماده در جهان ،شبیه ماده‌ی غیر نسبیتی ،تشعشات وباریونها را بکار برده همچنین میتواند سهم $\Omega = \frac{\Lambda}{3H^2}_{\Lambda}$ متناظر با ثابت کیهان شناسی را دربرداشته باشد بنابراین میشود:

$$\Omega_{total} = \Omega + \Omega_{\Lambda} \qquad (۲۲-۲-۱)$$

بنابراین معادله ی فریدمن این طور بازنویسی می شود: .(پیوستA)

$$\Omega_{total} - 1 = \frac{k}{a^2 H^2} \qquad (۲۳-۲-۱)$$

پسΩ معيار ديگري از انحناي فضاست و بطورعادی Ω_{total} به زمان وابسته است، اما اگراین مقدار مساوی ۱ باشد،که با حالت مسطح فضایی متناظر است،آنگاه برای همیشه ارزش آن حفظ می شود.[1] گاهي اوقات ناظران مقداری بین 0.5 و 0.8 را برای Ω_0 پیشنهاد می کنند که این بخوبی موجودیت ثابت کیهانشناسی را پشتیبانی میکند.

بنابراین بطور خلاصه داریم:

$$\begin{cases} \Omega > 1 \ \rightarrow \ k > 0 \rightarrow \textbf{جهان بسته} \\ \Omega = 1 \rightarrow k = 0 \rightarrow \textbf{جهان تخت} \\ \Omega < 1 \rightarrow k < 0 \rightarrow \textbf{جهان باز} \end{cases}$$

اگر $\Omega > 1$ باشد آنگاه انحناي جهان بزرگتر از صفر$(k > 0)$،خواهد شد،يعني چگالي جهان بزرگتر از چگالي بحراني است و هندسه جهان بيضوي است و سرانجام جهان فرو خواهد ريخت . اگر $\Omega = 1$ باشد آنگاه$k = 0$ است يعني هندسه جهان اقليدسي است.اگر$\Omega < 1$ باشد آنگاه انحناي جهان كوچكتر از صفر$k < 0$ است و هندسه جهان هذلولي است و جهان دائما در حال گسترش خواهد بود.

با حل معادلات فريدمن براي سه حالت فوق و با لحاظ اينكه وارد كردن k وΛ در معادله ی فريدمن بی اهميت است برای $k = \Lambda = 0$ ، معادله‌ی فريدمن به آسانی در مدت تسلط تابش يا تسلط ماده حل شده است ، بترتيب خواهيم داشت(پيوستA):

$$\rho_R \propto a^{-4}, \quad a \propto t^{1/2} \propto \tau \qquad (۲۴\text{-}۲\text{-}۱)$$

$$\rho_M \propto a^{-3} \ , \ a \propto t^{\frac{2}{3}} \propto \tau^2 \qquad (۲۵\text{-}۲\text{-}۱)$$

$(H > 0 \leftarrow \dot{a} > 0)$يعني عالم پيوسته درحال انبساط است.ولي وقتي چگالي عالم از چگالي بحراني بيشتر باشد،از يك زمان به بعد شيب منحني منفي مي شود.

$(H < 0 \leftarrow \dot{a} < 0)$ يعني جهان از اين زمان به بعد انقباض مي يابدو اين دقيقا به معناي غلبه گرانش است.

- ثابت كيهان شناسی[۲]

بسياری از ناظران اظهار می‌كنند كه‌چگالی ماده درجهان خيلی كمترازچگالی‌بحرانی است.اگرچنين است،بنابراين ،يک پيشنهادمتفاوت ديگری براين باوراست كه جهان انحنای فضايی منفی دارد ،وثابت كيهان شناسی Λ را معرفی می‌كندتا تختی فضايی جهان محفوظ بماند. بنابراين معادله‌ی فريدمن اين طوربازخوانی می شود:[1]

$$H^2 = \frac{\rho}{3M_{PL}^2} + \frac{\Lambda}{3}$$

$$(۲۷\text{-}۲\text{-}۱)$$

دربسياری ازنوشته‌ها ، برای اينكه تختی فضايی جهان حفظ شود بايد تشخيص داد كه آيا عبارت جهان با چگالی پايين ،ثابت كيهان شناسی راشامل می شوديانه؟

درجهانی كه ثابت كيهان شناسی درآن وجود دارد، حل ، به صورت يک تابع نمايی است:

[2] .cosmological constant