کاهش می یابد که h ثابت پلانک و C سرعت نور است.

# ۱ الکی

## ۱.۱ انتقال به سرخ

کهکشان‌ها در طیف خود دارای خطوط جذبی و نشری هستند که فرکانس مشخصه‌ی آن‌ها شناخته شده است. اگر یک کهکشان به سمت ما حرکت کند امواج نوری متراکم‌تر می‌شوند و فرکانس آنها بالا می‌رود و چون نور آبی فرکانس بالاتری در طیف مرئی دارد، به این پدیده انتقال به آبی می‌گویند. حال آنکه اگر کهکشان در حال دور شدن باشد خطوط مشخصه‌ی آن به سمت طول موج‌های بزرگتر انتقال می‌یابد و به این پدیده انتقال به سرخ می‌گویند. این روش اولین بار توسط وستواسلیفر در سال ۱۲۹۱ ـ۱۲۹۲ برای اندازه‌گیری سرعت یک کهکشان بکار رفت و در دهه‌های بعد به طور اصولی‌تر توسط ادوین هابل پیگیری شد. برای یک کهکشان که در حال دور شدن از ماست، انتقال به سرخ اینگونه تعریف می شود

$$z = \frac{\lambda_{abs} - \lambda_{em}}{\lambda_{em}} \qquad (۱)$$

که در آن$\lambda_{abs}$و $\lambda_{em}$به ترتیب بیانگر طول موج‌های نور در نقاط انتشار (کهکشان) و مشاهده (ما ) می‌باشد. در محدوده‌ی سرعت‌های غیر نسبتی $(v)$ رابطه‌ی فوق به صورت زیر در می‌آید:

$$z = \frac{v}{c} \qquad (۲)$$

# ۲ مهبانگ

کیهانشناسان مد عي نیستند که مي توانند به طور دقیق بگویند که چگونه انفجار سوزانی ازماده و اشعه از يك صد هزارم ثانیه پس از آفرینش تا بیست هزار میلیون سال بعد، به گستره اي تاريك و سرد از فضاي تهي تبدیل شده است که در گوشه و کنار آن کهکشان هايي تشکیل شده اند. ولي اگر جایز بدانیم که لحظه آفرینش برایمان نامفهوم باقي بماند، تاریخ بعدي جهان را می‌توان به‌طور منطقي به‌كمك قوانین فیزيك توضیح داد و این قانع کنند ترین دلیل براي ارزش نظري مهبانگ است. از آن‌جا که همه چیز در حال دور شدن از یکدیگرند، روزی بوده که همه به هم نزدیک‌تر بوده‌اند و اگر به اندازه‌ی‌کافی به عقب برگردیم به نقطه‌ای می‌رسیم که عالم با یک انفجار اولیه از آنجا شروع شده‌است. اگر نقطه‌ای وجود داشته که انفجار در آن رخ داده، آنجا مسلماً نقطه‌ی خاصی بوده و این موضوع با اصل کیهانشناختی در تعارض است.در حقیقت فضا و زمان در همان لحظه‌ی مهبانگ به وجود آمده‌اند و اگر از هر نقطه‌ای در فضا – زمان به عقب برگردیم، به جایی می رسیم که مهبانگ در آن "یعنی همه جای عالم کنونی" رخ داده است. اگر جهان را کره‌ای در حال انبساط در نظر بگیریم، در هر لحظه، فضا، سطح این کره است که با گذشت زمان بزرگ‌تر می‌شود. جایی که مهبانگ رخ داده مرکز این کره است، در حالی که این مرکز جزئی از سطح کره (عالم کنونی ما) نیست. یعنی مهبانگ در " هیچ کجای عالم کنونی " رخ نداده است.توجیه انبساطی هابلی ، توجیه تابش زمینه کیهانی، توجیه فراوانی عناصر سبک اولیهو توزیع تحولات کهکشانی از موفقیت‌های نظریهی مهبانگ هستند.

$$G_{\mu\nu} = \frac{8\pi G}{C^4} T_{\mu\nu} \qquad (3)$$

که در اینجا، G ثابت گرانش نیوتن است. در سمت چپ معادله، هندسهی فضا_زمان بوسیلهی تانسور انشتین $G_{\mu\nu}$ توصیف شده است. ممکن است ثابت کیهان شناسی $\Lambda_{g_{\mu\nu}}$ در شکل عمومی آن اضافه شود. تانسور انشتین تعریف می شود:

$$G_{\mu\nu} = R_{\mu\nu} - \frac{1}{2} g_{\mu\nu} \qquad (4)$$

که $R_{\mu\nu}$ تانسور ریکی است. R هم اسکالر ریکی و $g_{\mu\nu}$ تانسور متریک است. معادلات میدان انواع پدیده های درون عالم را، از سیاهچاله، امواج گرانشی و لنزهای گرانشی توصیف می کند. با یک تانسور تکانه_انرژی ویژه گاهی ممکن است یک متریکیکه جواب معادله است، ایجاد شود. متریک کیهان شناسی یعنی متریکFRW، به معادلات میدان کیهان شناسی که به صورت سادهای می تواند بازنویسی شود، یعنی معادله فریدمن، می انجامد.

$$\frac{\ddot{R}^2}{\dot{R}} = \frac{8\pi G}{3}\rho - \frac{kc^2}{R^2} \qquad (5)$$

$$\frac{\ddot{R}}{\dot{R}} = \frac{-4\pi G}{3}(\rho + \frac{3p}{c^2}) \qquad (6)$$

در طول محاسبات برای راحتی C=1 را استفاده می کنیم. در واقع، مطابق قوانین کُپرنیک، وقتی عالم در مقیاس بزرگ بررسی می شود،متریک فضا_ زمان ویژگیهایی دارد که از قرار زیر است،
۱_ وقتی به فضا ، صرفنظر از جهت انتخابی، نگاه می کنیم ، فضا یکسان است.
۲ _ دو شرط همگنی و همسانگردی فضا برقرار استکه بوسیلهی مشاهدهی تابش امواج پس زمینهی کیهانی که از همواری مطلق $10^{-5}$ مرتبه انحراف دارد، توجیه می شود.
ساده ترین متریک کیهان شناسی که همگنی و همسانگردی را در بر گیرد، ترکیب خطی رابرتسون_ واکر میباشد.که تعریف می شود

$$ds^2 = c^2 dt^2 - R^2(t)(\frac{1}{1-kr^2} dr^2 + r^2 d\theta^2 + r^2 \sin^2\theta d\phi^2) \qquad (7)$$

انحنای k مربوط به سه شکل هندسی مختلف است که می تواند مثبت، منفی یا صفر باشد. که K در اینجا ثابت است

## ۱.۲ هندسه عالم

در استخراج معادله فریدمان با استفاده از نسبیت عام مشخص می شود که k در معادله ( ۵ ) مفهومی فراتر از انرژی بر ذره دارد، k بیانگر انحنای فضاست. نسبیت عام بیان می کند که گرانش ناشی از انحنای فضا_ زمان چهار بعدی است.طبق اصل کیهانشناختی مدل ما برای جهان، باید همگن و همسانگرد باشد. براین اساس سه هندسه ممکن برای جهان پیشنهاد می‌شود که متناظر با مقادیر صفر، مثبت و منفی برای k هستند. الف_ هندسه تخت : وقتی انحنای فضا k صفر باشد هندسه حاکم، تخت ( یا اقلیدسی) است.

برطبق این هندسه: ● دو خط موازی هیچگاه یکدیگر را قطع نمی کنند.
● مجموع زوایای داخلی مثلث ۱۸۰ درجه است.
● محیط دایره ای به شعاع r برابر $۲\pi r$ است.
اگر چنین هندسه ای برای عالم به کار رود، گستره عالم باید نامتناهی باشد. چرا که تعیین حدود برای عالم مغایر با اصل کیهانشناختی است. به جهانی که دارای چنین هندسه ای است، جهان تخت می گویند.
ل برابر است با: $H = \frac{\dot{a}}{a}$ با توجه به رابطه‌ی ( ۵ ) معادله ی تحول پارامتر هابل بدست می آید.

## ۲.۲ انبساط عالم

برای بررسی تحول عالم ابتدا باید بدانیم که عالم از چه ساخته شده‌است. در بخش...معادله حالت را تعریف کردیم. از آنجا که برای مواد دو امکان در نظر گرفته می‌شود به بررسی آن‌ها می‌پردازیم: الف: مادّه در این حالت ب: تابش تابش به ذراتی که سرعتهای نسبیتی دارند، اطلاق می شود. انرژی جنبشی آنها سبب ایجاد یک فشار تابشی می شود. از نظریه‌ی استاندارد تابش می توان نشان دادکه:

$$p = \frac{\rho c^{۲}}{۳} \tag{۸}$$

نوترینوها مثال واضحی از تابش هستند. با در نظر گرفتن رابطه ( ۸ ) برای تابش خواهیم داشت.

$$\rho \propto a^{-۴} \tag{۹}$$

در این حالت نرخ انبساط ـ $H(t)$ ـ از رابطه‌ی زیر محاسبه می شود.

$$H = \frac{\dot{a}}{a} = \frac{۱}{۲t} \tag{۱۰}$$

همان‌طور که مشاهده می شود. در این حالت سرعت انبساط کمتر از مقداری است که برای ماده داشتیم. این به خاطر شتاب منفی اضافه‌ای است که فشار اعمال می کند. پس این تصور که فشار همه چیز را به‌بیرون می راند،درست نیست. تناسب $\rho$ با $a^{-۴}$ را می توان به طور شهودی این گونه توجیه کرد. جهان در حال انبساط است، حجم آن با $a^{۳}$ کاهش می یابد، از طرف دیگر به خاطر انبساط جهان و انتقال به سرخ طول موج تابش با a افزایش پیدا می کند. بنابراین $\rho$ که با انرژی تابش رابطه ای مستقیم دارد باید با $a^{-۴}$متناسب باشد. شرایط واقعی که بر عالم حاکم است، ترکیبی از ماده و تابش است پس داریم :

$$\rho_{mat} + \rho_{rad} \tag{۱۱}$$

می‌توان معادلات فریدمان را برای رابطه( ۱۱ ) نیز حل کرد ولی در حقیقت احتیاجی به این کار نیست زیرا در هر بازه ی زمانی از عمر عالم، یکی از این دو چگالی غالب است. بنابراین می توان معادلات را با نگه داشتن جملات غالب حل کرد. همانطور که در شکل ( ؟؟ ) دیده می‌شود، در ابتدای عمر عالم تابش غالب بوده است ولی چون چگالی ماده کمتر از چگالی تابش کاهش می‌یابد، غلبه تابش ناپایدار است و از یک زمان به بعد این ماده استکه جای تابش را می‌گیرد

# ۳ تورم

با وجود موفقیت های چشمگیری که نظریه مهبانگ داشت، مسائلی با هم بودند که مهبانگ پاسخی برای آنها نداشت. مدل های تورمی جایگزینی برای نظریه مهبانگ نیستند، بلکه با اضافه کردن یک دوره انبساط بسیار

سریع (نمایی) کمی بعد از انفجار اولیه، سعی در تصحیح مهبانگ دارند.محدودیّت‌هایی که در مهبانگ وجود دارند را می توان چنین بر شمرد: الف_ مشکل افق مساله افق، مهمترین مساله مدل مهبانگ است که مربوط به ارتباط بین مناطق مختلف عالم است. چنانچه می‌دانیم جهان عمری متناهی دارد، بنابراین حتی‌نور هم‌دراین زمان مسافت متناهی‌را طی می‌کند. فاصله‌ای که نور میتواند در عمر متناهی، جهان طی کرده‌باشد منطقه‌ای را برای مامشخص می‌کند که به آن جهان مشاهده‌پذیر می‌گوییم. این ناحیه منطقه‌ای است که ما می‌بینیم. مستقل از اینکه جهان متناهی یا نامتناهی باشد، جهان مشاهده‌پذیر همواره متناهی است. یکی از مهمترین ویژگی‌های تابش زمینه کیهانی همسانگردی آن است. یعنی نوری‌که از قسمت‌های مختلف آسمان دیده می‌شود_ با دقت بسیار زیاد_ دارای دمای یکسان ۲/۷۲کلوین است. هم‌دمایی، مشخصه تعادل گرمایی‌است و اگر قسمت‌های مختلف آسمان می‌توانستند با هم برهمکنش کنند و به‌تعادل گرمایی برسند، این‌پدیده به‌طور طبیعی توجیه می‌شد. از آنجا که تابش پرتوهای کیهانی همسانگرد است. اگر کره‌ای را مطابق شکل ( ؟؟) رسم کنیم‌که کهکشان راه شیری در مرکز آن واقع شده باشد انتظار می‌رود که چون هر دو نقطه روی سطح کره دمای یکسانی دارند، با یکدیگر برهمکنش ترمودینامیکی داشته باشند، حال اگر دو نقطه A ، B را که روبروی‌هم هستند را در نظر بگیریم و کره ی اثر آنها را رسم کنیم،میبینیم که این دو نقطه هیچ گونه ارتباطی با یکدیگر نداشته‌اند. پس به‌راستی چرا این دو نقطه که هرگز با یکدیگر برهمکنش نداشته‌اند در تعادل گرمایی‌هستند وهم‌دمایند؟

ب_ مشکل تخت بودن با توّجه‌به رابطه‌ی (؟؟ ) به‌هنگام انبساط در مدل های مهبانگ کمیت $a^2 H^2$کاهش می یابد، پس $\Omega$ دائم از یک، فاصله می گیرد. امروزه $\Omega$ یک تا دو مرتبه بزرگی با یک تفاوت دارد، پس در گذشته بسیار به یک نزدیک بوده است.($\Omega = 1 \pm 10^{-58}$ ) تاکنون کمیتی با این دقت برآورده نشده است. چه کسی این کمیت را با این دقت تنظیم کرده است؟

ج_ مشکل تک قطبی مغناطیسی از بررسی هم زمان مهبانگ و نظریه های جدید فیزیک ذرات، یکی دیگر از مشکلات مهبانگ مشخص می شود. از فیزیک ذرات می دانیم که جهان برای مدت زیادی_ حداقل تا ۱۰۰۰ سالگی_ تحت غلبه ی تابش بوده است. با مهبانگ این موضوع توجیه‌پذیر نیست، چراکه چگالی تابش‌با انبساط، بانرخ $\frac{1}{a^4}$ _ سریع‌تر از هرنوع ماده‌ی دیگر_ کاهش می‌یابد. بنابراین اگرجهان‌با مقدار کمی ماده غیرنسبیتی آغاز شده‌باشد، کم‌بودن نرخ کاهش چگالی‌آن سبب غلبه سریعش می‌شود و جهان نمی‌تواند برای مدت طولانی تحت غلبه تابش باشد. نظریه‌های جدید فیزیک ذرات از وجود تک قطبی مغناطیسی خبر می‌دهند. آنها چنین ذراتی را نتیجه اتحاد نیروها می‌دانند . بنابراین پیش بینی می‌کنند که چنین ذراتی‌در مراحل‌اولیه عالم با فراوانی‌بسیارزیاد تولید شده باشند. این ذرات دارای جرم بسیار زیاد بوده‌ودر تمام عمر جهان غیرنسبیتی‌اند، لذا زمان‌کافی برای‌غلبه بر تابش‌را داشته‌اند. با این وجود می‌دانیم‌که تاکنون تک قطبی مغناطیسی‌درجهان مشاهده نشده‌است. نیستند. پس مدل مهبانگ به‌همراه مدل تورمی می‌تواند توصیف مناسبی از تحول عالم ارائه‌کند.

## ۴ کشف انبساط عالم

اساسی‌ترین رصد نجومی این است که شب به دنبال روز می‌آید. این رصد به تنهایی کافیست که ما را از انبساط عالم آگاه سازد. در سال‌های ۱۹۲۰ هنگامی که ستاره‌شناسان، طیف نوری ستارگان کهکشان‌های دیگر را بررسی می‌کردند، متوجه شدند مجموعه رنگ‌هایی که در طیف نوری آنان حذف شده بود، همانند ستارگان کهکشان ما بود، امّا همگی بطور نسبی به مقدار یکسانی به سوی انتهای سرخ طیف جابجا شده بودند. طبق اثر دوپلر اگر منبع نور از ما دور شود بسامد امواج دریافتی کمتر خواهد بود. بنابراین با توجه به پدیده‌ی فوق متوجه می‌شویم که