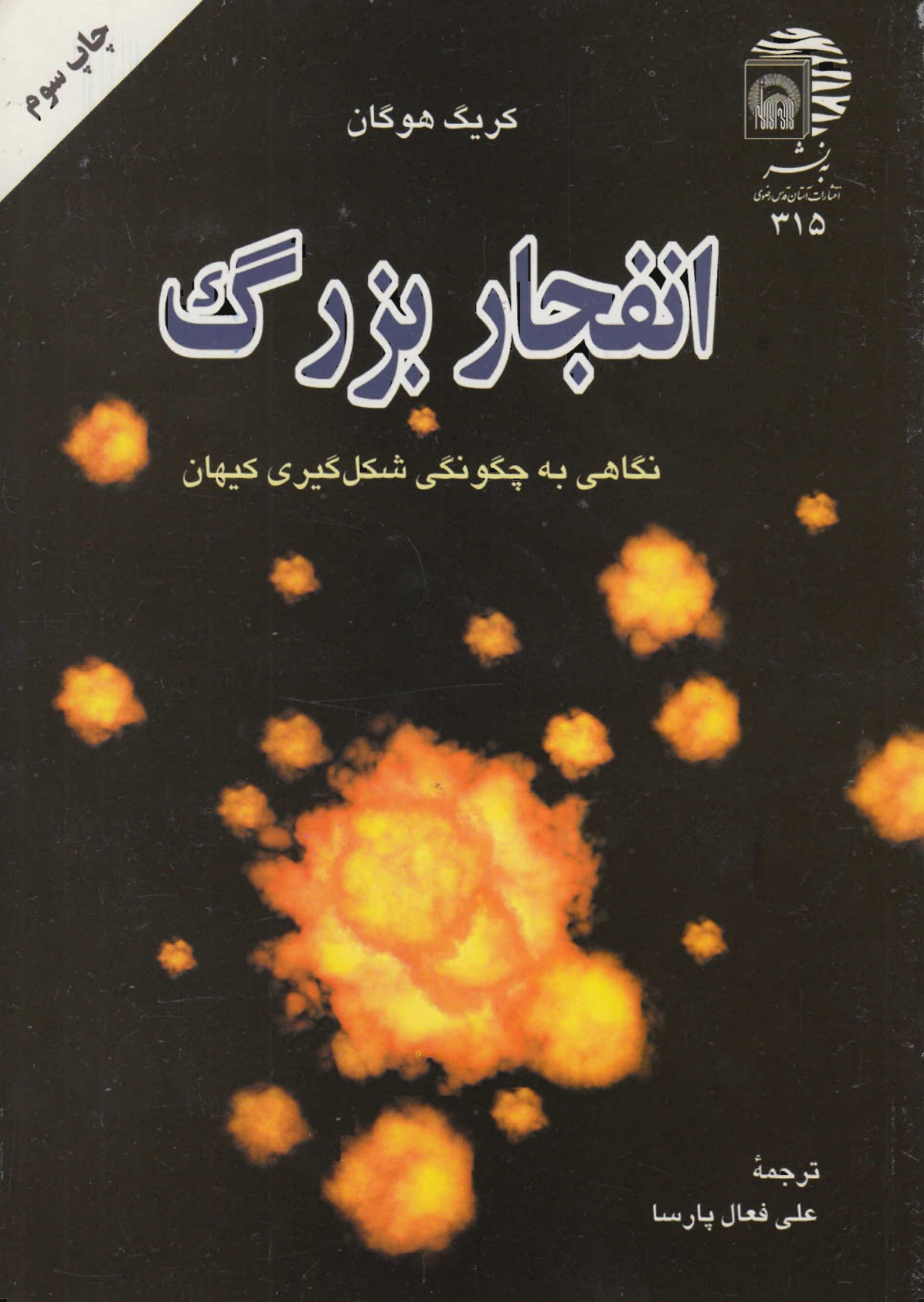
چاپ سوم

کریگ هوگان

انتشارات آستان قدس رضوی
۳۱۵

انفجار بزرگ

نگاهی به چگونگی شکل‌گیری کیهان



ترجمهٔ
علی فعال پارسا

کریگ هوگان

«انفجار بزرگ»

(نگاهی به چگونگی شکل‌گیری کیهان)

ترجمهٔ

علی فعّال پارسا

هوگان، کرایگ Hogan, Craig J
انفجار بزرگ (نگاهی به چگونگی شکل‌گیری کیهان)/ کریگ هوگان؛ ترجمه علی فعال پارسا.ـ مشهد: شرکت به‌نشر، ۱۳۸۰.
[۱۴۳] ص.: مصور، جدول، نمودار.ـ (انتشارات آستان قدس رضوی، شرکت به‌نشر؛ ۳۱۵)
شابک: ۵ ـ ۰۶۵۵ ـ ۰۲ ـ ۹۶۴ ISBN 964 - 02 - 0655 - 5
فهرستنویسی براساس اطلاعات فیپا.
عنوان اصلی: The little book of the big bang
۱. انفجار بزرگ. ۲. کیهان‌شناسی. الف. فعال پرسا، علی، مترجم. ب. شرکت به‌نشر (انتشارات آستان قدس رضوی). ج. عنوان.
۹ هـ ۸ الف/ QB ۹۹۱ ۵۲۳/۱۸
۱۳۸۰
کتابخانه ملّی ایران ۸۰ـ۵۰۸۸م

۳۱۵

انفجار بزرگ

(نگاهی به چگونگی شکل‌گیری کیهان)

کریگ هوگان
ترجمهٔ علی فعّال پارسا
ویراستهٔ دکتر بهرام خالصه
چاپ سوم/ ۱۳۸۵
۲۲۰۰ نسخه/ وزیری
چاپ: کامیاب
شابک: ۵ ـ ۰۶۵۵ ـ ۰۲ ـ ۹۶۴

حق چاپ محفوظ است.

به‌نشر (انتشارات آستان قدس رضوی)
دفتر مرکزی: مشهد، ص. پ ۹۱۳۷۵/۴۹۶۹ ، تلفن ۷ـ۸۵۱۱۱۳۶ ، نمابر ۸۵۱۵۵۶۰
دفتر تهران: ۸۸۹۶۰۶۲۰ ، ۸۸۹۶۲۳۰۱، نمابر ۸۸۹۶۵۹۸۲
آدرس اینترنتی: www.behnashr.com پست الکترونیک: publishing@behnashr.com

بسم الله الرحمن الرحیم

فهرست مطالب

سخنی با خواننده	۵
پیش گفتار	۷
فصل اوّل: یك نمای کلّی	۱۱
فصل دوم: بررسی فضا و زمان	۱۵
فصل سوم: خلاصه‌ای از فیزیك	۲۹
فصل چهارم: انبساط کیهان	۴۶
فصل پنجم: پرتو زمینه‌ای کیهانی	۶۹
فصل ششم: مادهٔ اولیّه	۸۱
فصل هفتم: شکل گیری ساختار (انحلال انبساط به وسیلهٔ گرانش)	۹۸
فصل هشتم: آغاز جهان (تورّم کیهانی)	۱۱۶
فصل نهم: آینده	۱۳۰
پیشنهادهایی برای آینده (مطالعه و بررسی)	۱۳۹
فهرست تصاویر و منابع هر یك	۱۴۳

هیچ عبادتی به پایهٔ تفکر در
اسرار آفرینش الهی نمی‌رسد.

«امام‌علی علیه‌السَّلام»

تقدیم به تمامی استادان گرانقدر
و دانشجویان رشتهٔ فیزیك دانشگاه
ولی‌عصر(عج)رفسنجان و با سپاس
از اعضای محترم گروه ترجمه

سخنی با خواننده

طبیعت همیشه سر منشأ بسیاری از ابهامها و پرسشهای گوناگون بشر بوده است. در این میان آسمان و زیباییها و شگفتیهای نهفته در آن نقش بسزایی در تحریك حس کنجکاوی آدمی بر عهده داشته. شاید گزافه نباشد اگر علم «کیهان شناسی» را نخستین و مأنوس ترین دانستنیهای بشر، به شمار آوریم.

در طول تمامی اعصار انسان با نگریستن به آسمان پر ستاره و تفکّر در نقشهای بدیع حك شده بر آن تلاشی چشمگیر کرد تا به گوشه‌ای از پرسشهای اولیهٔ خود پاسخ گوید: ما در کجای عالم به سر می‌بریم؟ سرچشمهٔ نور این اجرام آسمانی چیست؟ ... و دهها و صدها پرسش که آدمی شیفتهٔ پاسخگویی به آنها بود.

با پیشرفت علوم و فنون و ابداع نخستین ابزار ستاره شناسی و پس از این که بشر به یك سری از نخستین پرسشهای درون ذهن خویش پاسخ داد. معمّاهای تازه‌تری عرصهٔ اندیشه او را به اشغال خویش درآوردند. حفره‌های سیاه چیستند و خاستگاه آنان کجاست؟

اختروشها نور خود را از کجا کسب می‌کنند؟ جهان از کجا آغاز گشته است و به کجا پایان می‌یابد؟ و پرسشهای بی شمار دیگری که هر یك ذهن خلاّق بشر را بازیچهٔ خویش قرار داده بودند و او هر روز با شگردی خاص در پی یافتن پاسخی به آنها بود. ولی این بار بشر با کوله باری از تجربه و پشتوانهٔ فکری مستحکم و مطمئن و چشمانی بیناتر و با نگاهی به پشت سر، نظر به میلیونها و بیلیونها سال پیش

می‌افکند تا به لحظهٔ آغاز جهان پی ببرد. همان هنگامی که شالوده و زیربنای هستی پی ریزی گردید و عالم به وجود آمد. شاید این بار بشر در میان گرمایی با دمای بیلیونها درجهٔ سانتی‌گراد و تحت فشار نیروهایی غول پیکر و در پهنه‌ای به اندازهٔ تمام گیتی به دنبال کلید این معما می‌گردد تا با نیل به پرسشهایی که سالهاست فکر و ذهن او را جولانگاه خویش ساخته‌اند، فصل نوینی از اکتشافات و ابداعات و به دنبال آن نسل تازه‌ای از «چرا»های دیگر بیافریند امّا دریغ که اندیشهٔ آسمان و اسرار نهفته در ورای آن هیچ گاه از خاطر انسان نمی‌رود.

کوتاه سخن این که طبیعت هیچ گاه ذهن پویای بشر را رها نمی‌کند و او را همواره به سوی خود می‌خواند. این مجموعه که گوشه‌ای از دستاوردهای نوین بشر را در دل خویش جای داده دریچه‌ای است به بخشی از آن چیزی که دانشوران و دانشجویان در هر مقطع علمی در پی گشودن راز آن هستند و پاسخی است به بسیاری از پرسشهایی که تا کنون بی پاسخ مانده‌اند. امید آن که مورد توجّه و استفادهٔ خوانندگان گرامی قرار گیرد.

با سپاس بی‌پایان از اعضای محترم گروه ترجمه:

خانمها: نیره پاداش

پریوش صادقی

مرضیه متقی‌زاده

آزاده محمودآبادی

الهه موحدی‌زاده

بهاره نظری

علی فعّال پارسا

فروردین ۱۳۷۸

طبیعت اسرارآمیز است. قوانین مرموزش در لفافه‌های محکم و نیرومندی مخفی مانده است. اسرار خود را خیلی به اکراه آشکار می‌سازد و اغلب به جای این که کاشفان را با حقایق آشنا کند، آنان را به وعده‌گاههایی ناشناخته می‌کشاند.

پیش گفتار

تحقیقات نظری پیرامون‌مکانی از کیهان‌که در آن زندگی می‌کنیم، تاریخچه‌ای به اندازهٔ قدمت‌خود آن دارد. نیاکان ما نظریه‌های‌خویش را درحالی‌به هم ارتباط می‌دادند که هیچ گونه پشتوانهٔ قابل اعتمادی نداشتند. تا این که این وضعیت در این اواخر به خاموشی گرایید و به پایان رسید. امّا پیشرفت علم و فن آوری تا دههٔ ۱۹۶۰ م. چهرهٔ فلسفی کیهان شناسی را از حالت نظری به یك علم جدّی و ملموس تغییر شکل داد. به گونه‌ای که افقهای دید ما را در فضا و زمان توسعه بخشیده است.

خورشیدیك ستارهٔ معمولی در میان صدها بیلیون ستارهٔ دیگری است که راه شیری[1] ـ کهکشانی که ما در آنیم ـ را به وجود آورده‌اند. کهکشان راه شیری نیز خود شبیه به میلیونها کهکشان دیگری است که با تلسکوپهای بزرگ قابل مشاهده است. بنابراین، دقیقاً مثل زیست شناسان که می‌توانند مشخص کنند چگونه در طول تاریخ زمین زندگی به طور تدریجی تکامل یافته است، ستاره شناسان در حال اثبات تکامل منظومهٔ شمسی در مفهوم کیهانی هستند. ما نمی‌توانیم بدون وسعت بخشیدن به افقهایمان به طور تمام و کمال به مبدأ وجودی خود پی ببریم، در این حال خود ما نیز بخشی از کیهان محسوب می‌شویم. کیهان شناسی یك علم پایه است که عظیم‌ترین حوزهٔ علوم را نیز در بر دارد. هر اتم کربن و اکسیژن که در روی سطح زمین و در بدن خود ما هست، از ستارگانی فراهم شده که پیش از شکل گیری منظومهٔ شمسی از بین رفته‌اند. ما این گونه می‌پنداریم و یا کمتر تصور می‌کنیم که انرژی هسته‌ای از

---

1 - Milky Way.

طریق ستارگان تلف می‌شود. امّا سوخت اصلی از کجا حاصل می‌شود؟ مراحل نخستین کیهان از کدامین کهکشانها شکل گرفته‌اند؟ پاسخها در «انفجار بزرگ» قرار دارند. موضوع مورد بحث در کتاب. کریگ هوگان[1].

برخی از لکه های سیاه کم رنگ نور که توسط تلسکوپهای قدرتمند آشکار گردیده‌اند، در واقع کهکشانهای دور دستی هستند که نوری که هم اکنون از آنها به ما می‌رسد، ده بیلیون سال پیش از آنها جدا گردیده است. همچنین عکسهای فوری در دست داریم که نشان می‌دهند کهکشانها همانند همان زمانی هستند که به تازگی شکل گرفته بودند. اندازه‌گیریهای حساس دیگری چنین معلوم می‌کنند که مبدأ اولیه خاموش، تنها چند ثانیه پس از انفجار بزرگ یعنی در زمانی بوده است که همه چیز داغ تر و فشرده تر و چگالی‌تر از مرکز یك ستاره بوده است.

از دیدگاه یك فیزیکدان، ره آورد «هوگان» فلسفهٔ جدیدی از تکامل تدریجی کیهان و چگونگی توسعهٔ دنیای ما از یك انفجار مهیب به یك کیهان پیچیده است که خود شاهد آن هستیم و جزئی از آن به شمار می‌آییم. در واقع، در دنیای فیزیکی در حال توسعه نه تنها اتمها بلکه ستارگان و انسانها به وسیلهٔ نیروی گرانش و چیزهای بنیادین اولیه‌ای که توسط میکروفیزیك[2] کنترل می‌شوند، تحت تأثیر می‌باشند. جرم الکترونها و پروتونها و میزان توان نیروهایی که آنها را به هم متصل ساخته‌اند و حرکت آنها را تحت کنترل خود دارند، ارتباطات معنی داری هستند که میان کیهان و جهان زیر اتمی وجود دارند. دنیای پیش روی ما تحت تأثیر علم شیمی ــ علم خواص اتمها ــ می‌باشد. ستارگان به واسطهٔ واکنش میان هستهٔ اتمها می‌درخشند. این امکان وجود دارد که کهکشانها به وسیلهٔ نیروی گرانشی ناشی از اجتماع انبوه ذرّات زیر هسته‌ای نگهداری شوند. این موضوع یکی از پیروزیهای نوین در عرصهٔ علم تلقی می‌گردد. یك موفقیت دسته جمعی برای گروهی مرکّب از اخترشناسان، فیزیکدانان و مهندسان که از بسیاری شیوه‌های مشکل استفاده کرده‌اند و به حکم مصلحت در این مجموعه گردهم آمده‌اند. ممکن است برخی از خوانندگانی که در اندیشهٔ علل ناهمگونی و ویژگی کیهان شناسی باستان به بحث و جدل می‌پردازند، به این کتاب با دید شك و تردید و بدبینی نگاه کنند. تردید در مورد این که نظریه‌های رایج تا حدودی حساس و شکننده و از بین رفتنی هستند. امّا هُوگان توضیح می‌دهد

1 - Craig Hogan. 2 - Microphysics.

که چرا «انفجار بزرگ» امروزه یك عقیدهٔ محکم و استوار علمی است.

قرنها پیش نقشه‌های آسمان دارای لکه‌های نامشخّصی بودند. همان مکانهایی که طراحان نقشه از آنها به عنوان «منظومهٔ دراگو[1]» یاد کرده‌اند. پس از آن که پیشگامان دریانوردی، نقشهٔ مسیرهای جهان را طرح ریزی کردند، تودهٔ خاکی زمین را ترسیم نمودند در حالی که هیچ امیدی به وجود قارهٔ جدید نبود و هیچ امیدی هم به آن چیزی که ما به طور مؤثر و کارآمد فرضیاتمان را از نظر اندازه و شکل زمین، روی آن تمرکز کرده‌باشیم، در چند دههٔ اخیر به گونه‌ای قاطعانه جهان پیرامون خود را طراحی و ترسیم نموده‌ایم. واقعهٔ «انفجار بزرگ» که در ده تا پانزده بیلیون سال پیش به وقوع پیوسته است، هم اکنون یك حقیقت ثابت و پابرجاست. همانند استنتاج زمین شناسی که [مطابق با آن] اروپا و بخش شمالی آمریکا در دویست میلیون سال پیش به هم پیوسته بوده‌اند. به راستی، امروزه اطلاعات کیهان شناسی بیشتر و جامعتر از مدارك و شواهدی هستند که زمین شناسان می‌توانند ارائه دهند.

سالهای دههٔ ۱۹۹۰ م. سالهایی هستند که در آنها تصویر پهناور کیهان به یك کانون شفّاف و واضح تبدیل شده است. لذا نسل امروزی کیهان‌شناسان خوش اقبال است. امّا، چیزی که شاید غیر قابل انکار باشد این نکته است که در مجموع علم کیهان شناسی پیشرفت کرده است. «غیر قابل درك بودن دنیا، نامعقولانه ترین نکته در مورد آن است» این یکی از سخنان معروف انیشتین است که ابراز می‌دارد قوانین فیزیکی که ما در مورد آنها با ابهام مواجه‌می‌شویم، نه تنها درسطح‌زمین‌که دردورترین کهکشان نیز دارای‌پاسخ است. نیوتون به ما آموخت‌که نیرویی‌همانند نیرویی‌که سیب را وادار به افتادن‌کرده است، سیارات‌و ماه را نیز در مسیرهایشان نگه می‌دارد. امروزه می‌دانیم که نیرویی مشابه همین نیرو، کهکشانها را به هم جفت و جور کرده است، برخی از ستارگان را به سوی سیاهچاله ها هدایت می‌کند و در نهایت ممکن است حتی باعث سقوط آسمان به روی سر ما گردد و اتمهایی که در کهکشانهای‌بسیار دور دست وجود دارند، همانند اتمهایی هستند که در آزمایشگاه مورد آزمایش و کنکاش قرار می‌دهیم. این چنین به نظر می‌رسد که تمامی بخشهای جهان در یك مسیر مشابه در حال توسعه و انبساط هستند. انگار که در یك محیط عادی شکل گرفته‌اند.

هنگامی که یك‌ثانیه ازعمرجهان گذشته بود، تقریباً این‌موضوع کمتر

1 - Dragons.

خودنمایی می‌کرد که جوهره و ذات هستی می‌تواند توسط یك سری مفاهیم‌اولیّه توضیح‌داده شود. این مفاهیم اولیه به علاوه قوانین میکروفیزیکی، کیفیت سازماندهی شدن جهان را ارائه می‌دهد که پس از ده بیلیون سال می‌تواند از یك حالت ساده و ابتدایی به کهکشان پیچیدهٔ امروزی گسترش پیدا کند. ولی همان طور که «کریگ» توضیح می‌دهد، این پیشرفت سبب ایجاد کانونی مملو از شبهات می‌گردد. در واقع، چندین پرسش ابتدایی و ساده هنوز ما را گیج کرده‌اند: چرا جهان در حال توسعه است؟ چگونه از چگالی اولیه‌اش به خودی خود تا این اندازه بیکران انبساط یافته است؟ پاسخ در فرآیندهای اسرارآمیز نخستین و کوچکی که در یك ثانیه پس از انفجار بزرگ رخ داده است، قرار دارد. همان زمانی که شرایط تا حدی دور بودند که برای فیزیك مربوطه ناشناخته‌باقی‌ماندند. ترکیب‌نهایی‌در بین‌کهکشان و کوانتوم هنوز ما را فریب می‌دهد.

«ماکس پلانگ[1]» فیزیکدان چنین ادعا می‌کند که نظریه‌ها هرگز از بین نمی‌روند و نابود نمی‌شوند، مگر این که طرفداران و استدلال کنندگان آنها همگی از بین بروند که این بدگمانی بزرگی است. حتی در علم کیهان شناسی، برخی از بحثها و منازعات پیش از این اثبات شده‌اند. بعضی از موضوعات قدیمی چندان جنجال برانگیز نیستند. بسیاری از ما غالباً افکار و عقاید خود را تا به حال عوض کرده‌ایم.

شخص«کریگ هوگان» به‌واسطهٔبینش‌فیزیکی‌وتشریح‌وتفسیرهای‌واضحش، دارای منطق با نفوذی در این گونه مباحث است. این ویژگیها به وضوح در این کتاب به چشم می‌خورند. وی یك دورنمای متعادل را به همراه یك ارتباط قطعی با درك و تشخیص صحیح بر اساس ادعاهایی که از اعتقاد سرچشمه می‌گیرند پیشنهاد می‌کند. هوگان بر روی کلید افکار تمرکز می‌کند و از هرگونه توضیح فنی دوری می‌گزیند. امّا، متخصصان به دردسر و زحمت نیاز دارند! وضوح عالی و با شکوه وی در بیان و قلمدادکردن جریان رایج کیهان شناسی، مرحلهٔ تازه‌ای از یافته‌هایی را بنیان‌گذاری می کند که به نظر می‌رسد در هزارهٔ آینده نیز تداوم داشته باشند.

مارتین ریس
کمبریج ـ انگلستان
اکتبر ۱۹۹۷

1 - Max Planck.

یک نمای کلّی

ما با الگویی از یك رویداد فیزیکی که به کل زمان و مکان قابل مشاهده تعلق دارد و در برگیرندهٔ تصویر کاملی از موجودات از بدو خلقت می‌باشد، رو به رو هستیم.

ما در یك کهکشان[1] و در جهان پهناوری که ابتدا از جهانی متراکم، داغ و پرنور شکل گرفته است، زندگی می‌کنیم. همهٔ مواد جهان از این انرژی نورانی خلق شده‌اند و در کل، این امکان وجود دارد که خود جهان پهناور و انرژیی که آن را پر کرده است از انفجار ذرات کوچك ناپایدار در فضا به وجود آمده باشند. تقریباً شکل بی ساختار جهان اولیه دانه‌هایی را از ساختاری پیچیده کاشته که کهکشانها و خود ما را در بر می‌گیرند. این خلاصه‌ای از «انفجاربزرگ[2]» است که کاملترین الگو از تحولات کیهانی[3] در بزرگترین مقیاس از فضا و زمان است که در دست داریم و این کتاب به ما می‌گوید چرا فکر می‌کنیم که این [الگو] واقعیت دارد.

هر کس این کتاب را بخواند، هم اکنون می داند که زمین گرد است؛ متفکران دقیق در زمانهای قدیم این مسأله را کشف کرده بودند. با وجود این، این موضوع مهم در مورد جهان واضح نیست. مدوّر بودن زمین تا چند قرن پیش هنوز به صورت یك واقعیت بدیهی در

---

1 - Galaxy. 2 - BIG - BANG. 3 - Cosmic.

نیامده بود. الگوی داغ انفجار بزرگ از جهان در تازه ترین شکلش فقط سی سال قدمت دارد. به طور روز افزون، دقیق ترین آزمایشها تا به حال آن را به عنوان یکی از الگوهای استوار در علم در آورده‌اند؛ با وجود این، این نظریه همچنان به طور گسترده تنها یك نظریه تلقی می‌شود و حتی کسانی که به این نظریه‌ها آشنایی دارند اغلب در مورد شواهد قابل مشاهده مطمئن نیستند. آرزوی من این است که پس از اتمام این کتاب، خواننده بتواند بفهمد که ما در چه مقطعی از فضا و زمان به سر می‌بریم، چطور به این جا رسیده‌ایم و به آن دست یافته‌ایم.

درست مثل افسانه‌های قدیمی و حماسی، تصوّر این که انفجار بزرگ چیزی کاملاً باور نکردنی و حادثه‌ای بزرگ در فراسوی فضاست، کاری مشکل می‌باشد. حتی قسمت اصلی واقعیتها در این تصویر وجود دارد.

جهان شامل نواحی خیلی داغ، فوق العاده چگال و مکانهایی با نیروی گرانش بسیار و رویدادهایی است که خیلی از نظر فضا و زمان از ما دور هستند، ولی انفجار بزرگ تقریباً در مورد گذشته، حال و آیندهٔ فضا و زمانی است که ما هم اکنون در آن قرار داریم. موفقیت شگفت‌آور انفجار بزرگ این است که آن جهان آشنا، ما را به یك دنیای کاملاً خشن ـ جایی که ما هستیم ـ ربط می‌دهد. جالب است که خشونتها را بفهمیم، ولی جالبتر این است که با آنها به طور شخصی ارتباط برقرار سازیم.

کسی که روی زمین است از این که خود قسمتی از انفجار بزرگ است آگاه نیست. امّا حتی این حقیقت‌که روز روشن و شب تاریك است، گواه این است‌که‌جهان نه به‌طورمحدودی پیر است و نه بزرگ. خورشید می‌سوزد. چون از فراوانترین عنصر کیهانی یعنی هیدروژن تشکیل شده است و هنگامی که به هلیوم تبدیل می‌گردد، انرژی آزاد می‌سازد. ستاره‌ها به این دلیل می‌درخشند که دنیای داغ نخستین، اغلب از هلیوم به وجود آمده بوده است. در شب، آسمان تیره است چرا که دنیا هنوز جوان است. شرطی که آسمان حجم قابل مشاهدهٔ جهان را محدود می‌کند و بنابراین تعداد ستارگانی که آسمان را روشن می‌کنند نیز محدود می‌گردد. نوری که آسمان را پر می‌کند، به علّت این که جهان در حال گسترش است، تغییر رنگ پیدا می‌کند ـ این نور از گرمای اولیهٔ انفجار بزرگ ساطع شده است. رنگ این

پرتو تغییر می‌کند و سرد می‌شود و به شکل نورهای نامرئی در می‌آید. حتی فضای عمیق کاملاً سرد نیست. اگر چشمان شما قادر به مشاهده نورهای نامرئی باشد، حتی در شب نیز می‌توانید آسمان را ببینید که کاملاً مانند یك مشعل سوزان، با باقیماندهٔ نوری که از لحظات ابتدای آفرینش بر جای مانده است در حال درخشیدن می‌باشد. اگر بدانیم که چه چیزی را جستجو می‌کنیم؟ شواهدی برای وجود انفجار بزرگ در اطراف ما وجود دارد.

هر چند برای کسانی که سطحی نگرند، این مسأله قابل درك نیست، وجود انفجار بزرگ همچون وجود خورشید واقعیت دارد. به عبارت دقیق تر، انفجار بزرگ حتی شبیه به یك خنك کننده و یا نسخهٔ مقابل خورشید محسوب می شود. واقعیت وجودی انفجار بزرگ به طور صحیح این گونه است: تصویر بزرگ و ساده شده‌ای از آرمان گرایی مثل الگویی از زمین به عنوان یك کرهٔ کامل یا الگویی از خورشید به عنوان یك توپ کاملاً گرد و گازی داغ. گرچه شعله‌های خورشیدی، لکه‌های خورشیدی و ... امروزه کنار گذاشته شده‌اند، توسط الگوی کره‌ای ساده شده چیزهای بیشتری راجع به خورشید نظیر جرم، اندازه، روشنایی و رنگ، پیش بینی شده است. همچنین برای هدفهای زیادی، بهترین توصیف برای زمین یك کره است. ناقص بودن این تصویر ما را بر آن نمی‌دارد که این امر را که زمین کروی است انکار کنیم. به گونه‌ای مشابه نظریهٔ کیهانی این کمك را به ما می‌کند که بدون توجه به بسیاری از جزئیات در شکوه و عظمت آفرینش دقیق شویم. این ترکیبی از یك الگوی ساده و آزمایشهای دقیق است که به یك الگوی تخمینی، جنبهٔ حقیقی می‌دهد. جسارتی که هیچ یك از ما مرتکب آن نمی‌شویم. الگوی سادهٔ انفجار بزرگ از این جهت به خوبی عمل می‌کند که دنیا را به عنوان یك کل در زمانهای ابتدایی و در مقیاس بزرگ[1] در نظر می‌گیرد و ساده تر از آن است که یك نفر از روی پیچیدگی دنیا به آن پی ببرد و آن را درك نماید.

امّا به طور همزمان این الگو به عنوان چارچوبی است که از همه پیچیدگیهای تاریخ طبیعی حمایت می‌کند. این الگو مانند یك بوم نقاشی است که با جزئیات جذّابی پُر شده است.

1 - Large Scale.

بررسی فضا و زمان

علم فیزیـك با استفاده از اعداد و ارقام، مـوجودی جهان را توضیح مـی‌دهد. معمولاً جرم و اندازهٔ هر چیزی از اتمهـا گرفته تا کهکشانها را با یك سری واحـدهای شناخته شده‌ای که خود ما می‌توانیم ربط بدهیم، اندازه می‌گیریم مثل گرم یا سانتی‌متر، ولی تمام ترس طبیعی در مورد عقلانی بودن مقیاسهای سنجش است. چند اتم در یك ستاره وجود دارد؟ چندستاره در یك کهکشان قـرار دارد و یا یك اتم در طـول عمر یك ستاره چنـد مرتبه ارتعاش مـی‌کند؟ گفتن این که دنیا یك مکان فوق العاده بزرگ و عظیم است، شیوهٔ دیگر بیان این نکته است که جهان شامـل بسیاری از اشیاء است. بـه دلیل این که مـدت زمان زیادی از عمر جهـان سپری شده است، خیلی چیزها از ابتدا به وقوع پیوسـته‌اند. بزرگی جهان در زمینهٔ ابعاد فضا و زمان چه اندازه است؟ دنیایی که ما می‌توانیم ببینیـم شامل مقادیر هنگفتی درجه بندیها و مقیاسها و پدیده‌های طبیعی[1] است. [این جهان] گسترش یافته است ولی بیکران و بی اندازه نیست. در این جا مجموعه‌ای مشخص از اندازه‌هـای هر چیزی در دست است. مثلاً 10^{11} کهکشان، 10^{21} ستاره، 10^{78} اتم، 10^{88} فوتون. در محـدودهٔ دنیای قابل مشـاهده که از زمان انفجـار بزرگ وجود دارد، تعداد معینی از مکانهای گوناگون قابل مشاهده وجود دارند (در حدود 10^{180}) و

۱ـ اندازه‌های فوق العاده بزرگ که ما را ناچار به پذیرش علائم علمی با نوشتن آن اعداد در توانهای ده می‌کند.

جدول شمارهٔ یك: ساختار کیهان

طبقه بندی و ساختار	اندازه	انرژی و جرم	فیزیك و پدیده‌های فیزیکی
ـ دنیای زیر اتمی	10^{-33} cm	10^{28} ev	* ریزترین اندازه با معنی، سیاه چاله‌ها در ذرّات بنیادین ادغام می‌شوند.
طبقه بندی پلانگ			
ـ طبقه بندی الکترو ضعیف	10^{-15} cm	10^{11} ev	* وحدت نیروهای هسته‌ای ضعیف و الکترو مغناطیس در حدود آزمایشگاه
ـ طبقه بندی فرمی	10^{-13} cm	10^{8} ev	* رفتار نوترونها و پروتونها در هستهٔ اتم انرژی هسته‌ای و انرژی ستاره‌ها
ـ طبقه بندی بوهر	10^{-8} cm	10 ev	* رفتار الکترونهای تحریك‌شده در اتم، شیمی، جدول تناوبی و ترکیبات ساختاری اتمها، پروتئینها و DNA
ـ طبقه بندی عادی روزمره	10^{-8} cm ـ 100 km	10^{45} اتم	* ساختارهایی که با اثر متقابل اتمی سازماندهی شده‌اند.
ـ سیّارات	100 ـ 10^{5} km	10^{54} ـ 10^{45} اتم	* اتم به صورت دست نخورده باقی می‌ماند ولی ساختمان جامع آن توسط گرانش شکل می‌گیرد.
ـ ساختارهای رو به نابودی	10^{4} ـ 10^{5} km	10^{57} ـ 10^{54} اتم	* اتمها توسط شتاب گرانش کشیده می‌شوند. در حالی که این شتاب ثابت گرانش است که آنهارا می‌کشد نه هستهٔ اتم
ـ ستاره‌های نوترونی	10 km	10^{57} اتم	* گرانش، هرجرم را به‌طرف خود می‌کشد، آزادسازی انرژی از جرم خالص
ـ سیاه چاله‌ها	6 km × (جرم خورشید + جرم)		* گرانش همه چیز را به طرف خود می‌کشد و از مواد سقوط کرده در سیاه چاله‌ها انرژی آزاد می‌سازد.
ـ ستاره‌های معمولی	خورشید = $1/4 \times 10^{6}$ km	10^{57} اتم = جرم خورشید	* گاز توسط گرانش نگه داشته می‌شود و به وسیلهٔ حرارت از هم می‌پاشد.
ـ گاز میان ستاره‌ای	$au = 3 \times 10^{13}$ cm $pc = 3 \times 10^{18}$ cm	(جرم خورشید) 10^{9} ـ 1	* جریانهای باددرون کیهانی توسط انرژی ستاره‌ای تنظیم می‌گردد
ـ کهکشانها	$10^{22\pm1}$	(جرم خورشید) $10^{11\pm1}$	* گرایش خود به خودی به‌جزایر ستاره‌ای گاز و جرم تاریك
ـ گروهها و ستاره‌های خوشه‌ای	10^{24} ـ 10^{25} cm	(جرم خورشید) 10^{14} ـ 10^{15}	* کهکشانها در مسیرهایی در پیرامون یك دیگر می‌چرخند اجتماعی از مواد تاریك.
ـ طبقه بندی عظیم ساختاری	10^{26} cm	(جرم خورشید) 10^{16}	* بزرگترین مقیاس ضخامت.
ـ جهان قابل مشاهده	10^{28} cm	(جرم خورشید) 10^{23}	* یك جهان یك شکل و گرد. انبساط و گسترش جهان به وسیلهٔ گرانش کنترل می‌گردد.
ـ آن سوتر (ماورای جهان قابل ملاحظه)	$>> 10^{28}$ cm	(جرم خورشید) $>> 10^{23}$	* یکسانی و هماهنگی در طبقه بندی بزرگ

مروری بر ترکیبات موجود در جهان، از کوانتوم مکان ـ زمان تا جهان قابل مشاهده و ماوراء آن. هر یك از رده‌ها توسط یك نوع اندازه یا طول مشخص گردیده است. در دنیای ریز مکانیك کوانتومی، این به انرژیهای ناچیز مربوط می‌شود. ممکن است به ذهن ما این گونه خطور کند که بزرگترین مقیاسها، بیشتر این جرم مربوط به شکل اتمها یا بار یونها نباشد. معمولاً [صورتهای مختلف] انرژی در واحد الکترون ولت (ev) بیان می‌شوند. جرمهای معادل تعداد اتمها یا خورشید.

یك عدد معینی از زمانهای مختلف قابل تشخیص (در حدود 10^{-10}). اگر چه محدودهٔ فعالیت ممکن در خلال این دنیا بسیار زیاد است، در زمان مشخّص، محدود و قابل اندازه گیری است. به منظور ایجاد یك دورنمای کلی از این جهان، مفید به نظر می‌رسد که یك گام به‌عقب‌باز گردیم و ازسلسله اشیایی‌که با آنها در ارتباط هستیم، یك برآورد اجمالی به عمل آوریم. در این جا یك سلسه مراتب از ترکیب را در اختیار داریم. هر جسمی از اجسام ریزتری تشکیل گردیده است و خود بخشی از اجسام بزرگتر دیگر است.

به مُوازات کُنش و واکُنش‌نیروهای مختلف فیزیکی، ویژگی‌ساختمانهای‌مواد در مقیاس خاص تغییر می‌کند. پدیده‌های کوانتومی، مقیاسهای کوچك را تحت کنترل خویش دارند و گرانش بر مقیاسهای بزرگ مسلّط است و امکان دارد هر دو در بزرگترین مقیاسها نقش داشته باشند. مطابق با مقیاس مربوط به طول، یك مقیاس وابسته به زمان وجود دارد. به این معنی که پدیده‌ها تمایل دارند در مقیاسهای کوچك به سرعت و در مقیاسهای بزرگ به کندی رخ دهند. در این جا در می‌یابیم که در علم کیهان شناسی بزرگترین و کوچکترین مقیاسهای درجه بندی به طور مستقیم و به گونه‌ای متقابل عمل می‌کنند؛ یعنی اتفاقاتی که در نخستین دقایق زمان و به طور ناگهانی رخ دادند، می‌توانند در یك مقیاس بزرگ و پس از یك مدت زمان طولانی بر روی شکل و تکامل تدریجی عالم تأثیر بگذارند. پیش گوییهای تخمینی (جدول شماره یك) توضیحاتی می‌دهند که به طور کلی در خلال این کتاب به شرح آنها خواهیم پرداخت.

دنیای ریز

در دنیای بسیار کوچك کوانتومی، برای هر مقیاس فضایی حجم، یك انرژی یا جرم خالص به وسیلهٔ ذرهٔ مادّی موجود در آن حجم انتقال می‌یابد. (انرژی بیشتر برای اجسام کوچکتر) و یك مقیاس زمانی مشخص می‌کند که چگونه اتفاقات به گونه‌ای ناگهانی رخ می‌دهند. ما از واحد قراردادی «الکترون ولت» برای انرژیهای ذرّات و جرم ـ انرژی(me^2) استفاده می‌کنیم.

در حدود نیمی از انرژی به وسیلهٔ یك پروتون منفرد واقع در نور مرئی حمل می‌گردد. هنگامی که از قلمرو کوانتوم خارج می‌شویم، معمولاً جرم را به وسیلهٔ شمارش اتمها یا جرم ستارگان اندازه می‌گیریم.

مقیاس پلانگ، $۱۰^{۲۸}$ الکترون ولت انرژی، طول: $۱۰^{-۳۳}$ سانتی متر، زمان $۱۰^{-۴۳}$ ثانیه طول پلانگ چندین برابر کمتر از پهنای موی انسان است، همین طور که آن نیز از جهان قابل مشاهده کوچکتر است. زمانی که طول می‌کشد تا نور فاصلهٔ پلانگ را بپیماید، زمان پلانگ نام دارد. این کوچکترین مقیاس از فضا و زمان است. اثرات انحنایی کوانتومی نیروی جاذبهٔ آن چنان زیاد است که نظریهٔ پیوسته زمانی ـ مکانی ساده را ناهماهنگ می‌گرداند. در نظریه‌های آبَر ریسمان که مقیاس پلانگ را معنی دار می‌کنند، این اندازه ذرات بنیادی است، زمانی که فردی تلاش می‌کند تا به مقیاسهای کوچکتر برسد ماهیّت ریسمانی ذرات آشکار می‌گردد و به نظر می‌رسد اجسام مجدداً شروع به بزرگ شدن می‌کنند[۱].

مقیاس الکتروضعیف. انرژی $۱۰^{۱۱}$ الکترون‌ولت، طول $۱۰^{-۱۵}$ سانتی‌متر، زمان $۱۰^{-۲۵/۵}$ ثانیه.

این بیشترین میزان انرژی و کمترین فاصلهٔ دست ساخت بشر در آزمایشگاه به شمار می‌رود و نزدیك به انرژی حاصل از فرآیندهایی است که ذرات مادی همچون الکترونها و کوارکهای موجود در جرم سکو نشان می‌دهند. واقعیتی که مسلّم و کم اهمیّت جلوه می‌کند، بدین معنی است که ذرات برای عمل متقابل، نیاز به نزدیك شدن به یکدیگر را دارند. در حالی که یك عمل ضعیف، نوعی ذره را به نوع دیگر که خیلی کمیاب است تبدیل می‌کند.

مقیاس فرمی[۲]. انرژی $۱۰^{۸}$ الکترون ولت، طول $۱۰^{-۱۳}$ سانتی‌متر، زمان $۱۰^{-۲۲/۵}$ ثانیه.

این‌مقیاس، حوزهٔ عمل «گلئون[۳]» قوی را مشخص‌می‌کندکه اندازه‌و رفتار را به‌خوبی جرم پروتونها، نوترونها و هسته‌های اتمی تعیین می‌کند. کشمکش بین نیروهای گلئونی و

۱ـ زمان پلانگ t_p، جرم پلانگ m_p و انرژی m_pc^2 توسط ثابتهای بنیادین گرانش، معین می‌شوند. (ثابت نیوتون G). در مکانیك کوانتوم (ثابت پلانگ H) و فضا و زمان (سرعتهای جهانی انیشتینC). اینها مقیاس را به جایی منعکس می‌سازند که در آن کوانتوم دانه ـ دانه‌ای فضا و زمان اهمیت پیدا می‌کند. $t_p = \sqrt{hG/c^5}$ و $m_p = \sqrt{hc/G}$. معمولاً استفاده از ثابت کاهش یافته $h = \frac{h}{2\pi}$ را در نظر می‌گیرند.

2 - Fermi. 3 - Gluon.

الکتریکی ـ که گرایش به از هم پاشیدن دارند ـ یك پدیدهٔ پر بار و کارآمد هسته‌ای را به وجود می‌آورد و تعیین می‌کند که کدامیك از عناصر شیمیایی پایدار می‌توانند در طبیعت وجود داشته باشند.

مقیاس بوهر[1] . انرژی ۱۰ الکترون ولت، طول $۱۰^{-۸}$ سانتی‌متر، زمان $۱۰^{-۱۵/۵}$ ثانیه.

کلیهٔ انواع اتمها اندازه‌ای دارند که به وسیلهٔ تعادل میان جذب الکتریکی انرژی و انرژی جنبشی مکانیکی کوانتومی تعیین می‌شوند. چون اتمها در جامدات و مایعات با هم در تماس هستند، این رده بندی، چگالی و دیگر ویژگیهای انواع مواد را مشخص می‌کند و فیزیك در این جا پاسخگوی خواص شیمیایی اتمهاست. نورمرئی که با حدود دو الکترون ولت انرژی، به شدت با الکترونهای درون اتم بر هم کنش می‌کند، برچگونگی مشاهدهٔ اجسام جامد و مایع نظارت دارد.

بر همکنشهای اتمی و مولکولی. انرژیهایی تا $۱۰^{-۳}$ الکترون ولت، طول $۱۰^{-۵}$ سانتی‌متر یا بیشتر نوسانها و تحولات ساختاری در رده‌بندیها، از اتمهای منفرد تا اجتماعهای به هم پیوستهٔ بزرگ روی می‌دهد. همانند پروتئینها که با چند هزار اتم، مستعد رفتار پیچیده‌ای می‌باشند.

دنیای کلان

مواد جامد و مایع. از مولکولها و ذرات ریز غبار $۱۰^{-۵}$ سانتی‌متری تا شهرها و اقمار کوچك ـ در حدود صد کیلومتر تقریباً $۱۰^{۴۵}$ اتم را شامل می‌شوند. شکل اجسام مادی به وسیلهٔ نیروهای الکتریکی میان اتمها و مولکولها تعیین می‌شوند. تعداد زیاد رده بندیها شرایط خاص شیمیایی و ساختمانی را برای سیستمهای بشدت پیچیده ایجاد می‌کند تا با چندین سطح سازمانی مرتب ارتقا یابد. یك انسان دارای $۱۰^{۲۸}$ اتم است. یعنی تقریباً در حدود تعداد انسانهایی که بر روی یك ستاره جای می‌گیرند.

---

1 - Bohr.

سیارات. در سیارات بزرگتر تا حدود جرم و اندازه برجیس (مشتری[1])، (تقریباً ۳۱۸ برابر جرم زمین. ۲×۱۰^{۳۰} گرم یا در حدود $۱۰^{۵۴}$ اتم و حدوداً یکصدوچهل‌هزار کیلومتر از دو سو یا یازده برابر اندازهٔ زمین). اتمها به‌اندازه‌ای استحکام دارند که در مقابل فشار و تراکم از خود مقاومت نشان دهند ولی به وسیلهٔ گرانش ناچار به پذیرفتن یك شکل گرد ناهمگون می‌شوند.

اجرام گرانشی سرد[2]. اجرام سرد بزرگتر می‌توانند از حالتهای پایدار تا حدود ۲×۱۰^{۳۳} گرم یا $۱۰^{۵۷}$ اتم که معادل جرم خورشید است پشتیبانی کنند و هر چه بزرگتر باشند، تراکم و فشار حاصل از گرانش را بیشتر نمایش می‌دهند. در جرمی بیش از جرم مشتری، گرانش به حدی قوی است که اتمها را متراکم‌می‌کند و هرجرم افزوده‌شده سبب متراکم‌شدن به اندازه‌ای کوچکتر می‌گردد. نمونهٔ نهایی شامل ستاره‌های کوتولهٔ رو به اضمحلال با جرمی معادل خورشید می‌باشد. در حالی که آنها تنها بزرگی برابر زمین یعنی با قطری‌حدود ده هزار کیلومتر دارند و ستارگان نوترونی که جرمی مشابه دارند ولی هزار مرتبه کوچکتر می‌باشند.

سیاه چاله‌ها. در جرمهای خیلی زیاد، گرانش تمامی صورتهای ماده را به طور کامل به سوی اضمحلال در سیاه چاله‌ها هدایت می‌کند. اگر چه مادهٔ سقوط کرده، مقادیر هنگفتی انرژی از خود آزاد می‌کند، نیروی گرانش یك سیاه چاله تمام نوری را که از میان افق واقعه ساطع می‌شود، به دام می‌اندازد. ناحیه‌ای در حدود۶ کیلومتر پهنا برای یك چاله با جرم خورشید و در مقایسه با جرم چاله‌های بزرگتر، بیشتر. گرچه سیاه چاله‌ها می‌توانند با هر جرمی به صورت زوج وجود داشته باشند، کوچکترین آنها ممکن است از ستارگان شکل گرفته باشند و در واقع این گونه به نظر می‌رسد که بزرگترین نمونه‌ها از تجمع جرم در مرکز کهکشانها شکل گرفته‌اند. آنها جرمی در حدود $۱۰^{۹}$ (یك بیلیون) برابر جرم خورشید دارند. ولی اینها حتی فقط در حدود بیست برابر بزرگتر از جرم زمین و در پیرامون خورشید هستند.

ستارگان‌عادی. ستارگان‌معمولی‌که از هیدروژن و دیگر هسته‌های‌سبك‌تشکیل

---

1 - Jupiter.

۲ ـ در این جا سرد به این معنی است که اجرام نامبرده نه ستاره‌اند و نه همانند سیارات می‌باشند. همچنین مواد سوختی هسته‌ای نیز نیستند.

شده‌انـد، برای مـدّت زمان خـاصی بـه وسیلهٔ انفجـار هسته‌ای در درون خـود از اضمحلال فاجعـه‌برانگیزی جلـوگیری می‌کننـد که در طـی آن برای حفظ خـود در یك اندازهٔ بـزرگ به میزان‌کافی گـرما از دست می‌دهند. خـورشید در حدود۴/ ۱ میلیون کیلومتـر قطر دارد. این ستارگان می‌توانند تا حدود یکصد برابر جرم خورشید باشند.

گاز بین ستاره‌ای. ستارگـان شکل گرفته از توده‌های ابری گازی بـزرگتر تمایل دارند که یکدیگـر را در دسته‌های بزرگی شکل دهنـد. ساختمان منشأ و سرچشمهٔ سحـابیها، انواع بسیار زیـادی از طبقه بندیهایـی را داراست که غبار بیـن ستاره‌ای را در خود جای داده‌انـد که تقریباً اندازه‌ای معادل منظومهٔ شمسی و مدار حرکت زمین دارند. به عنوان مثال تقریباً سیصد میلیون کیلومتر یا ۳×۱۰^{۱۳} سانتی متر قطر دارند. در همسایگی ما به صورت مثال فاصلهٔ میان ستارگان تنها چند سـال نوری است. ستاره شناسان دوست دارند از واحـدی به نام پارسك ـ ۳×۱۰^{۱۸} سانتی‌متر ـ استفاده کنند که در حدود سه سال نوری است[۱].

کهکشانها. این جزایر مادی در جهان کـه اشکال و اندازه‌های متنوع گسترده‌ای دارند، خوشه‌هایی از چندین میلیون ستاره‌اند که به همراه گازها در تراکم بزرگی با گرانش متقابل و در برخی‌از آنهـا از مواد نادیده تجمع‌یـافته‌که به دور یکـدیگرمی‌چرخند. کهکشـانها همچون کهکشـان خود مـا به‌طـور تقریبـی $۱۰^{۱۱}$ ستـاره‌دارنـد و درحـدود ۳۰،۰۰۰ پارسـك ($۱۰^{۲۳}$ سانتی‌متر) پهنا دارند. کهکشـانها تمایل‌دارندکه به‌صورت‌گروهی پیـرامون یکدیگر بچرخند. حتی خوشه‌هـای کهکشانی که ممکن است شـامل هزار عضو باشند و تـا حدود چند میلیون پارسك پهنا داشته باشند.

جهان در حال انبساط. بالاتر از یك مقیاس بیشینه در حدود $۱۰^{۲۶}$ سانتی متر، اجسام به گونـه‌ای یکنواخت پخـش گردیده و انبسـاط یافته‌اند. ایـن دنیای یکپارچـهٔ قابل مشـاهده در حدود $۱۰^{۲۸}$ سانتی متر پهنا دارد و تقریباً شـامل جرمی برابر $۱۰^{۲۳}$ برابر جرم خورشید است. در این مقیـاس، اجسام خیلی نـرم و بدون شکل مـی‌شوند. دست کـم تا جایـی که می‌تـوانیم ببینیم، هر جایی مثل جای دیگر است.

۱ـ سرعت نور ۳×۱۰^{۱۰} سانتی متر در هر ثانیه است. پس در یك سال (۳×۱۰^{۷}) ثانیه، در حدود ۹×۱۰^{۱۸}/ ۰ سانتی‌متر سیر می‌کند. در ده گیگاسال، مسافتی معادل $۱۰^{۲۸}$ سانتی متر می‌پیماید.

تاریخ هرچیز

در واقع آن چیزی که در علم فیزیك رخ می‌دهد، به آن چیزی بستگی دارد که شما با آن آغاز می‌کنید. پایداری اتمها و مولکولها و چگونگی رویکرد سریع واکنش میان آنها در یك حالت مفروض، همگی از فیزیك پیروی می‌کنند. به عبارت دیگر در حال حاضر آمیختگی هسته‌ای و نظم و ترتیب مکانی و فضایی آنها ــ در سیستمهایی چون یك مولکول DNA یا یك درخت و یا یك ستاره و یا یك کهکشان ـ در درجهٔ نخست به تاریخچهٔ کهکشان ـ و آنچه که پیش از این به وجود آمده ــ بستگی دارد. سرانجام این نمایش به طور تمام و کمال از طریق نمایان گردیدن اجسام در جهان ثبات پیدا می‌کند. برخی از کیفیات جهان کنونی ـ همانند اشکال زندگی ـ نتیجهٔ پیچیدگی سیر تدریجی تکامل هستند و آن [حالتها] این پیچیدگی را به ساختار خودشان منعکس می‌کنند. دیگر چهره‌های نمونهٔ جهان، سنگواره‌ها و بقایای مستقیم اتفاقاتی هستند که خیلی زود در تاریخ کیهان به وقوع پیوسته‌اند. طراحی سلسله رویدادهایی که تاریخ کیهانی را به وجود می‌آورند، و نشان دادن این که چگونه آنها به پدیده‌های قابل مشاهدهٔ جهان امروزی ارتباط پیدا کرده‌اند، مفید به نظر می‌رسد.

در مرور و خلاصهٔ ذیل، «زمان» به مدتی باز می‌گردد که طول می کشد تا جهان اندازهٔ خود را دو برابر کند. برای بیشتر بخشها، همچنین «زمان» به مجموع مدت عمر سپری شدن، نزدیك می‌گردد. «دما» مربوط است به دمای تشعشع در زمانهای نخستین که به طور معمول توسط نوعی انرژی ذره‌ای معین می گردد.

می‌توان از قوانین‌کلی رایج، یك رابطهٔ بدیهی میان زمان و دما[1] ـ حتی در بالاترین‌دماها ـ تخمین زد. با افزایش و پیشرفت‌زمان،جهان انبساط پیدا می‌کند و دما در محدودهٔ شناخته

۱ ـ این رابطه عبارت است از: $(t/t_p) \approx (k\pm/m_pc^2)^{-2}$. که در آن t و kt به ترتیب زمان و انرژی گرمایی هستند و t_p و m_p نیز زمان و جرم پلانگ می‌باشند. در دنیای نخستین، بیشتر چگالی توسط اشعهٔ انتقال می‌یافت تا جرم. پرتو داغ که چگال‌تر است، سبب گسترش سریعتر اجسام داغتر می‌شود.

شده، بیشتر کاهش می‌یابد.

خلاصهٔ این روند به همراه وضوح و شفّافیت، نشان دهندهٔ تبدیل [دما]از گرمی به سردی است. هم‌اینك پیشرفت‌تدریجی‌ازحالت‌ساده‌به پیچیده، از تقریباً نرم به‌عمیقاً سخت، از خطی تا غیر خطی در حال انجام است. ابتدا ویژگیهای ساده سرچشمه می‌گیرند و سپس پیچیدگیها رشد می‌کنند. آنچه به این واقعیت‌مرتبط است این است‌که در نخستین زمان، بزرگترین مقیاسها ثبت و نگهداری نشده‌اند و ساختار کلان تنها رویدادهای اخیر را آشکار می‌کند. جهان برای بیشتر عمرش، به گونه‌ای ریز ساختار، نرم و هموار باقی مانده است. برجسته‌ترین درس از بررسی ذکر شده این است که بسیاری از قسمتهای قابل شناسایی از اتفاقاتی که در ورای گسترش عظیم زمان کیهانی روی داده‌اند، در دسترس می‌باشند.

دوران خلأ

دورهٔ پلانگ. (زمان 10^{-43} ثانیه. دما 10^{19} گیگا الکترون ولت[1]). این دوره می‌تواند به عنوان نقطهٔ آغاز زمان درنظر گرفته شود. چرا که این به‌عنوان مرز بخش وجودی، جایی‌است که مفهوم زمان آن را به‌وجودآورده است. زمان به بخشهای‌کوچکتر از چیزی‌که هم‌اکنون دارد تقسیم نمی‌شود. بنابراین‌گفتن‌عبارت «قبل از...» برای این‌زمان بیهوده به‌نظرمی‌رسد. درك‌و تصور زمان و فضا برای مدت زمان کوچکتر از این به طور واضح مستقل نیستند. مثل این است‌که تمام آثار و یادگارهای قابل مشاهده از این دوره به وسیلهٔ بزرگ شدن و منبسط گردیدن از بین رفته‌اند.

۱ ـ در ابتدای این متن، من از واحدهای انرژی بهره گرفتم که انرژی گرمایی جنبشی [حاصل از حرکت] یك نوع ذره را منعکس می‌کنند و باعث افزایش دما در واحد گیگا الکترون ولت می‌شوند. البته اگر شما ترجیح بدهید، می‌توانید از واحد کلوین (یا باختصارk) برای دما بهره گیرید. یك گیگا الکترون ولت انرژی است که توسط جرم یك پروتون در بر گرفته شده است (10^9 الکترون ولت). یك گیگاالکترون ولت معادل یك میلیون الکترون ولت و یك کیلو الکترون ولت، هزار الکترون ولت است. درجه بندی کلوین مانند سلسیوس می‌باشد. مگر این که به جای آغاز از نقطهٔ انجماد آب (که در ۱۵/ ۲۷۳ کلوین می‌باشد). از نقطه صفر مطلق اندازه گیری می‌شود. لذا در درجه بندی معمولی کلوین دمای منفی وجود ندارد. دما یك مفهوم صریح فیزیکی نیز دارد. اجسام گرمتر که از ذراتی با حرکت سریعتر تشکیل شده‌اند و با ریشهٔ دوم دما متناسبند و صفر مطلق هیچ گونه رابطه‌ای با جنبش حرارتی ندارد.

دوران گسترش و تورّم. (زمان پس از دورهٔ پلانگ و پیش از $۱۰^{-۱۰}$ ثانیه. دما یکصد گیگاالکترون ولت). خلأ فیزیکی که بر انرژی چیرگی دارد، باعث پیشرفت گرانش دافعه‌ای می‌گردد که جهان را به سوی یك اندازهٔ بسیار بزرگ هدایت می‌کند. این حالت می‌تواند به عنوان یك «انفجار بزرگ» خود به خودی تلقی شود؛ تا آن جا که هنوز شاهد آثار آن در اشکال مختلف انبساط کیهانی هستیم. این امکان وجود دارد که فرآیند مذکور مسؤول نوسانهایی باشد که به سوی شکل دهی کهکشانها و تمامی دیگر ساختارهای مشابه در جهان امروزی باشد که هنوز به اثبات نرسیده است. ممکن است رخدادهای بر جای مانده از این دوره را در نوسانهای تابش زمینه‌ای ریز موج یا در امواج گرانشی پیدا کنیم.

دورهٔ تابش

آفرینش نور. ــ پس از دورهٔ تورّم و گسترش و پیش از آفرینش جرم. دما بیش از یکصد گیگا الکترون ولت ـ انرژی درونی خلأ به طور خود به خود تغییر شکل پیدا می‌کند و به‌سوی یك شکل شناخته شده تر ذرّات همچون نوترونها یا بسته‌های نور[1] ـ بخوبی ذرات ضد ذرات مادی ــ به تعداد مساوی جریان می‌یابند. این دوره زمانی است که «بازگرمایش»[2] نامیده می‌گردد: تبدیل انرژی به پرتو گرمایی. [در این دوره] گرانش دافعه‌ای آشکار نمی‌گردد. بنابراین گرانش، رفتار جاذبه‌ای عادی خود را در پیش می‌گیرد. انرژی پرتو، زمینه‌ای که هم اکنون می‌بینیم جهان را پر کرده است، از همین جا سرچشمه می‌گیرد. این امکان وجود دارد که جرم تاریك کیهانی نیز در اوان همین دوره تولید شده باشد و امروزه جرم جهان را در سیطرهٔ خود گرفته است.

آفرینش مادهٔ باریونی. (پس از به وجود آمدن نور و پیش یا در هنگام تحول الکتروضعیف[3]. دما یکصد گیگاالکترون ولت). اندکی فزونی کوارکها و الکترونها بر ضد کوارکها و ضد الکترونها در طی فرآیندی موسوم به «باریوژنسیس» ایجاد می‌شود. امروزه این فرآیند اثر خود را در حضور مادهٔ باریونی ـ و به میزان قابل ملاحظه‌ای قابل اندازه‌گیری ـ از

1 - Light Quanta. 2 - Reheating. 3 - Electroweak.

دست می‌دهد که شامل همهٔ مواد عادی و تمامی اتمها در کلیهٔ ستارگان و کهکشانهاست.

دورهٔ الکتروضعیف. (زمان 10^{-10} ثانیه. دما یکصد گیگا الکترون ولت). این تقسیم‌بندی، حد و مرز آزمایشهای رایج در فیزیک را بیان می‌کند. به عبارت دیگر پدیده‌های پیشین تقریباً به عنوان محدودیتهایی کیهان شناسی در نظریه‌های فیزیکی به نسبت عکس تجزیه شده‌اند. این دوره در بقیهٔ حالتها مهم و پر معناست. به عنوان مثال، این دوره تناوب و انتقال خلأ به حالتی که به ذرات جرم سکونشان می‌دهد، خاطر نشان می‌سازد. ممکن است این دوره، دورهٔ «باریوژنسیس» یا پایان قرینه و تناسب فوق‌العاده زیاد خلأ باشد. زمانی‌که ماده ونیرو با رفتارهای مختلف خود به صورتهای قابل مشاهدهٔ انرژی تبدیل می‌گردند. امکان دارد که نخستین آثار کیهانی از این دوره باشند (مانند جرم تاریك یا نقایص کیهانی) و یا شاید از این دوره نباشند.

دورهٔ قوی(زمان 10^{-4} ثانیه. دما ۲/ ۰ گیگا الکترون ولت). در این زمان دنیا از حالت «سوپ کوارك» به مادهٔ «هادرونی» متحول گردید. در جایی که کوارکها و گلئونها شکل جدید خود را بپذیرند، به تنهایی در کنار نوترونها و پروتونها پنهان می‌کردند. امکان دارد این تحول و دگرگونی در دنیای امروزی آثاری همچون شکلهای گوناگون جسم تاریك مثل سیاهچاله‌ها را از خود بر جای گذارده باشد یا ممکن است که ماده‌ای را در قسمت بسیار سختی بر جای گذاشته باشد که پس از این بر روی آفرینش هسته‌های اتمی تأثیر گذار باشد.

واجفتیدگی واکنش ضعیف. (زمان یك ثانیه. دما یك میلیون الکترون ولت). واکنشی که نوترونها و پروتونها را به سوی یکدیگر عقب و جلو می‌برد، در این مرحله اثر و کارآیی خود را از دست می‌دهد. مهمترین اثر این [دوره] این واقعیت است که پروتونها از نظر تعداد به نسبت تقریبی هفت‌به‌یك ازنوترونها پیش‌می‌افتند و به‌همین‌دلیل است‌که امروزه دنیا اغلب از هیدروژن تشکیل شده است. آثار بی شمار نوترونهای زمینهٔ کیهانی که از این زمان به سوی ما در جریان هستند، بدون هیچ گونه واکنشی در همین زمان چگالیشان ثابت گردیده است. در این زمان چندین شکل ممکن جسم تاریك تجزیه می‌شوند و فراوانی آنها [از نظر تعداد] تقریباً در طی همین دوره تنظیم و ثابت گردیده‌اند. خلاصه این که پس از آن، واپسین نابودی بزرگ «ضد ماده»[1] رخ می‌دهد. الکترونها و پوزیترونها گرمای خود را در فوتونهای زمینه‌ای

1 - Antimatter.

کیهانی ذخیره می‌کنند که بدان وسیله امروزه کمی بیشتر از مقدار انرژی که باید داشته باشند، دارند.

پیدایش هسته‌های اتمی عناصر سبك. (زمان یکصد ثانیه. دما ۱ / ۰ میلیون الکترون ولت). به منظور چسبیدن پروتونها و نوترونها به یکدیگر، در طی یك فرآیند، اجسام به اندازهٔ کافی خنك می‌شوند که فرآیند مذکور، «سنتز هسته‌ای»[1] نامیده می‌شود. تقریباً تمامی نوترونها به همراه پروتونها به هستهٔ اتم هلیوم ملحق می‌شوند و تقریباً همه در داخل هسته دوتریم باقی می‌مانند. همچنین مقدار کمی نیز در [هسته] لیتیوم می‌مانند که رفتار خاصی از خود نشان نمی‌دهند. فراوانی این عناصر، امروزه آزمایش دقیقی را برای درك این دوره فراهم کرده‌است.

تجزیهٔ طیف (بنیاب) پرتو. (شروع در مدت یك ماه. دما پانصد الکترون ولت). به موازات این که جهان نازك و رقیق می‌گردد، واکنش میان ماده و پرتو کمتر مؤثر واقع می‌شود. طیف پرتو بسیار دقیق پلانگ که امروزه شاهد آن هستیم، در همین دوره محقق گردید و مقدار اندك مازاد انرژی، پس از آن و بدون آشکار گردیدن می‌توانست افزوده گردد. عمل تجزیه در طی مراحل زیر اتفاق می‌افتد: فرآیند نوین تولید فوتون به زودی به پایان می‌رسد. در حالی که انرژی متغیر میان ذرات کمی بیشتر ادامه می‌یابد. واپسین تغییر شکل ابتدایی انرژی به بیشتر فوتونهای زمینه‌ای کیهانی که امروزه شاهد آن هستیم، در همین دوره اتفاق می‌افتد.

دورهٔ ماده

انتقال حاکمیت تابش به ماده. (زمان در حدود ده هزار سال. دما سی هزار درجه کلوین یا سه الکترون ولت). جرم جهان مقدار کمتری انرژی نسبت به پرتو برای گسترش‌یافتن از دست می‌دهد. لذا احتمالاً این چگالی جرم را در طی همین‌دوره در سیطرهٔ خویش‌می‌گیرد. هنوز جرم باریونی با فشار بسیار زیاد تشعشع داغ به شدت کنترل می‌شود.

1 - Nucleo Synthesis.

جدول شمارهٔ دو: تاریخچهٔ تمامی اجسام

آثار قابل مشاهده	فیزیک و رُخدادهای فیزیکی	دما	زمان	دوره
* فضا ـ زمان چهار بُعدی	حد و مرز فضا ـ زمان، گرانش کوانتومی	10^{19} گیگاالکترون‌ولت	10^{-43} ثانیه	دورهٔ پلانگ
* اندازه و شکل جهان قابل مشاهده تغییرات ساختاری در مقیاس بزرگ	از بین رفتن محیط غیر پایدار خلأ. تحولات کوانتومی در خلأ			انبساط کیهان
* انرژی تابش زمینه‌ای کیهانی	تغییر شکل خلأ به انرژی تابش			آفرینش نور
* فزونی ماده بر ضد ماده	مقدار خالص باریون تولید شده			آفرینش ماده
* وجه تمایز بین نیرو و میدانهای مادی	اتحال الکتروضعیف، منشأ جرم	یکصد گیگاالکترون ولت	10^{-10} ثانیه	عصر الکترو ضعیف
* اشکال شگرف مادهٔ تاریک	کوارک ـ هادرون پلاسما شکل نوترونها و پروتونها	۲۰۰ مگا الکترون ولت	10^{-4} ثانیه	عصر قوی
* جریان توسط هسته‌های هیدروژن احاطه می‌گردد.	نوترینوها به‌نسبت ثابتی به نوترون و پروتون تجزیه	یک مگا الکترون ولت	یک ثانیه	تجزیهٔ ضعیف
* نوترونهای گرمتر از نوترونها در حال حاضر	می‌گردند.	نیم میلیون الکترون ولت	۵ ثانیه	نابودی e^+ و e^-
* وفور عناصر سبک، هلیوم ـ دوتریم ـ لیتیم	**انجماد واکنشهای هسته‌ای**	**صد کیلو** الکترون ولت	۱۰۰ ثانیه	سنتز هسته‌ای
* طیف جسم تاریک تابش زمینه‌ای	شکل هستهٔ اتم پایان تولید نوترون مفید	پانصد الکترون ولت	یک ماه	تجزیهٔ طیفی
* ویژگی انبساط در چگالی جرم	ماده، چگالی جرم را دربردارد.	سی هزار کلوین ـ ۳ev	ده هزار سال	برابری پرتو ماده
* انبساط در تابش زمینه‌ای	هیدروژن دوباره موجودیت می‌یابد. دنیا به سوی نورانیی شدن شفاف می‌شود.	سه هزار درجه کلوین	نیم میلیون سال	تجزیهٔ ماده ـ پرتو
* نخستین ستارگان، عناصر سنگین	انبساط جرم رشد می‌کند. نخستین اجرام ریز به‌هم می‌پیوندند.	۲۰ درجه کلوین >	یک گیگاسال >	دوران تاریک
* ستارگان، کهکشانها و اختروشهایی که صریحاً قابل مشاهده‌اند.	نابودی سیستم کهکشانی انرژی اختروشها	۲۰ ـ ۱۰ درجه کلوین >	یک تا دو گیگاسال <	شکل گیری کهکشان
* شکل گیری کهکشان راه شیری و منظومهٔ شمسی	گاز در میان ستارگان تحلیل می‌رود. ستارگان	۱۰ ـ ۳ درجه کلوین	۱۳ ـ ۲ گیگاسال	عصر درخشان
* خوشهٔ کهکشانها	بی ثباتی گرانی در مقیاس بزرگ	سه درجه کلوین	سیزده گیگاسال	دورهٔ کنونی
		یک درجه کلوین >>	10^{11} سال <<	آینده

خلاصه ای از دورانهای مهم در تاریخ جهان از نخستین لحظات زمان. هر دوره به وسیلهٔ زمانی که طول می‌کشد تا خود را دو برابر کند، مشخص می‌گردد

دما به گونه‌ای پیوسته و یکنواخت به موازات انبساط جهان، کاهش می‌یابد. GY=گیگاسال=یک بیلیون سال = 10^9 سال ev = الکترون ولت (واحد انرژی ذره‌ای)

k = مقیاس دمای کلوین.

در حالی کـه بیشتر گرانش و جرم، از جسـم تاریك می‌آیند. کـه تقریباً از هم اکنون مـی‌توانند آزادانه حرکت کننـد. این دوره یادآور طیف تغییرات در چگالی جـرم کیهان است. و از دیگر آثار مربوط به آن، توزیع ماده در مقیاس وسیع امروزی است.

واپَسیـن پراکنـدگی. (زمـان در حدود نیـم میلیون سـال. دما تقـریباً سـه هزار درجـه کلوین). هنگامـی که پرتو برای ایجاد تماس میـان الکترونها و پروتونها به انـدازهٔ کافی خنك شود، (ترکیب دو بارهٔ هیدروژن)[1] الکترونها تقریباً واکنش خود را با پـرتو متوقف می‌سازند. پس از این، اشعـه آزادانه در میان فضا گسترش می‌یـابد. ما در این دوره به وضـوح نقشه‌های زمینه‌ای کیهانی خود را مشاهده می‌کنیم. بنابراین نقشه‌های بهتری درست شدند و بسیاری از وقایـع این دوره [در آینده] روشن خـواهند شد. از این پـس، مادّهٔ باریونـی که از پرتو تجـزیه گردیـده است، برای حرکـت آزاد می‌باشدو تـوقف رشد سـاختار کیهانی تـوسط پرتو پـایان می‌یابد.

عصر تاریك. (تقریباً تا زمانـی معادل یك بیلیون سال. دما در حدود ۰/۰۰۲ الکترون ولت یا بیست درجه کلوین). به منظور وسعت بخشیدن و تقویت کردن تغییرات اولیه در مادهٔ تاریك، گرانش ماده وارد عمل می‌شود. امّا این سـاختارها برای یك مدت طولانی به صورت موجهای با دامنهٔ کوتاه‌اند[2] . در برخی از زمانهای این **عصر**، پرقـدرت‌ترین ریزموجها ابتدا به کفهای سفیدی تبدیل می‌شوند و به نخستین ساختارهای غیر خطی (نخستین ساختارها برای توقف انبساط) شکل می‌دهند. ممکن است که واحدهای زیرکهکشانی[3] یك میلیون برابر جرم خورشید باشند.

دورهٔ شکل گیری کهکشـان. (شروع تقریباً در زمـانی معادل یك بیلیـون سال. دما در حدود ۰/۰۰۲ الکترون ولت یا بیست درجه کلوین). گرانش سبب رشد تدریجی ریزموجها و شکستن امواج بزرگتر و هـدایت آنها برای شکل دهی نخستین کهکشانهـا می‌گردد. گاز در داخل کهکشـانها حـل می‌شود و بـه سرعـت ستاره‌هـا و «اختروش[4]» هـا را به انـدازهٔ کافـی درخشان مـی‌سازد. که امـروزه می‌توانیـم آنها را مشـاهده کنیم. نـور و حرارت از این منـابع

1 - Hydrogen recombination.
2 - Ripples.
3 - Subgalactic.
4 - Quasar.

انرژی ـ منظور همان ستاره ها و اختروشهاست ـ گاز باقیمانده را یونیزه می‌کند.

عصر درخشان. (تا هم اکنون. حدود سیزده بیلیون سال. دما ۷/ ۲ درجه کلوین). ابتدا گاز به تدریج تحلیل می‌رود و به صورت تصاعدی به وسیلهٔ عناصر سنگینی که از ستارگان دفع می‌شوند، آلوده می‌گردد. پس از چند میلیون سال آخر، شکل گیری ناگهانی ستاره محو گردیده است. تقریباً تمامی اختروشها ناپدید شده‌اند و شکل‌گیری کهکشانهای تازه به طور کامل کمیاب گردیده است. در خلال یك چنین دوره‌ای، زندگی در روی سیاره‌ها رشد می‌کند و در زمانی بسیار نزدیك به زمان حال، به گونهٔ زیرکانه‌ای جوانه می‌زند.

آینده. جهان سرد خواهد گردید، ستارگان منقرض می‌شوند و فعالیّت کیهانی کاهش خواهد یافت ـ ولی فرصتهای ساختاری که بازند ـ پایان یافته و به صورت فزاینده‌ای به عنوان یك گسترهٔ وسیعتر از مقیاسهای فضا ـ زمانی پیچیده می‌گردند و یك سرچشمهٔ انبساط انرژی گرانشی در دسترس قرار می‌گیرد.

خلاصه‌ای از فیزیک

هر چه که در جهان روی می‌دهد، شامل چیزهای اولیه‌ای همچون جرم و انرژی است که در بستر فضا و زمان از یك شکل به شکل دیگر تغییر می‌کنند. هر اتفاقی تنها نمی‌تواند با این متغیّرهای بنیادین رخ دهد؛ شکل و تغییر شکلهای آنها به وسیلهٔ تشبیهات ریاضی در فیزیك تشریح می‌گردند که مشخّص کنندهٔ نظریه‌های کیهان شناسی نوین می‌باشند.

زمان و فضا

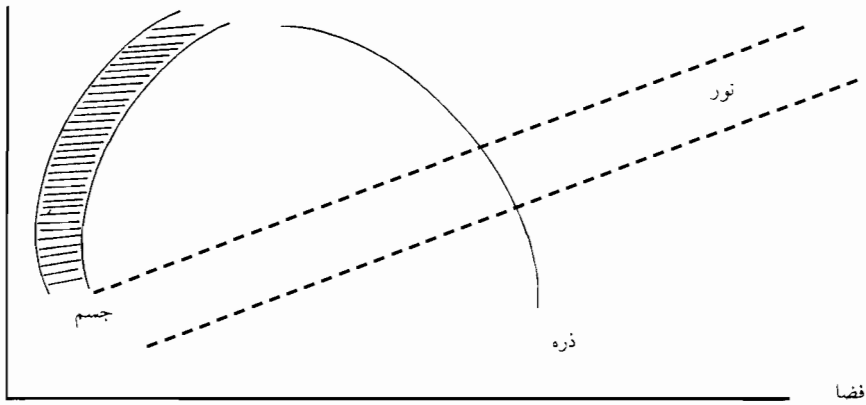
هر چه که رُخ می‌دهد در فضا و زمان روی می دهد، این دو روی هم **فضا ـ زمان** نامیده می شود و صحنه‌ای ایجاد می‌کنند که در تحت آن همهٔ **اشکال** انرژی ظاهر می شوند. ما از طریق تجربهٔ مستقیمی که از جهان خود داریم، با جلوه‌های کامل فضا و زمان آشناییم. به عنوان مثال می‌دانیم که فضای نامبرده دارای سه بُعد وسیع [درجهٔ آزادی] است و زمان مذکور نیز بسیار با فضا تفاوت دارد. فرضیه‌های مهم دیگر در مورد فضا ـ زمان تنها به وسیلهٔ دلایل صریح ریاضی آشکار شده‌اند. به عنوان مثال، انحنای فضا ـ زمان نیروهای گرانشی را ایجاد می‌کند. ویژگیهای موضعی فضا ـ زمان بسیاری از ممکن ها و غیر ممکن ها را

مشخص می‌کند. ــ مثلاً رسیدن به سرعت یك دسته پرتو نور غیر ممکن است. معمولاً فیزیك، توجه خود را به فضا و زمانی معطوف می‌کند که به صورت پیوسته و دائمی هستند. آنها می‌توانند به طور نامحدودی به فاصله‌های کوچك تقسیم شوند و هر فاصله یا لحظهٔ بدون وقفه گذشته را نشان دهند. این تصویر کلّی با محدودیتها سازگار است، ولی بسیاری از مقیاسهای کوچك را به طور کامل از بین می‌برد؛ در حالی که ممکن است فضا و زمان واقعاً شگفت و عجیب باشند. شاید کف مانند یا حتی از هم گسسته. گذشته از این ممکن است فضا و زمانی که در داخل جهان در حال جریان هستند، دارای ویژگیهای شگفت آور و یکنواختی باشند که نمی‌توان با آزمایشهای موضعی و محلی به آنها پی برد. به عنوان مثال، ممکن است زمان به خودی خود بسرعت پایان یابد یا آغاز گردد («شگفتیهای فضا ـ زمان» نظیر مراکز سیاهچاله‌ها) و فضا نیز امکان دارد به طور وارونه به خود بپیچد. لذا بی نهایت نیست ولی دارای حد و مرز هم نمی‌باشد (جهان مسدود). شکل ۱ ـ مثالی برای یك قطعهٔ کوچك از فضا ـ زمان به شکل نموداری است.

ذرات و میدانها در فضا ـ زمان

فضا ـ زمان مملو از انواع میدانهایی است که انرژی را از میان آن (فضا ـ زمان) منتقل می‌کنند. هر یك از این میدانها، هم چون میدان الکترومغناطیسی یا میدان یك الکترون در هر محلی از فضا و زمان حضور دارند، حتی در فضای تهی یا خلأ (خلأ فقط محل کمترین میزان انرژی در ساختار میدانهایی است که همگی انرژی حمل می‌کنند). کیفیت فعالیت میدانها مثل امواج، انرژی موجی همانند آنچه که به وسیلهٔ امواج آب انتقال می‌یابد، می‌تواند تشریح گردد. میدانها می‌توانند همانند شبکهٔ به هم پیچیده فنرهایی باشند که فضا را اشغال کرده‌اند و انواع مختلف نوسانهای ممکن را دارند. نوسانهای میدانها می‌توانند مثل امواج سطحی آب، بزرگ یا کوچك، بلند یا کوتاه و سریع یا کند باشند.

چرخش میدانها نیز می‌تواند مثل ذرات توضیح داده شود: یعنی بسته‌های گسسته انرژی که در حال حرکت می‌باشند و هر یك با دیگری در حال کنش و واکنش هستند، از



شکل ۱ـ نمودار فضا ــ زمان یك حقیقت چهار بعدی است (سه مختصه فضایی به علاوه زمان). ولی ما در این جا تنها یك بعد فضایی را با زمان رسم کرده‌ایم. هر نقطه یادآور یك رویداد است و مثالی از زمان در یك مکان ویژه است. ذره که دارای خط توپر است، وضعیت خود را در هر زمان مشخص می‌کند و جسم انتشار یافته دارای منطقهٔ هاشور خورده است. چرا که هیچ چیز نمی‌تواند سریعتر از نور سیر کند. این خطوط و هاشورها همیشه نسبت به خطوطی توسط پرتوهای نور ترسیم شده‌اند به امتداد عمود نزدیکترند. فضا ـ زمان هر دو یك حوزه‌ای از فیزیك به شمار می‌آیند. در نظریهٔ گرانش انیشتین، فضا ـ زمان خمیده است و این خطوط جهان را انحنا می‌بخشند که عبارت دیگری برای ذکر این مطلب است که ذرات به جایی که گرانش وجود دارد سقوط می‌کنند.

روی هم می‌جهند، تغییر راستا می‌دهند، تولید می‌شوند، نابود می‌گردند و به انواع گوناگون ذرات نفوذ پیدا می‌کنند. لذا اصطلاحاتی نظیر «ذره» و «میدان» به سیمای ظاهری وجودیشان باز می‌گردد و دو توصیف به عمل آمده از جهان، جنبهٔ تناوبی و تعویض پذیری دارند. توصیفات مذکور، چیزی جدای از زبان معاملات ریاضی را تشریح می‌کنند.

تمامی صورتهای انرژی به وسیلهٔ چند نوع میدان منتقل می‌شوند. یکی از بزرگترین اکتشافات فیزیك این است که هر اتفاقی را که در جهان رخ می‌دهد می‌تواند به صورت فعالیت چند نوع مختلف از ذرات (یا میدانها) ـ هر یك با ویژگیهای مشخّص و ممتاز ـ توصیف کند. محدودهٔ یکپارچه رویدادهای ممکن به وسیلهٔ نمونه‌های رفتاری این میدانهای طبیعی زیربنایی مشخّص می‌گردد. تحقیقات کاربسته، قوانین دقیق ریاضی که این رفتارها را

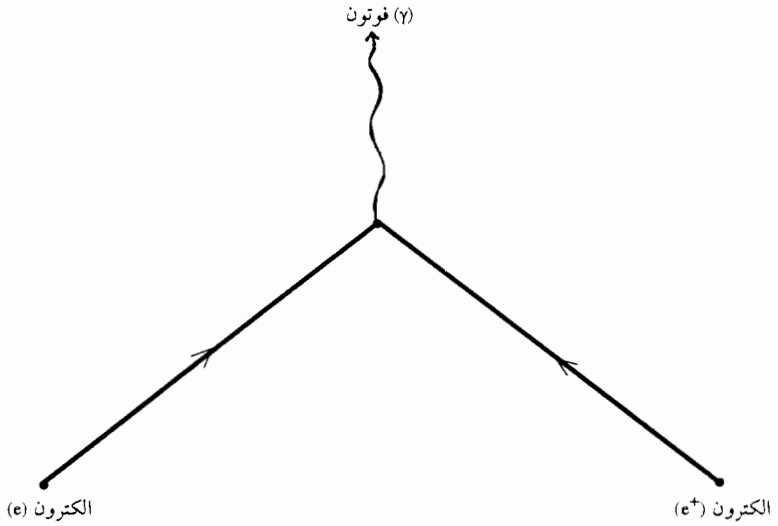
کنترل می‌کنند تحت پوشش قرار نمی‌دهند.

طبیعت شامل دو گروه میدان است: ماده و نیرو. ماده در حضور فعالیت میانجی گرایانه نیروها با مادهٔ دیگری واکنش می‌دهد. به منظور مرتبط شدن به نیرو، جسم باید به اندازهٔ کافی بار الکتریکی داشته باشد تا با آن نیرو جفت گردد. هنگامی که یك نیرو به جسم وارد می‌گردد، ذرات به همان نحو که در فضا هستند از هم جدا می شوند. این واژه، «پرتو»ی را بیان می‌دارد که از میان فضا و زمان، انرژی را انتقال می دهد. هر نیرو به بار الکتریکی و نوع تشعشعی که در اختیار دارد مربوط می‌شود.

ویژگیهای مواد و نیروها شباهت زیادی به قوانین شطرنج دارند که در آن تنوّع بسیار زیاد بازیها از چند قانون ساده سرچشمه می‌گیرند. در فیزیك، قوانین شامل آن چیزی هستند که هر نیرو می‌تواند انجام دهد و بارهای الکتریکی و جرمهایی که هر ذره‌ای از ماده منتقل می‌کنند، مهره‌های خود میدانها هستند و بازی، دنیای طبیعی درون فضا و زمان است. این ترتیبات واقعی به منظور پاسداری از اصول و تناسبهای جهان پدید شده‌اند. به عنوان مثال، شکل بازی و مجموع تعداد مهره‌ها و مربعها ثابت باقی می‌مانند و مهم نیست که چه اتفاقی می‌افتد؛ دقیقاً مثل مجموع مقدار میانگین انرژی [در کل جهان].

ویژگیها و صفات ماده و میدانهای نیرو به این نیاز دارند که با برخی قوانین روزمره به اضافه حرکتهایی که هر قطعه مجاز به آن است، مکمل و هم آورد باشند. نیاز به دانستن این مطلب است که حرکتها چه هنگامی رخ می‌دهند و چه نتیجه‌ای از آنها حاصل می‌شود. طبیعت از قوانینی پیروی می‌کند که «مکانیك» یا «قوانین حرکت» نامیده می‌شوند. در مقیاس بزرگ، قوانین مکانیك کلاسیك نیوتونی برقرار هستند. به عنوان مثال، اگر نیرویی بر یك ذره وارد شود، در نتیجه آن ذره شتاب می‌گیرد و در صورتی که هیچ گونه نیرویی وارد نشود، پس در حرکت آن هیچ گونه تغییری حاصل نمی‌گردد. به علاوه در مقیاس کوچك، قوانین مکانیك و کوانتوم چنین حکم می‌کنند که فضا و زمان همیشه به سرعت و مطابق با انرژی بالایی تغییر می‌کنند. این یعنی به عنوان مثال، ذره‌ای که به فضایی بسیار کوچك محدود شده باشد، باید خیلی‌سریع حرکت‌کند. بنابر این‌نیروی زیادی را برای‌حفاظت از خود در مقابل‌چند پاره‌شدن طلب می‌کند. مکانیك کوانتومی ذرات را با توصیفهای موجی اجسام ارتباط می‌دهد. حرکت

سریع ذرات انرژی بیشتری دارد و با نوسانهای سریع و امواج کوتاه، مرتبط هستند و حرکت آرام یا انرژی کمتر ذرات، به امواج بلند و نوسانهای آهسته‌مربوط است. همچنین‌ساختار فضا ـ زمان موجودیت نوع معینی از ذره را تضمین می‌کند. لذا هر نوع ذرهٔ دیگری با جرم مساوی ولی با تمام بارهـای الکتریکی مخالف یك «ضد ذره» نامیده مـی‌شود. یك ذره و یك ضد ذره می‌توانند با هم برخورد کنند و نابود شوند و تمام جرم آنها به انرژی برگردانیده می‌شود که در هر جفت به وسیلهٔ اشعه انتقال می‌یابد و هیچ‌گونه جرمی برجای نمی‌ماند[1]. (شکل ۲).



شکل۲ ـ یك نمودارفانیمن[2] یك شیوهٔ معرفی‌فـرآیندهای‌کوانتومی این مثال‌نشـان می‌دهد که یك الکترون و ضد ذرهٔ مربوط به آن یعنی یك پوزیترون برای تولید یك‌فوتون‌نابود می‌گردند. بارهای الکتریکی مثبت و منفی به طور کامل خنثی می‌شوند و بار الکتریکی صفر برای انتقال دادن فوتون باقی می‌ماند. این نمودار می‌تواند برای نمایش ذرات و امواج به کار گرفته شود.

---

۱ ـ جرم و انرژی با هم متناسبند. بدون انرژی، جرم نیز وجود نخواهد داشت. همچنین‌تعبیر دیگری از واژهٔ جرم وجود دارد که بـه جرم سکـون ذره باز مـی‌گردد. یعنـی مقدار انـرژی که جـرم در حال سکـون دارد. برخـی از ذرات نظیر فوتونها، هیچ‌گاه نمی‌تواننـد ساکن باشندکه به «بدون جرم» موسومند ـ حتی در حـالی‌که دارای انرژیند ـ . جرم m و انرژی E یك ذره مطابق بـا رابطهٔ انیشتین یعنی $E=mc^2$ به هم مـربوط می‌شوند. در حـالی‌که c سرعت نـور است. یك واپاشی میان یك‌ذره وضد ذره، به میزان تقریبی $2mc^2$ انرژی آزاد می‌سازد. به طور معکوس، در صورتی که این مقدار انرژی زیاد در یك فضـای کوچك حضور یابد، یك ذره و یك‌ضـد ذره می‌توانند به تنهایی‌از آن آفریـده شوند. امروزه به ندرت‌این اتفاق می‌افتد. ولی‌به علّت دمای بسیار زیاد در جهان اولیه رخ می‌داده است. به طوری که انرژی‌حاصل، از مقدار جرم ذرات تجاوزمی‌کرده است.

2 - Feynman.

نیروهای طبیعت

تا کنون تنها چهار نوع از میدانهای نیرو کشف شده‌اند: گرانش، الکترومغناطیسی، نیروی هسته‌ای قوی و ضعیف. که هر یك ذرات خاص خود را دارند: به ترتیب گراویتونها، فوتونها، گلئونها و بوزونهای W و Z. هر نوع نیرو مطابق با نوعی پرتو است. هر چند دو تا از آن پرتوها، پرتو گرانشی و الکترومغناطیسی (یا نور) در فاصله‌ای بسیار بزرگتر از ابعاد هستهٔ اتمی انتشار می‌یابند. در هر مرحله، ذره، پرتو یا نیروهای زمینه‌ای مختلف از وجود فیزیکی مربوطه را بازگو می‌کنند.

گرانش ساده‌ترین نیرو است و برای جفت شدن فقط به حضور انرژی نیاز دارد. بنابراین گرانش صورتهای انرژی را به صورتهای دیگر تبدیل می‌کند (این شامل هر دو میدان نیرو و ماده می‌گردد). هر ذره از هر نوعی که باشد، به این دلیل که برای وجود باید انرژی منتقل کند، یك نیروی گرانشی احساس می‌کند. این نیرو برای تمامی شکلهای ماده، به صورت گرانی است. نیروی گرانشی، تمایل به حرکت دادن اجسام به سوی یکدیگر دارد ـ تا کنون هیچ گونه گرانش منفی مشاهده نشده است. اگر چه در برخی حالتها از نظر فیزیکی امکان پذیر است و چنین به نظر می‌رسد که به صورتی بحرانی در آغاز انفجار بزرگ با اهمیت بوده است. در نهایت باید گفت که این نیرو دارای بُرد طولانی است. مهم نیست که اجسام چقدر از هم فاصله دارند، گرانش آنها را با هم جفت می کند. به همین دلیل گرانش مهمترین نیرو در میان اجسام بسیار بزرگ است. که حتی در میان خورشید و سیاراتش و همچنین در داخل کهکشانها، این نیرو وجود دارد. و همچنین، گرانش انبساط جهان را نیز تحت کنترل خویش دارد.

گرانش نخستین نیرو با یك رابطهٔ دقیق ریاضی بود: قانون جهانی گرانش نیوتون نشان داد که همان نیرو (گرانی) سقوط سیب به سطح زمین، سقوط دائمی ماه و سقوط سیّارات در مدارشان را تحت کنترل دارد. پرتو گرانش، یعنی امواج گرانشی به صورت مستقیم کشف نشده‌اند، هر چند که انرژی از دست رفته آن به صورت

غیرمستقیم اندازه گیری می‌شود[۱].

الکترو مغناطیسی نیرویی است که پیچیده‌تر از گرانش می‌باشد. به منظور جفت شدن با این نیرو، به بار الکتریکی نیاز است. بر خلاف انرژی که تمام ذرات دارای آن هستند، بار الکتریکی خصوصیتی است که برخی از ذرات دارند و بقیه فاقد آن می‌باشند. از آن جا که برخی از انواع ماده از نظر الکتریکی خنثی هستند، هیچ نیروی الکتریکی را احساس نمی‌کنند. همچنین بار الکتریکی با دو علامت مثبت و منفی ظاهر می‌شود که اگر هر دو از نظر عددی به یك اندازه باشند، یکدیگر را خنثی می‌کنند. نیروی الکتریکی میان ذرات می‌تواند از نوع گرانی باشد (برای بارهای مخالف) یا از نوع دافعه باشد (برای بارهای موافق). نیروهای مغناطیسی که همانند نیروهای الکتریکی در نهاد و وجود اجسام قرار دارند، اگر دارای حرکت بارها باشند، زیاد می‌شوند. همانند جریان الکتریکی منظم در داخل یك سیم پیچ یا اتمهایی که در سوزن یك قطب نما[۲] ، در یك راستا قرار گرفته‌اند. نیروهای الکترومغناطیسی همانند گرانشی، در فواصل زیاد عمل می‌کنند. میدانهای الکترومغناطیسی بر روی بادهای خورشیدی[۳] و پرتوهای کیهانی [و آب و هوای زمین] تأثیر می‌گذارند. آنها در بین کهکشانها گسترش می‌یابند، شکل گیری ستارگان را کنترل می‌کنند و اصل و خاستگاه اصلی انرژی از سیاهچاله‌ها را کاتالیزه می‌نمایند.

تمامی نوری که شامل پرتوها از رادیو موج در میان نور مرئی تا اشعهٔ ایکس است، از جنبش میدانهای الکترومغناطیسی تشکیل شده است. واقعیت شگفت آوری که در قرن نوزدهم صریحاً توضیح داده شد، همین مورد بود. تمام اختلافات آشکار میان انواع گوناگون پرتوها تنها از چگونگی سریع یا کند جنبیدن الکترونها، بسامد و یا طول موج نور نشأت می‌گیرند. توجه داشته باشید که نور در ذات خود از نظر الکتریکی باردار نیست و فقط با بار

---

۱ ـ پرتو گرانشی برای آشکار شدن، به سختی تولید می‌شود. امّا می‌دانیم که این پرتو وجود دارد. اندازه‌گیری بسیار دقیق ضربانها و تپشها در مدار ستارگان نوترونی از فقدان انرژی توسط پرتو گرانشی حکایت می‌کند. امواج گرانشی به گونه‌ای ضعیف در میان چگال‌ترین ماده ـ حتی در میان‌چگال ترین پلاسمای دنیای‌نخستین ـ واکنش می‌کنند. به دلیل این که امواج گرانشی خیلی سخت آشکار می‌شوند، امید کمی به آشکار سازی ذرات منفرد گراویتون وجود دارد.

2 - Compass. 3 - Solar Winds.

الکتریکی جفت می‌شود. نور از همان میدانهای الکترومغناطیسی شکل یافته است که عقربهٔ قطب نما را می‌گردانند و موهای سر شما را به صورت ایستاده نگه می‌دارند. همین حضور و حرکت اجسامی که بار الکتریکی دارند، این میدانها را ایجاد می‌کند.

الکترومغناطیس‌به همراه قوانین‌مکانیك کوانتومی، ساختار ابرهای الکترونی که بیشتر توده‌های اتمی را در مواد معمولی به وجود آورده اند، مشخّص می‌کند. این همچنین رفتار شیمیایی‌تمام اتمها و مولکولها و چیزهایی‌را که‌ما از آنها درست‌شده‌ایم‌تحت‌کنترل‌خود دارد.

نیروی قوی که همچنین نیروی «رنگ دینامیکی[1]» نیز نامیده می‌شود، از نظر ریاضی پیچیده‌ترین نیروهاست. اگر چه این‌نیرو، اعتبارمهمی‌برای‌ساختمان ماده دارد، در زندگی روزمره به طور مستقیم و واضح درك نمی‌شود. نیروی قوی بر خلاف بار الکتریکی منفرد، با یك «بار قوی»[2] مرکب‌و پیچیده که «رنگ»[3] نامیده‌می‌شود، جفت‌می‌گردد و در سه‌نوع‌مختلف‌می‌باشد: R(قرمز) G(سبز) و B(آبی)[4]. این بارها می‌توانند در یك ذرهٔ منفرد با یکدیگر ترکیب شوند و نیرو به این ترکیب بستگی دارد. نیروهای قوی می‌توانند از نوع جاذبه یا دافعه باشند. آنها حتی می‌توانند یك جانبه باشند. در بعضی جهات اغلب توأم و در برخی جهات دیگر جدا از هم هستند. نظر به این که تنها یك نوع فوتون وجود دارد (و آن یك نوع پرتو الکترومغناطیسی است)، رنگهای مختلف تنها در بسامد با هم اختلاف دارند. هشت نوع متمایز از گلئونها نیروی قوی را تشکیل می‌دهند، هشت نوع مختلف از «نور قوی» بر خلاف فوتونها. گلئونها خودشان بارهای رنگی را که با آنها جفت شده‌اند، حمل می‌کنند. به دلیل این که فوتونها از نظر بار الکتریکی خنثی هستند، دو پرتو نور به راحتی از میان یکدیگر عبور می‌کنند. نور هرگز از خود روشنایی ساطع نمی‌کند و تنها ماده می‌تواند این کار را انجام دهد. ولی گلئونها از نشر دیگر گلئونها به دست می آیند و خود همیشه گلئونهای دیگری را منتشر می‌سازند. این «خودواکنشی»[5]، نیروهای گلئونی مؤثری را در

---

1 - Chromodynamic. 2 - Strong Charge.

۳ـ واژهٔ «رنگ» حالت قراردادی دارد و منظور از آن رنگ معمولی و نوری نیست (م).

۴ـ این سه حرف لاتین، به ترتیب نمایانگر واژه‌های «red» «green» و «blue» هستند.

5 - Self - interaction.

یك محدودهٔ کوچك به وجود می‌آورد. آنها هیچ گاه از هم دور نمی‌شوند و به فواصل دور نمی‌روند. نیروهای قوی همیشه به خنثی‌کردن یکدیکر اقدام می‌کنند. این نیرو تنها در فواصل کوچك و انرژی ذره‌ای بالا عمل می‌کنند. این نیرو اندازه‌ها و اشکال هستهٔ اتمها و اجتماعات کوچك نوترونها و پروتونها (نوکلئونها) در مرکز اتمها را کنترل می‌کند. هستهٔ اتم بیشتر جرم اتم را شامل می‌شود. در واقع بیشتر جرم، از انرژی گلوئونیك درست شده است. این مطلب غیر منتظره به نظر می‌رسد که ما گلوئونها ـ را که ماده نیستند و نیرو می‌باشند ـ به عنوان تشکیل دهندهٔ بیشتر جرم اجسام تلقی کنیم. ذهن ما چقدر آرامش می‌یابد که مرزهای ناشناختهٔ طبیعت را بپذیرد!. نیروی قوی مشخص می‌کند که هستهٔ کدامین اتمها در طبیعت به طور پایدار وجود دارند و کدام عناصر شیمیایی می‌توانند وجود داشته باشند.

نیروی ضعیف، با بار پیچیده و به خصوصی جفت می‌شود که «هم‌اسپین»[1] ضعیف نام دارند. این‌نام‌پس‌ازمشاهدهٔ رفتار یك‌اسپین‌وابسته به‌ریاضی‌برگزیده‌شد. برخلاف گراویتونها، فوتونها و گلئونها و بوزونهای W و Z که نیروی ضعیف را منتقل می‌کنند، جرم دارند که به این نیرو یك برد بسیار کوتاهی می‌دهد. در واقع آن قدرکوتاه که واکنشهای ضعیف‌کاملاً به ندرت اتفاق می‌افتند و پرتو تولید شده از ذرات W و Z حتی نمی‌توانند به اندازهٔ کافی حرکت کنند تا از یك هستهٔ اتمی بگذرند. اگر چه نیروی ضعیف، ظریف و کُند است، بسیار حائز اهمیت می‌باشد. چرا که ذرات را در میان اشکال مختلف و تقریباً پایدار تغییر شکل‌می‌دهد (به عنوان مثال از نوترون به پروتون). این گونه نابودی، ترکیب هسته را تغییر می‌دهد و یك عنصر را به دیگری متحوّل می‌گرداند: پرتوزایی[2] تریتیوم که به عقربه‌های ساعت نیرو و توان می‌دهد، در حال نابودی از یك شکل‌هیدروژن‌سنگین به یك همجای (ایزوتوپ)[3] سبکترهلیوم می‌باشد.

شباهتهایی که در میان صفات این نیروها به چشم می‌خورد، شاید یك عمومیّت ژرف‌تری از آن چیزی را که تحت الشعاع خود دارند، منعکس کنند. در سطحی فراتر از دانش، تمامی نیروها ممکن است در نهایت به عنوان صورتهای مختلف یك نیروی واحد و منفرد شناخته شوند. در واقع مثل همان ارتباطی که پیش از این میان نیروی الکترومغناطیسی

1 - Isospin. 2 - Radioactive. 3 - Isotope.

و نیروی ضعیف ظاهر گردید و هر دو به عنوان نیروی «الکتروضعیف»[1] با هم متحد شدند. تقارن بنیادین میان این نیروها هم اکنون به علّت پدیده‌ای که «شکست تقارن اسپوتانئوس» نامیده می‌شود، قابل مشاهده است که مجموعهٔ میدانها را وادار به قرار گرفتن در سطح کمترین انرژی هدایت می‌کند که این‌سطح تقارن میان‌نیروها را رعایت‌نمی‌کند[2] . در چنین وضعیتی، برخی از میدانهای الکتروضعیف شبیه به فوتونها و میدانهای دیگر همانند بوزونهای سنگین W و Z هستند.

فرآیند فرعی مورد علاقه در طی این شکست تقارن این است که به ذرات جرم سکون می‌بخشدکه‌درغیراین‌صورت،بی‌جرم‌خواهندبود، همانند الکترون. هم‌اینك‌نظریه‌های زیادی برای وحدت و یگانگی با شکوه‌تر نیروها وجود دارند. نظریه‌های‌عمدهٔ وحدت، متوجه اتحاد میان‌نیروهای‌قوی‌و الکتروضعیف‌به‌وسیلهٔ همان‌طرح رایج‌برای‌یگانگی‌الکتروضعیف هستند. به نظر می‌رسد که وحدت با نیروی گرانش خیلی مشکلتر باشد و شاید مستلزم اتحاد نیروها با ماده باشد. در واقع این برای نیرویی‌مناسب‌است‌که با تمامی صورتهای انرژی‌جفت گردد.

انواع مادّه

سه خانوادهٔ (نژاد) شناخته شده از میدانهای مادی، هر یك با طرح یکسان وجود دارد. نخستین خانواده شامل تمامی انواع مختلف ذراتی است که مواد عادی روزمره را تشکیل می‌دهند. این گروه چهار نوع از ذرات را در بر می‌گیرد: دو نوع از کوارکها (کوارك بالا و پایین)، الکترون و نوترینو. تمامی اتمهای مواد شناخته شده از هسته‌هایی تشکیل شده‌اند که

1 - Electroweak.

۲ـ فرمول $E=mc^2$ که مبیّن هم ارزی جرم و انرژی است، نشان می‌دهد که مقدار زیاد انرژی با جرم معمولی ماده مرتبط است. موتوری که تمام انرژی سکون $E=mc^2$ را از گازوییل خودش دریافت می‌کند، یك بیلیون برابر کمتر از موتوری که فقط آن سوخت را به طور عادی می‌سوزاند، زمان صرف می‌کند. حتی انرژی هسته‌ای بازده کمتر از یك درصد mc^2 دارد. لذا، دستگاههایی وجود دارند مثل اخترونها و انفجارهای پرتو گاما که ده درصد یا بیشتر mc^2 انرژی گرانشی مواد سقوط کرده در حفره‌های سیاه را استخراج می‌کنند. اتومبیلی که بر پایهٔ این فن آوری باشد، با هر گالن یك بیلیون مایل خواهد پیمود.

به وسیلهٔ الکترونها محاصره گردیده‌اند و این الکترونها توسط نیروهای الکترومغناطیسی به یکدیگر مقید هستند. هستهٔ اتمها از بارهای الکتریکی مثبت موجود در پروتونها و نوترونهایی که از نظر بار الکتریکی خنثی هستند، به وجود آمده است. اینها (نوترونها) هم از سه کوارك به وجود آمده‌اند که به وسیلهٔ واکنشهای قوی «گلئونی» به هم مقید و محدودند. ذرات مادی با جرم و بار الکتریکی و نیروهایی که با آنها **جفت می‌شوند، مشخص می‌شوند. تمام این** ذرات، واکنشهای ضعیف و نیروی گرانشی را **احساس می‌کنند و بدین خاطر است که همگی** انرژی و اسپین ضعیف را نیز حمل می‌کنند. **در مورد نوترینوها، علت این که اینها تنها در** مقیاس خیلی کوچك و پدیده‌های موجود در مقیاس بزرگ نقش مهمی را ایفا می‌کنند، صرفاً نیروها هستند. از این موضوع فهمیده می‌شود که نیروهای کوتاه بُرد از واکنشهای ضعیف و نیروهای با بُرد بلند از گرانش هستند، ولی هیچ گونه نقشی در نظم پهناور پدیده‌های الکترومغناطیسی کیهان ـ از اتمها تا اختروشهای در حال فوران ـ بازی نمی‌کنند. الکترونها و کوارکها در عمل افزایش نیروی الکترومغناطیسی ظاهر می‌شوند و به این علت آنها بار الکتریکی حمل می‌کنند که آنان را درون اتم به هم مقیّد و محدود می‌سازد.

تنها کوارکها، نیروهای قوی را احساس می‌کنند. به علّت این که کوارکها بار رنگی حمل می‌کنند، در چندین رنگ وجود دارند. به دلیل بر همکنش خود به خودی خاصی که ویژگی نیروی قوی است، کوارکها همیشه در گروههای سه تایی در داخل نوترونها و پروتونها یا به صورت جفت در «پایون»ها[1] قرار دارند و هیچ گونه کوارك آزادی تا کنون گزارش نشده است. مجموع عددی کوارکها (منفی تعداد ضد کوارکها) در هیچ هسته‌ای بسادگی و توسط هیچ یك از نیروهای شناخته شده‌ای تغییر نمی‌کند. به همین دلیل است که ماده یك چیز ثابت و پایدار است و نابود نمی‌گردد. بنابراین مقدار هنگفتی انرژی ذخیره شده دارد[2]. مادهٔ معمولی، «جرم

1 - Pion.

۲ ـ یك تصویر یکپارچه در این مورد، مدادی است که بر روی سطح یك میز هموار روی نوك به حال تعادل درآمده باشد. مداد در یك راستای به خصوص می‌افتد و از پهلو روی میز قرار می‌گیرد. اینك علی رغم این که مداد و میز هیچ یك دارای تقارن در هیچ راستایی نیستند، تمامی نقاط مواد در یك راستا قرار گرفته‌اند. بخش هشت بیشتر از این، مطلب را پیگیری می‌کند.

باریونی[1]» نامیده می‌شود (از ریشهٔ یونانی به معنی «سنگین»). چرا که جرم آن توسط بار یونهایی همچون نوترونها و پروتونها محاصره شده است و تا کنون دیده‌ایم که ذرات اخیر نیز خود از کوارکها و گلئونها درست شده‌اند. ذرات سبکتر غیر کوارك متعلق به جسم معمولی یعنی الکترونها و نوترونها، به خاطر واژهٔ یونانی «سبك»، «لپتون[2]» نامیده می‌شوند. تمام اتمهای ماده در اجسامی که در پیرامونتان می‌بینید، مثل مواد موجود در ستارگان و گازهای اتمی موجود در بین آنها باریونی هستند.

طرح یکسانی در مورد بارها متوجه دو خانوادهٔ دیگر ذرات مادّی است. این گروه دوم شامل «ذرهٔ کوارك دلربا[3]» و «ذرهٔ کوارك شگفت[4]» و «میون[5]» و نوترینوهای متعلق به آن است. گروه سوم نیز کوارکهای «زیرین» و «زبَرین» و «لپتون تائو» و نوترینوهای آن است. تا این جا شش گروه کوارك، سه لپتون دارای بار الکتریکی و سه نوترینو وجود دارد. گروههای دوم و سوم هر دو سنگین تر از گروه نخست هستند و خیلی زود نابود می‌شوند و به گروه نخست تبدیل می‌گردند. به این علّت است که این دو گروه در زندگی روزمره یا به طور کلّی در کیهان شناخته شده نیستند. آنها به طور موقتی در شتاب دهنده‌های ذرات یا به صورت طبیعی در پرتوهای کیهانی به وجود می آیند ولی از زمان نخستین میلیونیم ثانیه انفجار بزرگ در طبیعت فراوان نبوده‌اند.

وحدت و الگوی استاندارد

تا آن جا که می‌دانیم این یك صورت کامل از تمام انواع ممکن ماده و تمام نیروهای ممکن موجود در میان آنهاست. چنین به نظر می‌رسد که این سری از اتفاقات دلخواه باشند. بویژه در هنگام درك هموار و دقیق از ریاضیات؛ ولی نشان دهندهٔ چگونگی کارکرد طبیعت است. ره‌آورد کامل این قوانین، توسط فیزیك دانان «مدل استاندارد» نامیده شده است. شاید این نام جذّاب به این امید برگزیده شده است که روزی توسط یك [عبارت] ساده‌تر و زیبنده‌تر تغییر کند.

جدول شمارهٔ سه، الگوی استاندارد ذرات و نیروها را به اختصار بیان می‌کند.

---

1 - Baryonic matter. 2 - Lepton. 3 - Charmel.

4 - Strange. 5 - Muon.

پدیده‌های واقعی که در قسمت پایین جدول فهرست شده‌اند، مثالهایی از مکانها و موقعیت مکانی هر نیرویی هستند که نقش تسلّط و چیرگی را در آن ایفا می‌کنند. تذکر این نکته مهم است که الگوی استاندارد به عنوان یك شاخص کامل، ذرات بنیادین و واکنشهایی را که در هر پدیدهٔ آزمایشگاهی قابل مشاهده هستند به طور مفصل شرح می‌دهد.

ممکن است به منظور توضیح دقیق تر و کاوشی عمیق‌تر بپرسیم که چرا این انتخابها تنها از میان میدانها و قوانین رخ می‌دهند. شاید تمامی این ساختارهای تصوری، (نظیر مواد و نیروها، مکانیك و فضا و زمان) فقط از طریق ریاضی به صورت ظهور یك ساختار مشخص و منفرد مجسم گردند. هم اکنون نظریه‌های ریاضی در پی یافتن یك نظریهٔ تمام شمول و حتی امیدبخش برای یك نظریهٔ پیشنهادی دیگر هستند. همه چیز حتی فضا ـ زمان و همه جا حتّی مناطق انرژی زای پیرامون سیاهچاله‌ها به عنوان اجسام رشته مانند کوانتومی توضیح داده می‌شوند. هر نظریه‌ای برای موفقیّت باید با برداشت فیزیکی که ما از الگوی استاندارد داریم، موافق و همسو باشد. ولی اگر تجربهٔ گذشته نیز راهنمایی هر چند اندك بکند، ساختار باشکوه‌تر ریاضی در زمینهٔ نظریهٔ جدید، چیزهایی را پیش گویی می‌کند که تا کنون کشف نشده‌اند. ممکن است که ذرات و نیروهای دیگری به‌عنوان مکمل و ضمیمهٔ الگوی استاندارد در آینده یافته شوند. این یك توجیه مهم برای مطالعهٔ دقیق در علم کیهان شناسی است که یك گسترهٔ قابل اطمینانی را برای یافتن نشانه‌ها و علائم تازه در فیزیك جدید مهیّا می‌سازد. به عنوان مثال، ظاهراً از میدانهای جدید این گونه انتظار می‌رود که شرایط اولیه جهت انفجار بزرگ ـ یعنی همان ارتعاشات و امواجی که هستهٔ اولیهٔ ساختارهای کیهانی را شکل دادند ـ، توضیح دهنده و همچنین ممکن است که انواع جدیدی از مواد غیر بارِیونی قابل مشاهده‌ای که شاید بیشتر جرم جهان را در بر دارند، [توسط همین میدانهای جدید] شرح داده شوند.

عدد بسیار کوچك $۱۰^{-۳۸}$، مربع نسبت جرم پروتون به جرم پلانگ است که به تمامی اعداد خیلی بزرگ و کوچك در اختر فیزیك می‌انجامد. به عنوان مثال، یك‌ستاره در حدود $۱۰^{۵۷}$ ـ $(\frac{m_p}{m_{proton}})^{-۳}$ اتم‌دارد و تقریباً معادل زمان پلانگ از عمر آن‌می‌گذرد. جهان نیز شامل $(\frac{m_p}{m_{proton}})^{-۴}$ اتم است. اصل و مبدأ این رقم در فیزیك پایه، یك رمز باقی می‌ماند (یعنی دلیل این که چرا نیروی گرانی، این قدر ضعیف است).

جدول ۳ـ نیروهای طبیعت، انواع ماده و زوج گیریهای آنها در الگوی استاندارد

	نیرو	گرانش	الکترو مغناطیس	هسته‌ای قوی	هسته‌ای ضعیف
	ذرات نیرو:	گراویتونها	فوتونها	هشت گلئون	بوزونهای $W^{\pm}$ و Z°
	پرتو:	امواج گرانشی	نور	محدود شده	کوتاه بُرد
	بار جفت شده:	تمام انرژیها	بار الکتریکی	بارهای رنگی (R.G.B) SU(3)	هم اسپین ضعیف SU(2)
	ذرات مادّی:				
۱	کوارك زبَرین	$10^{-38} \times \left(\frac{\text{انرژی}}{m_{\text{proton}}\, c^2}\right)^2$	$\frac{1}{137} \times \frac{2}{3}$	10^{-1}	10^{-2}
۱	کوارك زیرین	۰	$\frac{1}{137} \times \frac{-1}{3}$	۰	۰
۱	الکترون	۰	$\frac{1}{137} \times -1$	۰	۰
۱	نوترینو	۰	۰	۰	۰
۲	کوارك دلربا	۰	۰	۰	۰
۲	کوارك شگفت	۰	۰	۰	۰
۲	میون	۰	۰	۰	۰
۲	نوترینوی میون	۰	۰	۰	۰
۳	کوارك بالا	۰	۰	۰	۰
۳	کوارك پایین	۰	۰	۰	۰
۳	لپتون تائو	۰	۰	۰	۰
۳	نوترینوی تائو	۰	۰	۰	۰
	پدیده‌ها:	ستارگان منظومهٔ شمسی کهکشانها جهان	نور مرئی اتمها مولکولهای شیمی زیست شناسی	هستهٔ اتم انرژی هسته‌ای	واپاشی رادیواکتیو شکل گیری عنصر

این جدول تمامی انواع مواد و نیروهای طبیعت را نشان می‌دهد. هر میدان و هر عمل زوج گیری شبیه یك موضوع ریاضی در سیستمی از هم ارزیها هستند که به همراه الگوی استاندارد برای فرآیندهای اولیه توضیح می‌دهند. ردیف بالا به نام نیروهای بنیادین و ذرهٔ مربوط به هر یك و پرتو گرانش و الکترومغناطیس و بارهایی که با آنها ترکیب می‌شود اشاره می‌کند. ذرات مادّی در سمت راست فهرست شده‌اند و اندازه‌های تقریبی زوجها با هر نیرو به صورت عددی در جدول وارد شده‌اند. این زوجها تا اندازه‌ای به انرژی بستگی دارند. بنابراین، این اعداد تقریبی می‌باشند. به ضعفی که وابسته به نیروی گرانش است، توجه داشته باشید. علامتهای (۰) نشان دهندهٔ یك حالت مشابه هستند. دقت کنید از بین سه نژاد یا خانواده، ذرات مادی تنها نخستین و سبکترین آنها در مواد عادی و روزمره رایج هستند. هر گروه کوارك که در این جا فهرست شده، در سه رنگ می‌آید. ویژگیهای این ذرات و فرآیندهای آنها، بیان کنندهٔ صفات و خصوصیّات هسته‌ها و اتمهای موجود در جدول تناوبی هستند. پدیده‌ها و رخدادهای مربوطه در انتهای جدول، نمونه‌هایی از نقشهای طبیعی هستند که هر نیرو طبق قانون خاص بر جسته‌ای ایفا می‌کند.

دنیای کلان

بر طبق قوانین الگوی استاندارد، ذرات موجود در طبیعت، یکدیگر را حمل می‌کنند و با هم توافق دارند. سلسله مراتب و انواع رفتارهای ممکن، نمایش داده شده توسط هر چیزی، از ستارگان گرفته تا اختروشها به منظور اجتماع در یك نقطه از زوج گیری آنها برای تبدیل به ماده و نیروهای الگوی استاندارد نتیجه می‌شوند. تمام اجسامی که در زندگی روزانه‌مان ما را در بر گرفته‌اند، ـ نظیر هوایی که تنفس می‌کنیم و مغز و بدنمان ــ از اتمها درست شده‌اند. کلیهٔ انواع مختلف اجسام شیمیایی از تنوع شیوه‌هایی به وجود می‌آیند که با استفاده از این روشها، ذرات بنیادین می‌توانند به یك ساختار پایدار دست یابند که [این شیوه‌ها] یا همچون پروتئینها پیچیده‌اند و یا مثل DNA ، خیلی جالب توجه و شگفت انگیزند. طبیعت و سرشت فرآیندهای فیزیکی، تعیین می‌کنند که چه نوع وقایعی می‌توانند رخ بدهند یا ندهند؛ نه این که همه چیز امکان دارد. به عنوان مثال، می‌توان به این حقیقت اشاره کرد که گرانش آن قدر ضعیف‌تر از دیگر نیروهاست که مسؤول اندازه‌های غول پیکر ستارگان و سیّارات است. در عوض، ضعف و سستی گرانش، مسؤولیّت بسیاری از موجودیتهای جهان بزرگ و کلان را بر عهده دارد. مثلاً این که چرا جهان می‌تواند حجم فوق العاده زیادی از چرخه‌ها و مقیاسها را در عرصهٔ فضا و زمان در اختیار گیرد و این که به چه علّت می‌تواند بیشتر از یك اتم منفرد را شامل باشد.

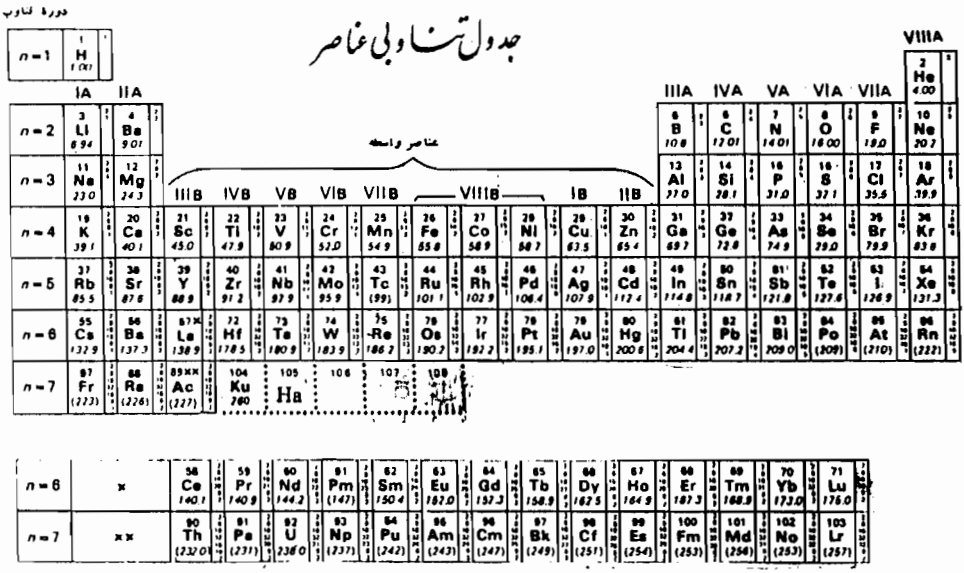
تنوع اشکال پایدار از «**تعادل دینامیکی**»[1] سرچشمه می‌گیرد: برخی از نیروها، اجسام را به طرف همدیگر می‌کشند. ولی نیروهای دیگر و حتی خود مکانیك کوانتوم، به از هم پاشیدن آنها تمایل دارند. به یاد داشته باشیم که هر چه حجم محدود یك ذره کوچکتر باشد، سریعتر حرکت می‌کند و نیروی مورد نیاز برای محدود کردن آن بیشتر می‌گردد. ذرات، واسطهٔ شکل‌دهی های بسیاری هستند، که به تنهایی مایل به پایین ترین تراز انرژی هستند، در

1 - Dynamic balance.

حالی که انرژی محدود شده فقط با تمایل مکانیك کوانتوم به از هم پاشیدن اجسام موافق و همسو است. بنابراین، نیروهای جاذبه به طور خودکار به ساختارهای پایدار در مقیاسهای کوچك شکل می‌دهند که در آنها، هسته‌ها و اتمها مثالهایی هستند که در همه جا حضور دارند. نیروی الکتریکی، الکترون را به هسته مقیّد می‌کند. امّا اگر خیلی به هم نزدیك شوند، قوانین مکانیك کوانتوم، آنها را وادار می‌کند که انرژی بیشتری در اختیار بگیرند تا در مقابل تراکم بیشتر، از خود مقاومت نشان دهند. وجود یك نقطهٔ پایدار در جایی که این تمایلات به حالت تعادل برسند، دلیلی است بر این که چرا اتم یك اندازه دارد و چرا اجسام جامد، جامدند. شب هنگامی که به خانه باز می‌گردید، این قوانین مکانیك کوانتوم هستند که از شما می‌خواهند در را باز کنید تا بسادگی از میان آن بگذرید. نظم و قاعدهٔ ریاضی حاکم بر نیروهای بنیادین، نظم و ترتیب ساختارهای پایداری را که شکل می دهند رهبری و هدایت می‌کنند. این نظم و ترتیبات ویژه، در جدول تناوبی عناصر در شکل سه منعکس گردیده است که ترتیبات خارجی‌ترین لایه‌های الکترونی را در اتمها طبقه‌بندی کرده است.

یك نقشهٔ خیلی بزرگتر، می‌توانست ترتیبات و ترکیبات ممکن اتمها را برای تبدیل به مولکولها نشان دهد. ولی با رشد اندازهٔ مولکولها، تعداد احتمالات نیز غیر قابل شمارش می‌شود. وفور همین توانایی و استعداد، سرچشمهٔ حیات است. حیات، به نیروی بنیادین مادیگری در طبیعت نیست. ولی از تنوّع باور نکردنی شیوه‌هایی که اتمهای معین می‌توانند با یکدیگر فرآیند انجام دهند، ناشی می‌گردد. الگوهای ابرهای الکترونی در اتمهای مواد زنده، چیزهای قابل انعطاف بی شماری را شکل می‌دهند ولی به صورت ثابت و پایدار و چیزهای وابسته و متحرك همانند مفاصل و فنرهای فشرده. از این رو، این اتمها اغلب پروتونهای معمولی یا هسته‌های دارای یك بار الکتریکی (هیدروژن)، هسته‌هایی با شش بار الکتریکی (کربن) و هسته‌هایی با هشت بار الکتریکی (اکسیژن) به علاوه عناصر دیگری با نسبتهای کمتر ـ ، جزئیات بی شمار ساختار مولکولی دستگاههای حیاتی را به وجود می آورند که شامل مولکولهایی است که به عنوان رایانه‌های مینیاتور یا آدم‌واره‌ها[1] به منظور رمزی کردن

1 - Robot.



شکل ۳ ـ جدول تناوبی عناصر: هر نمونه مشابه با یك عنصر شیمیایی است. بار الکتریکی درون هسته توسط تعداد پروتونها مشخص می‌شود. عناصر موجود در یك ستون، در ویژگیهای شیمیایی و الکترونهای لایهٔ خارجی خود دارای شباهت هستند. ساختار این نقشه، به وسیلهٔ مکانیك کوانتومی مشخص می‌گردد، ــ واکنشهای الکترومغناطیسی الکترونها با هسته و با یکدیگر. ویژگیها در این مقیاس، طبقه بندی استعدادها و کارآییهای مهیّا برای طبقه بندیهای بزرگتری همچون مولکولها و سلولهای زنده را معین می‌کنند. به این نکته توجه کنید که جرمهای اتمی، اعداد کاملی نیستند؛ به این دلیل که آنها بازگو کنندهٔ ترکیبهایی از همجاها (ایزوتوپها) هستند که به وقایع تصادفی تاریخ کیهان بستگی دارد.

اطلاعات ماشینی، عمل می‌کنند. و [اتمهای دیگر] که در واقع بدنهٔ آن را به وجود می‌آورند و دیگران که به عنوان سرچشمهٔ انرژی برای نیرو دادن به دستگاه عمل می‌کنند.

البته اینها تنها در حکم پیچ و مهره‌های دستگاه هستند و این واقعیت شگفت انگیز که چگونه این ساختمانها سرهم‌شده‌اند و شکل خود را پذیرفته‌اند، توضیح نمی‌دهد. این یك جنبهٔ تاریخی است که از علم کیهان شناسی ناشی شده. فیزیك مشخص می‌کند که چه چیزی می‌تواند روی دهد. ولی به طور کلی توضیح نمی‌دهد که واقعاً چه چیزی در بطن آن نهفته است.

انبساط کیهان

حرکت کلی و نهایی جهان، انبساط آن است. اگر دید وسیعی نسبت به جهان به دست آورید، آن را متشکل از گروههایی از کهکشانها که از هم می‌گریزند می‌بینید. کهکشان جرم بزرگی است که شامل بیش از یك بیلیون ستاره می‌باشد.(بیش از یك بیلیون ستاره را در خود جای داده است). امّا با وجود این، در قبال جهانی که شاهد آن هستیم، خیلی کوچکند. جهانی که ما می‌بینیم، شامل حدود یکصد بیلیون کهکشان است. مطابق این تصویر، جهان مانند توده‌ای از کهکشانهای در حال انبساط است. این عقیده در دل نتیجه گیریهای الگوی انفجار بزرگ قرار دارد.

آیا همه چیز انبساط می‌یابد؟

نظریه‌ای که بیان می‌کند جهان همچنان در حال انبساط است، در ابتدا عجیب به نظر می‌رسید. چرا که ما عادت کرده‌ایم جهان را بر پایهٔ مقیاسهای کوچك و آرایش درونی کم و بیش پایدار دستگاههای مادی مثل سیارات و کهکشانها بشناسیم. ماده در حال انبساط نیست. من و شما دستگاههای پایداری از اتمها هستیم. منظومهٔ شمسی نیز انبساط نمی‌یابد و این نظم پایدار سیّارات به خاطر گرانش خورشید است. به خاطر گرانش مذکور آنها بر روی

مدارهایشان نگه داشته می‌شوند. این سیّارات در حال حرکتند و البته مسیر حرکت امسال و سال آیندهٔ آنها یکسان است. به طور مشابه کهکشانها دستگاههای گرانشی پایداری از ستاره‌ها و سایر مواد هستند. حتی خود کهکشانها تا اندازه‌ای در حلقه‌ها و در گروههایی بر روی مدارشان حرکت می‌کنند. امّا در مقیاس بزرگ، یك حرکت بسیار مبهم تصور می‌کنیم که شما می‌توانید میانگین کلی حرکت تعداد زیادی از کهکشانها را محاسبه نمایید. تودهٔ کهکشانها از هم می‌گریزند و هر قطعه از دیگری دور می‌شود.

این حرکت، به یکپارچگی نزدیك ماده در مقیاسهای بزرگ و به این حقیقت که همهٔ جهات در فضا معادلند، مربوط می‌گردد. طرح انبساط به صورت یکپارچه پیش می‌رود و یك منظومه در حال انبساط یکسان می‌تواند بدون انتخاب در یك مسیر خاص هماهنگ حرکت کند یا بایستد (اگر چه با زمان کاهش می‌یابد). سطح مقطع و حرکت وضعی، جهتی را در فضا انتخاب می‌کند و تراکم و انبساط ناهماهنگ باعث انحراف ازچگالی‌یکنواخت می‌شود.

لذا؛ انبساط یك اثر از سادگی جهان در مقیاسهای بزرگ و زمان اولیه می‌باشد. این ساده ترین راهی است که جهان می‌تواند طی کند. در زمانهای بسیار دور و در نزدیکی انفجار بزرگ، جهان در مقیاسهای خیلی کوچکتر، به صورت یکپارچه بوده است و حتی آن قطعه های خیلی کوچك از هم می‌گریختند. امروزه در مقیاسهای کوچك، ماده درون سیستم پایداری منجمد شده است که بیش از این انبساط نمی‌یابد. زیرا آن سوی زمینهای کوچکی که خیلی سریع انبساط نمی‌یابند، نیروهایی در مقابل انبساط مخالفت می‌کنند. در این مقیاسهای کوچك، اشیا هماهنگ‌تر و یکپارچه تر نیستند. ماده در توده‌های پایدار کهکشانها و محتویاتشان جای می‌گیرد که از یکدیگر فرار می‌کنند که البته خودشان انبساط نمی‌یابند.

آیا ما در مرکز جهان هستیم؟

این گونه به نظر می‌رسد که ما در مرکز جهان قرار داریم. امّا از این پس خواهیم دید که از هر کهکشانی در هر زمان و مکانی دوریم. عجیب این است که مرکز جهان هر جایی هست و هیچ جا نیست.

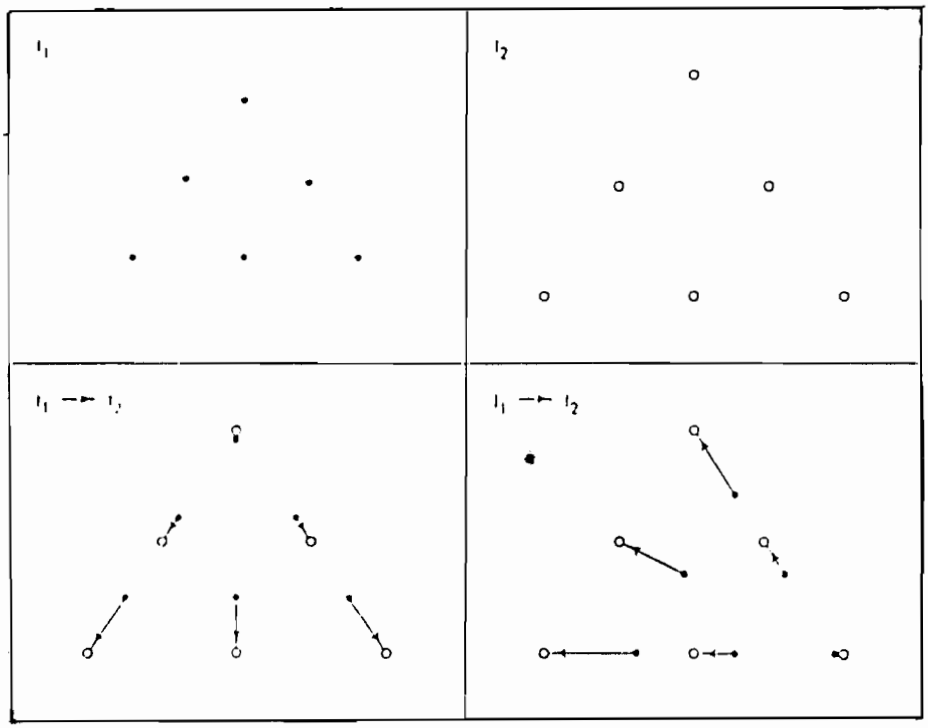
فضا سه بُعدی است که البته تجسّم انبساط در دو یا حتی سه بُعد فضایی آسانتر است. برای مثال فرض کنید یک نوار لاستیکی کشیده شده با مهره‌هایی بر روی آن که نشان دهندهٔ کهکشانها هستند، می‌بینیم که هر مهره از دیگری دور می‌شود. در حالی که هیچ کدامشان در مرکز نیستند. نوار لاستیکی می‌تواند کشیده شدن را تا حد نامشخصی ادامه دهد و هر نقطه می‌تواند نسبت به دیگری «مرکز»[1] باشد. همچنین به یاد داشته باشیم که دو مهره‌ای که از هم دورترند، سریعتر از یکدیگر می‌گریزند.

شکل ۴، وضعیت مشابهی را نشان می‌دهد. امّا این جا انبساط در دو بُعد و طرح نقاط در دو زمان مختلف نمایش داده شده است. طرحها یکسانند به جز آن که هر یک نسبت به دیگری اندکی بزرگتر شده است. وقتی که طرحها را بر روی هم قرار می‌دهید، منظومه یك مرکز ظاهری معینی دارد که هر کدام از دیگر نقاط منظومه می‌تواند در مرکز قرار بگیرد. امّا شما می‌توانید مراکز دو نمونه را روی یک نقطهٔ مختلف دیگر تنظیم کنید. وقتی این کار را کردید، درمی‌یابید که مرکز را روی هر نقطه‌ای که انتخاب کنید، انبساط ظاهری صورت می‌گیرد و طرحها تغییر نمی‌کنند. برداشت شما از حرکت یا عدم حرکت است که تغییر می‌کند. در این جا نیز همین طور که در الگوی نوار لاستیکی بین دو زمان، بیشتر نقاط دور دست از هم دور می‌شوند. یعنی این که آنها سریعتر از هم دور می‌شوند.

جهان واقعی درست همانند این مثالهاست. البته یك بُعد بیشتر دارد. یك تکهٔ نازك در فضا در هر جهتی و وضعیتی شبیه به تصویر چهار مشخص خواهد شد. هر تونل باریك در میان جهان با حرکتی مانند نوار لاستیکی کشیده آشکار خواهد گردید، تنها به علّت این که همه چیز از ما دور می‌شود، پس می‌گریزند. نمی‌توان نتیجه گرفت که ما در مرکز جهان قرار داریم. تقریباً می‌توان گفت که هر نقطه‌ای مرکز عالم است. (یا به عبارتی دیگر هیچ نقطه‌ای مرکز نیست). چرا که مرکزی به طور مطلق و کامل وجود ندارد. هر نقطه‌ای احساس می‌کند که دنیا در حال انبساط در پیرامون خود اوست. پس این گونه برداشت می‌کند که خودش مرکز جهان است.

---

۱ ـ خوب نیست بگوییم مرکز یك نوار لاستیکی مدوّر است. چرا که این نقطهٔ خارج نوار است که خارج جهان می‌افتد. در مثال تك بعدی شما ناچارید تصور کنید که مهره‌ها تنها می‌توانند در طی نوار دیده شوند نه در خارج از آن.



شکل ۴ـ انبساط یك دنیـای دو بعدی. گروهی از نقاط کـه بر چسب t_1 هستند، نسخهٔ بزرگ شدهٔ گروهی که بر چسب t_1 دارند، می‌باشند و نشان دهندهٔ همان ناحیه یا فضایی از جهان در لحظهٔ بعدی است. می توانید هر نقطه را با نقطهٔ مقابلش تنظیم نمایید و شاهد دور شدن سایر نقاط از آن باشید. هر چه فاصلهٔ آنها از هم بیشتر می‌گردد، در فاصله زمانی t_2-t_1 سرعت دور شدنشان افزایش می‌یابد.

جهان تا کجا انبساط می‌یابد؟

آیا جهان مرز دارد؟ شاید، ولی لزومی نـدارد. ممکن است که جهان حالت انبسـاطی خود را حفظ کند و تمـام فضا حالت وسیعتر شدن خـود را ادامه بدهد. بدون این کـه ماهیت محکم و ریشه داری برای میزان بزرگی فضا باشد. جهان در تمام جهات بـه سـوی بی‌نهایت میل می‌کند و یـا ممکن است از ورای خود بسته شود؛ مـانند نوار لاستیکی یا سطح بـالن که

انحنا دارد[1] . در هر حالت، انبساط فقط به عنوان تجسّمی است که از درون معنی دارد و خارج از آنچه دیده می‌شود، چیزی وجود ندارد.

امکان دارد جهان مرزی داشته باشد، امّا باید دور باشد. در آن سوی قسمتی از جهان که ما می‌توانیم ببینیم. تا کنون نشانه‌ای از وجود مرز ندیده‌ایم یا واقعاً هر تبدیل حقیقی از راه اشیا در جهان و پیرامونمان است. اگر انفجار بزرگ مانند منفجر کردن قطعه‌ای باشد که قطعات آن از یکدیگر دور می‌شوند، پس آنچه که ما می‌بینیم، درون انبساط حاصل از انفجار بزرگ نهفته است.

جهانی که می‌توانیم مشاهده کنیم، مرزی دارد که به علت محدودیّت سنّی آن، فقط می‌توانیم فاصلهٔ معینی از فضا را ببینیم. همچنان که در فضا کنکاش می‌کنیم، در حال مشاهدهٔ گذشتهٔ فضا در طول زمانی هستیم که نور آن فاصله را طی کرده است. ـ دو ثانیه تا ماه، حدود هشت دقیقه تا خورشید، سالها یا هزاران سال تا ستاره‌ای در کهکشان خودمان و حدود دو میلیون سال تا دورترین چیزی که می‌توانیم بدون تلسکوپ ببینیم فاصلهٔ زمانی وجود دارد ـ. (دورترین فاصله برای چشم غیر مسلّح، کهکشان امراة المسلسله[2] است) . بیشترین فاصله‌ای که با هر وسیله‌ای می‌توانیم بر طبق اصول ارسال نور مشاهده کنیم، نشان می‌دهد که ما اندکی پس از انفجار بزرگ قرار داریم و این نور بوده که همراه با تاریخ، جهان را پیموده است. ما هرگز دورتر از این را نمی‌توانیم ببینیم. یا به بیان دیگر ما برای دیدن مثلاً حدود یك‌سال نوری باید یك سال در انتظار بمانیم. زیرا سنّ جهان که حدود ۱۲ تا ۱۵ بیلیون سال است، واقعیت انبساط جهانی را تأیید می‌کند. بیشترین فاصله‌ای که در حال حاضر مطابق اصول می‌توانیم

---

۱ - در این جا ممکن است یك بُعد چهارم برای فضا (البته نه مثل بُعد چهارم زمان که پیش از این شناختیم)، وجود داشته باشد که در میان سه مختصهٔ دیگر، انحنا یافته است. اگر چه این بُعد به اندازهٔ سه مختصهٔ دیگر قابل مشاهده و ملموس نیست، بر روی سطح انحنا یافته همان بالن ساکن است. در دنیای بسته اگر به اندازهٔ کافی در یك راستا حرکت کنید، به مکان اولیهٔ خود برمی‌گردید (البته از پشت). بدون هیچ گونه برخورد و مواجهه و تحول در زمان، اگر قطر انحنا به اندازهٔ کافی بزرگ باشد، مشاهدهٔ آن به دلیل بزرگ بودن سطح کره مشکل است. چرا که هر قطعهٔ کوچك از سطح کرهٔ بزرگ به صورت یك سطح صاف و هموار است. همچنین ممکن است با انحنای منفی یکنواخت، یك مختصات سه گانهٔ فوق کروی Hyperspher داشته باشیم.

2 - Andromeda.

ببینیم، کمتر از حدود بیست تا سی‌بیلیون سال‌نوری است. در این صورت جهانی‌که می‌توانیم ببینیم، مرزی دارد. ولی بیشتر از نوع زمان است تا مکان. در حال حاضر در عمیق ترین تصاویر، شاهد شکل گیری دقیق تعداد زیادی از نزدیکترین کهکشانها هستیم. شگفت انگیز این است‌که در خارج حجمی‌که می‌توانیم ببینیم، فضا همچون‌مکانهای‌دیگر است. به عبارت دیگر مملو از کهکشانهایی است که همه جا پراکنده شده‌اند ـ بدون هیچ علامتی از مرز.

پیش از انفجار بزرگ چه اتّفاقی افتاده است؟

این پرسش را می‌توان از دو دیدگاه بررسی کرد. یکی در مورد ساختار انبساط فضا و دیگری در مورد خود زمان. دانش و آگاهی ما از نزدیکترین لحظات به انفجار بزرگ کاملاً روشن نیست. تا حدی همه به خاطر این که تمام پیچیدگیهای فیزیکی از جمله مسألهٔ زمان در فیزیك را نمی‌دانیم.

چرا انفجار بزرگ رخ داده است؟ فرضیه‌ای پیشنهاد شده که می‌گوید در فضای فاقد خلأ فیزیکی، اثر دافعهٔ شدید متقابل گرانشی گسترش می‌یابد. این دافعهٔ انرژی جهان را پس می‌دهد و باعث انبساطی می‌شود که انفجار بزرگ را شروع می‌کند. طبق این عقیده، چیزی که انفجار بزرگ را آغاز کرده است، یك ذرهٔ میکروسکپی ترکیب شده در خلأ بوده است. با فرض وجود این ذره، باید انفجار بزرگ به خاطر نیروهای فیزیکی بوده باشد.

بسیاری با نظریه‌های تورّم آشنا می‌باشند و به خوبی پذیرفته شده‌اند. اعتقاد به دافعهٔ گرانشی خلأ، به نخستین مقالات انیشتین باز می‌گردد و ارتباطش با انبساط کیهانی به وسیلهٔ آرتورادینگتون[1] در سال ۱۹۳۰ م. ایجاد گردید (تقریباً به همان زودی انبساط شناخته شد). حمایت اولیه از نظریهٔ گرانشی انیشتین و عقیده به یك خلأ برانگیخته در فیزیك جدید خوب جای گرفت ـ در واقع این جایگیری، محور یا به عبارتی پایه و اساس نظریهٔ تورم گردید ـ امّا علی رغم‌بسیاری از نظریه‌های نوین در مورد این‌که چطور تورّم بر روی جزئیات‌کار خواهد

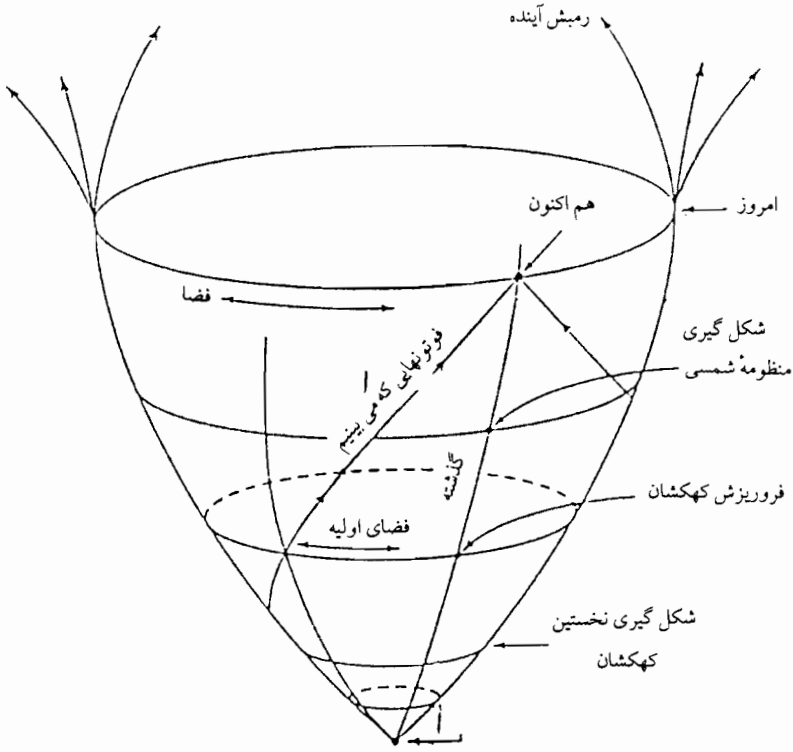
1 - Arthur eddington.

کرد، هیچ الگوی استانداردی که نشان دهد نخستین ذرهٔ کوانتومی از کجا آمده است، وجود ندارد. این مطلب تا اندازه‌ای تعجب آور است و از نظر فیزیکی مهم است. به هر حال تمام اطلاعات آن زمان از دست رفته است. به عبارت دیگر جهان از اطلاعات آن ذره و به میل خود ساخته شده که می‌توانیم آن را به هر چیزی که تا به حال روی داده است، نسبت دهیم و ذره تقریباً بی ربط است و از هیچ راهی برای درك وجود آن امکان ندارد. نباید نگران این موضوع باشیم، بلکه باید همچنان ادامه دهیم.

آیا خود زمان آغازی دارد؟ ممکن نیست زمان در جهت گذشته، بی نهایت باشد. ـ بر اساس آنچه پایه و اساس تجربهٔ ما قرار گرفته، زمان همانند هر چیز دیگری است. همان طوری که همواره برای فضا وجود یك مرز الزامی نیست. (نزدیکترین لحظه پیش از پیدایش هر چیزی، مرز نام دارد). به عبارت بهتر، تصوّر برگشت به زمان گذشته (یا عقب)، کاملاً قابل تجسّم است. تصوّرات پیشین یا پس از زمان انفجار بزرگ معلوم نیست. وقفهٔ زمانی باید مفهوم درستی در فیزیك عام داشته باشد. ما تا به حال تناقض مربوط به نظریهٔ زمان را در فواصل خیلی کوچك به اثبات رسانیده‌ایم. وقتی که به دقت به آغاز نزدیك شویم، نمی‌توانیم از مفهوم زمان استفاده کنیم. زمان و فضا هر دو مفاهیمی هستند که تنها برای دستگاهی که اندازه و مدّت معین کوچکی دارد، معنی می‌دهد. نظریه‌هایی برای توصیف چیزهای کوچکتر و کوتاه‌تر وجود دارد، البته هنوز بر خلاف واقعیّت، آزمایشی صورت نگرفته است.

ضمن مقایسهٔ این پرسش با نظریه پردازی قرون وسطی در مورد آنچه در مرزها یا حاشیه‌های جهان اتفاق می‌افتد، می‌بینیم کسانی که طرفدار مسطح بودن زمین هستند، با هر یك از این دو مسأله یعنی بی انتها یا محدود بودن جهان مواجه می‌شوند، در صورتی که طرفداران گرد بودن زمین، تنها با یك مرز سر و کار دارند. پرسیدن این که پیش از انفجار بزرگ چه پیش آمده است، می‌تواند شبیه به این پرسش باشد که «در شمال قطب شمال چیست؟». گستاخانه است که فرض کنیم فقط به این علّت که آنها برای بحث کردن در زمینهٔ ماهیّت زمان مناسبند، به کار می‌روند.

چنانچه بخواهیم مختصات دیگری را اعمال نماییم، باز هم ساختار چهار بُعدی‌فضا ـ زمان می‌تواند در نظر گرفته شود. شکل ۵، نمایی محدود در مورد توصیف‌کامل فضا ـ زمان



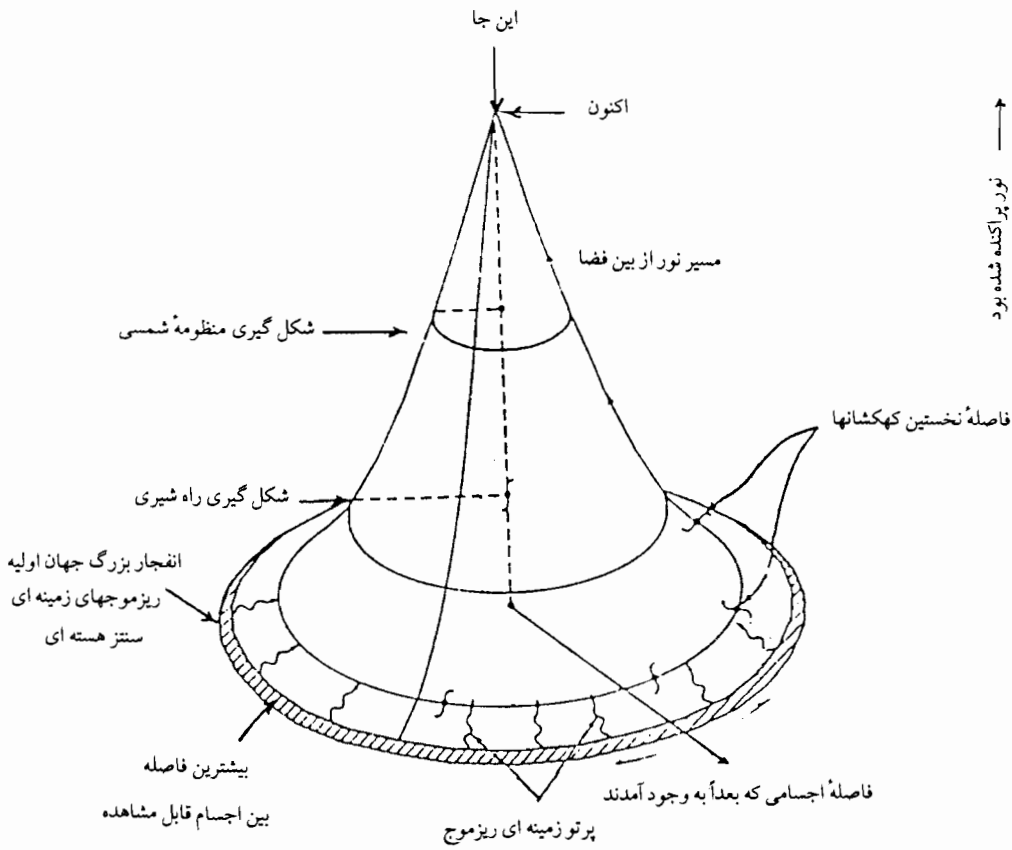
شکل ۵ـ فضا ــ زمان انبساط یافتهٔ دنیا. سطح نشان دهندهٔ تاریخ گذشته تمام فضاست. پیشرفت زمان به صورت عمودی است. به این ترتیب که انفجار بزرگ در پایین و آینده در بالاست. فضا نیز در سطوح افقی و همزمان با گسترش جهان پیش می‌رود و بخشهای معیّن آن در حال دور شدن از هم هستند. در این جا به علّت این که امکان نمایش هر سه مختصهٔ فضایی وجود ندارد، تنها یکی نمایش داده شده است. این، تصویر به ویژه یك الگوی خاصی از فضای معین را نشان می‌دهد، «فوق کرات» که به روی خودشان بر می‌گردند، جهان باز واقعی نیز به همین صورت انبساط می‌یابد. ولی مثل این شکل دوباره به روی خودش شکفتن نمی‌کند. خط زمانی یك کهکشان، به تنهایی در روی یك نوار عمودی در حال انتشار است و فوتونها به صورت مورّب در حال حرکتند. در حقیقت، یك تکهٔ کوچك از این فضا ـ زمان، دقیقاً مثل نمودار موضعی فضا ــ زمان به چشم می‌خورد. موقعیت کنونی‌ما و شکل‌گیری منظومهٔ شمسی و کهکشان و همچنین محدوده‌ای که توسط تلسکوپ مورد بررسی قرار می‌گیرد، مشخص گردیده‌اند.

از انبساط فضا را نمایش می‌دهد. این‌به‌صورت‌منحنی‌است‌و مسیر نور از میان‌منحنی، فضایی است که انبساط یافته و در طول این سطح می‌باشد. در این تصویر، ابتدای‌جهان مانند نقطه‌ای از اجرامی که در ابتدا به هم چسبیده بوده‌اند، ظاهر می‌گردد. بخشهای سطح بالای این نقطه نشان‌می‌دهندکه هر دایره از دایرهٔ پیشین بزرگتر است و هرکدام از آنها تمام‌فضا را در زمانهای متفاوت نشان می‌دهند نه این که نشان دهندهٔ دو یا سه بُعد از فضا باشند. البته مقیاسها بسیار بزرگ هستند ـ قطعه‌های امروزی دست کم محیطی معادل ده‌ها بیلیون سال نوری دارند.

شکل ۶ نیز انبساط را در نظر می‌گیرد و یك بخش متفاوت از میان‌مکان ـ زمان را ارائه می‌دهد. موقعیت کنونی اشیا در زمانهای مختلفی در گذشته به نظر می رسد. مخروط نور، راهی برای نمایش گذشته است. رویدادهایی که با کاوش در فضا می‌بینیم به زمان مربوط هستند. در این جا هر بخش افقی، رویدادهایی را بر روی یك دایرهٔ بزرگ پیرامون آسمان نمایش می‌دهد. این دید روشنتر می‌سازد که حدود جهان به وسیلهٔ نگاهی که به عقب (یعنی به آغاز) داشته‌ایم، به وجود آمده‌اند. فاصله با این دید کیهانی ده بیلیون سال نوری است.

اگر چه این ارقام، فقط نمایی کلی و ممکن از فضا ـ زمان است، می‌توانیم‌ساختار کلی جهان واقعی را به‌وسیلهٔ مشاهدهٔ نوری‌که از اشیای دور دست‌آمده است ترسیم‌کنیم. همچنین امکان دارد که نخستین ذره، بخشی از جهان بزرگتر دیگری‌باشد. در این صورت، امکان دارد زمان برای همیشه به عقب باز گردد. شاید در جهانهای دیگر جای گرفته باشد، امّا ممکن نیست که هیچ اطلاعاتی در مورد بخش قبل از ذره به دست آوریم. پس چه کسی می داند؟

زمانی که از انفجار بزرگ و پیش‌بینی‌هایش بحث می‌کنیم، در می یابیم که مادهٔ واقعی، بیشترین پیامدها را انجام نمی‌دهد. الگوهای انبساطی ویژگیهایی را به‌میان می‌آورند که تمامی مدارك و اسناد مبتنی بر دورهٔ پیش از انفجار بزرگ را محو و نابود می‌کنند. احتمالاً ساختار مقیاسهای بزرگی که امروزه شاهد آنها هستیم، دورهٔ تورّم بیشتر رخدادهای اخیر جهان را منعکس می‌کنند. اجزای جهان، وجود یك منبع حرارتی را در نزدیکی انفجار بزرگ پس از تورّم منعکس می‌کند و پیچیدگی ساختمان در مقیاسهای بزرگ، ـ از مولکولها تا کهکشانها ـ بیلیونها سال حوادث روی داده در کیهان را بازگو می‌کند. اینها چیزهایی هستند که می‌توانیم به طور علمی به وسیلهٔ مشاهدات و نقشه کشی (یا الگوسازی) مورد مطالعه قرار دهیم.



شکل ۶ ـ تصویری از رخدادهای فضای منفرد در مخروط نورانی گذشته. در این جا، دو بُعد انتشار نشان داده شده است (هر راستا پیرامون دایره، مطابق با یك راستا در دایرهٔ بزرگ روی آسمان است). زمان نیز به طور عمودی ترسیم گردیده است. اثرات ناشی از انبساط جهان تا به حال جا به جا شده است. مخروط نورانی، وضعیتهای منتشر شده زمان حال را برای نقاطی نشان می‌دهد که امروزه ما می‌توانیم نور آنها را دریافت نماییم. ما هم اکنون در رأس مخروط قرار داریم. و با نگاه کردن به زمان گذشته، می‌توانیم حجم بزرگتری از فضا را شاهد باشیم. لذا این حجم قابل مشاهده برای ما بیکران نخواهد بود.

ارتفاع مخروط که بیانگر سنّ جهان است، در حدود سیزده گیگاسال و شعاع آن یعنی اندازهٔ جهان قابل مشاهده به طور تقریبی بیست تا سی بیلیون سال نوری می‌باشد.

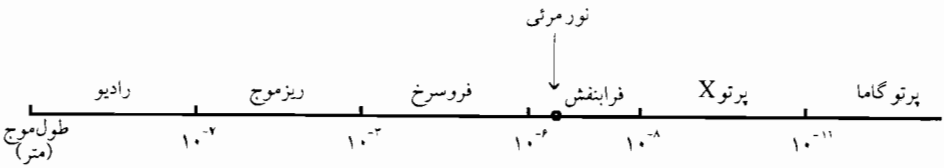
تأثیر انبساط بر روی نور

عبور نور از میان جهان در حال انبساط، انبساط را توجیه می‌کند. طول موجهای نور، از کهکشانهای دور دست‌با سرچشمه گرفتن از منابعشان‌که‌با اندازهٔ تمام‌جهان به‌طور متناسب کشیده‌می‌شوند[1]. نور آبی‌کم‌رنگ، پس‌از مدتی‌معادل‌بیست‌درصد توسعهٔ جهان،زرد می‌شود. مدتی بعد، به اندازهٔ بیست درصد دیگر توسعه، قرمز می‌گردد و پس از مدت بسیار طولانی، هزار مرتبه بیشتر منبسط می‌شود و تبدیل به ریزموج[2] می‌گردد و پس از یك دورهٔ یکصد ساله، توسط عامل دیگری به موج رادیویی تبدیل می‌گردد. اثر انبساط بر روی اصل نور، شبیه به سردکردن تدریجی اشیا با گذشت زمان می باشد. جهان خیلی داغ، شروع شده است و پر از انرژی و طول موجهای کوتاه رادیویی بوده‌که هم اینك سرد شده‌اند و به پرتوهای ریزموج با سطح انرژی پایین تری تبدیل گردیده‌اند. انرژیی که کهکشانها نیز بر روی نور بر جای می‌گذارند، حائز اهمیت است: نور از کهکشانهای بسیار دور که در گذشته از آن جدا شده، بیشترین کشیدگی (یا انتقال به سرخ) را تحمل می‌کند که نشان دهندهٔ جهان در گذشته است که کوچکتر بوده و تمام کهکشانها به یکدیگر نزدیکتر بوده اند (شکل ۷). طول موجهای نور انتشار یافته، در یك جهان انبساط یافته، متناسب با اندازهٔ آن [جهان] افزایش می یابند. اندازهٔ جهان را وقتی که نور از جسم جدا می‌شود، می‌توان از طریق شناسایی میزان کشیدگی تعیین کنیم. طول موجهای خاصی از نور که به عنوان نور خالص‌شکل می‌گیرند، متعلق‌به‌طول موج اتمهای ستارگان و گازهای کهکشانی هستند که از آنها جدا گردیده‌اند. یك رنگ‌خالص سرخ و آشنا مثل رنگ لیزر در CDهای رایانه‌ای یا تابلوهای سوپر مارکتها می‌باشند. واقعاً این رنگ

---

۱ ـ تصوّر «امتداد» صحیح ترین استعارهٔ تحت اللفظی برای توصیف ریاضی وار سرخ گرایی کیهانی می‌باشد. در مسافتهای کوتاه (نظیر سرعتهای گسترش که خیلی کمتر از سرعت نور است)، یك توصیف معادل، همان تغییر دوپلر است. یعنی سرخ گرایی نور بر حسب سرعت گسترش. لذا این تشریح و توصیف هم برای توضیح مشکلتر است و هم در صحت آن از دقت و وسواس کمتری برخوردار است.

2 - Micro Waves.



شکل ۷ـ طیف الکترومغناطیسی، طول موجهای مختلف نور را در هر مقطع مشخص شده نشان می‌دهد. گسترش جهان سبب به وجود آمدن یک «سرخ گرایی» یعنی تغییر رنگ از طول موج کوتاه تر به بلندتر می گردد.

همیشه به‌همان صورت است. زیرا پرتو لیزر از همان ماده‌تولید می‌شود. لذا اگر رنگ دیگری را ببینید متوجه‌می‌شویدکه انتقال به‌سرخی روی‌داده است[1]. سابقاً یك‌رنگ را دریك کهکشان دوردست شناسایی و طول موج آن نور را با طول موجهای شناخته شده‌ای مقایسه می‌کردند و از این سنجش، به‌میزان انبساط جهان در مدتی‌که نور در حال سیر بوده پی‌می‌بردند. بنابراین دورترین اجسام، بیشترین سرخ گرایی را داشتند و نورشان بیشترین کشیدگی را داراست.

بنابراین‌اجرامی‌که‌خیلی‌ساده در سرخ‌گرایی‌بالا موردمطالعه‌قرارمی‌گیرند، نورانی‌ترین اجرامی هستند که سرچشمه‌های انرژی زایی موسوم به «اختروش[2]» می‌باشند و در مراکز کهکشانها مستقر شده‌اند. یعنی در بیشترین فاصله‌ای که تا کنون مشاهده گردیده است. طول موج نوری که امروزه شاهد آن هستیم، به اندازه‌ای تقریباً شش برابر با مقدار اولیه‌اش افزایش پیدا کرده است. این نور از زمانی اختروش را ترك کرده که جهان به اندازهٔ یك ششم امروز وسعت داشته است. نور در زمانهای پیشتر، بیش از این کشیدگی پیدا کرده است. خود نور حاصل از انفجار بزرگ خیلی زودتر سرچشمه گرفته است. حتی پیش از واپاشی ضعیف؛ هنگامی‌که‌جهان‌کمتر‌ازیك‌بیلیونیم‌امروز‌وسعت‌داشته‌وبیشتر‌ازده‌بیلیون‌برابر‌داغتر‌بوده‌است.

---

۱ ـ قطعاً رنگ به شما در مورد ماده توضیح می‌دهد. مثلاً در اختر فیزیك، خطوط هیدروژن به دلیل این که فراوانترین عنصر است، از همه رایجترند. در واقع ترکیبات جهان به عنوان یك «گل» ـ تنها از همان مدرك و نشانه استنباط می‌شوند. مثلاً هلیوم پس از پی برده شدن به ماهیت خورشید نام گذاری شد. زیرا نخستین بار در رنگهای نور رسیده از خورشید به وجود آن پی برده شد. معمولاً هر مادهٔ مورد نظر دارای بیش از یك رنگ مطلوب است. لذا می‌توانیم از الگوی رنگها بهره گیریم تا تفاوت میان اثرات کیهانی سرخ گرایی و ترکیب آنها را بازگو نماییم.

2 - Quasar.

قانون هابل[1] و آهنگ انبساط

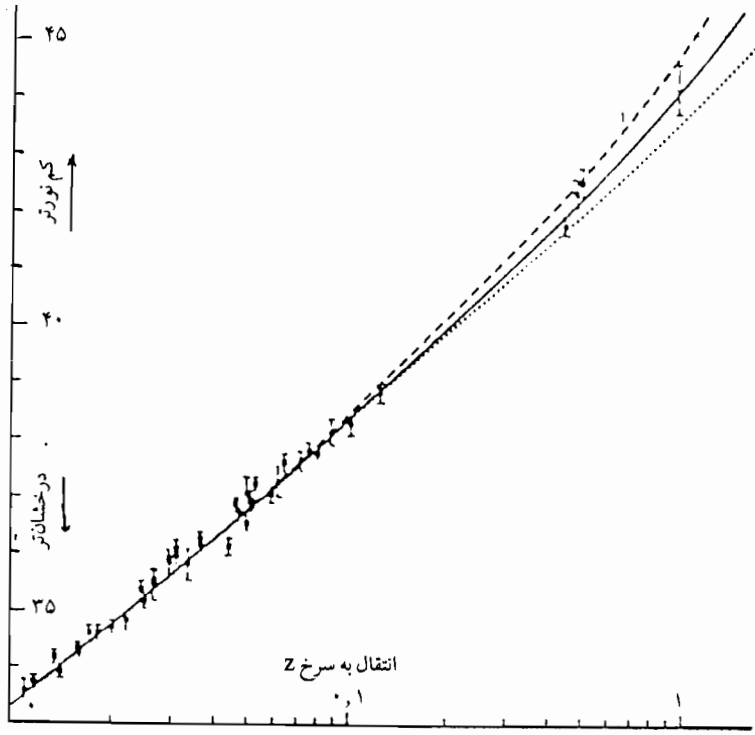
کشیدگی نور را می‌توان از طریق سرخ گرایی که نتیجهٔ حرکت ماده است، نیز استدلال کرد. به عنوان نمونه، چنین به نظر می‌رسد که یک آژیر در هنگام دور شدن آمبولانس، دارای صدای پایین و در هنگام نزدیک شدن، دارای صدای بالاست. برای نور، سرخ گرایی برابر است با سرعت تقسیم بر سرعت نور. اگر سرعت گسترش خیلی زیاد نباشد، پس کشیدگی طول موجهای کیهانی برابر است با قانون هابل که حرکت یکنواخت جسم منبسط را توضیح می‌دهد.

$$\text{سرعت} = H_0 \times \text{فاصله}$$

که به سرعت نسبی و فاصلهٔ هر دو کهکشان از هم بستگی دارد. همان گونه که مثالها نشان می دهند، هر چه فاصله و جدایی آنها از هم بیشتر باشد، سریعتر از هم دور می‌شوند. قانون هابل، جهان واقعی را به خوبی تشریح می‌کند. چنان که نمودار هابل، فاصلهٔ نسبی بر حسب سرعت و سرخ گرایی را در درجه بندیهای بزرگ نشان می‌دهد (شکل ۸).

عدد H_0 که در این‌فرمول وجود دارد، ثابت هابل‌نامیده‌می‌شود که باید آن را با اندازه‌گیری فاصله‌های مطلق (نه نسبی) به دست آوریم. اگر قانون هابل کامل بود، می‌توانستیم ثابت هابل را با پیدا کردن سرعت (سرخ گرایی) و فاصلهٔ هر کهکشانی اندازه بگیریم. سرعتها را با انتقال طول موجهای نور به طور دقیق اندازه گیری می‌کنیم. همچنین در صورتی که فاصله ها به اندازهٔ کافی کوچک باشند، با استفاده از سه گوشه سازی یا انطباق دقیق، اندازه‌گیری می‌کنیم (شکل۹). فن آوری مشابه آن توسط زمین پیماها صورت می‌گیرد. می‌توانیم فاصلهٔ ستارگان نزدیک را با استفاده از مدار زمین به عنوان یك خط مبنا محاسبه کنیم. فاصلهٔ ستاره، با اندازه‌گیری تغییر کوچکی در موقعیّت زاویه‌ای آن در زمانهای مختلف سال نسبت به ستاره‌های خیلی دورتر تعیین می‌گردد. این‌موضوع فواصل‌کیهانی را

1 - Hubble Low.



شکل۸ـ نمودار هابل برای یك نوع ابر نواختر. این نوع اختر، نوعی ستاره در حال انبساط است که تمام درخشندگیش شاخص خوبی برای فاصله می‌باشد. نور کمی از آنها خارج و به سرعت دور می‌گردد. سرخ گرایی (z) هر نواختر را روی محور افقی نمودار نشان می‌دهند. در حالی که $Z + ۱$ ، میزان نوری است که گسترش می یابد. برای Z خیلی کمتر از یك، سرعت انبساط برابر سرعت نور است. محور عمودی، واحد درخشندگی را نشان می‌دهد (قدر مطلق فاصله). هر پنج واحد برابر با یك ضریب صد در درخشندگی یا ضریب ده در فاصله است. برای انبساط ثابت و یکنواخت جهان، رابطه میان فاصله و سرعت نزدیك به رابطهٔ خطی است که توسط قانون هابل حاصل می‌گردد. انحرافهای ممکن از این قانون، چنانچه Z برابر یك باشد، می‌تواند از تغییر در سرعت انبساط یا از انحنای کروی فضا ایجاد گردد. خطوط منحنی بعضی آزادیهای قابل قبول را نشان می‌دهند.

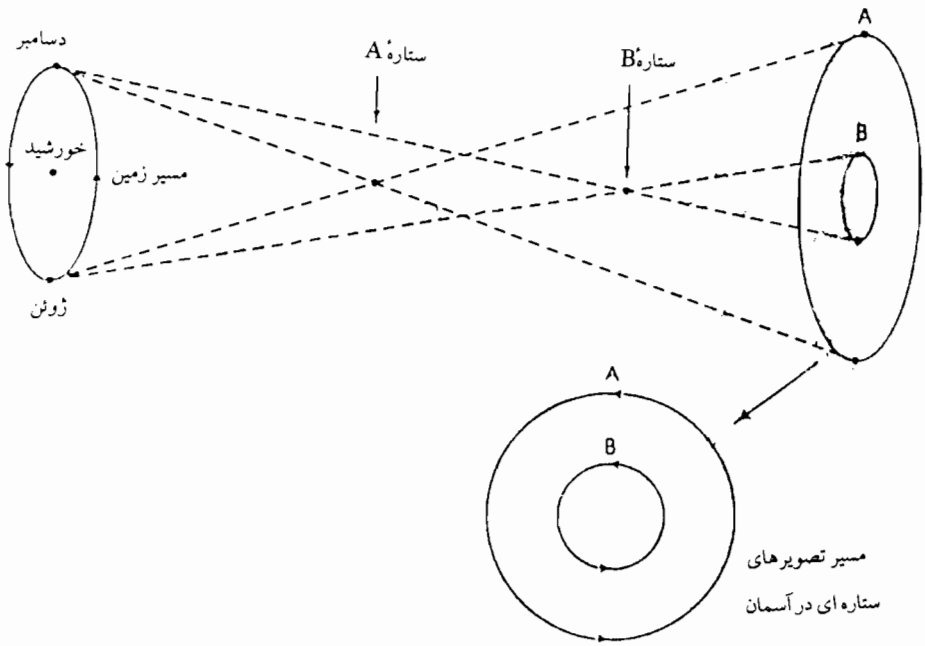
به اندازه‌گیریها و مقیاسهای محلی نزدیك می‌سازد. امّا با این روش، فاصله‌های خیلی بزرگ اندازه‌گیری نمی‌شود (چون زوایا خیلی کوچکند) و به خاطر این که رابطهٔ هابل فقط با یك مقیاس وسیع برای حرکت معمولی کهکشانها به‌کار می‌رود، برای اندازه گیری H_0 مستلزم اندازه‌گیری فاصله‌های بزرگ است. مسألهٔ فنی مشکل این است که چرا هنوز ارزش و اهمیت H_0 تا حدود بیست درصد نامعلوم مانده است. (حتی اگر چه با مقیاس بزرگ، درستی روابط خطی هابل به دقت تحقیق می‌شود).

ارزش و اهمیّت ثابت هابل شگفت انگیز است. چرا که بیان می‌کند چگونه اجسام به سرعت در حال جدا شدن هستند. زیرا اجسامی که سریع حرکت می‌کنند، با فاصله نسبت مستقیم دارند. صرف نظر از جدایی، هر کهکشان، فاصله بین خود تا دیگری را در زمان مساوی می‌پیماید. عکس ثابت هابل $(1/H_0)$ عددی است که نشان می‌دهد چه مدت پیش از این تمام کهکشانها در یك نقطه بوده‌اند و توسعه همیشه با یك سرعت در جریان بوده است[1]. برآورد مکانی انتشار $1/H_0$ در حدود ۱۴ تا ۱۷ بیلیون سال است. اگر سرعت کهکشانها هرگز تغییر نمی‌کرد، این رقم، مدت زمانی است که هیچ گونه گسترش در کار نباشد. یعنی مدت زمان سپری شده از هنگام انفجار بزرگ.

تغییر در آهنگ انبساط

امّا کهکشانها و مواد کهکشانی پیش از آنها، همیشه با یك سرعت یکسان دور نمی‌شوند. سرعت انبساط با گرانش تغییر می‌کند. اگر یك توپ بیس بال را به طور عمودی به بالا پرتاب کنید، به زمین باز می‌گردد. مگر آن که آن را به شدت پرتاب کنید. در طی این حالت، حرکت توپ به تدریج کند خواهد شد. مثل همان هنگامی که بلند می‌شود ولی هرگز به زمین باز نمی‌گردد و برای همیشه فرار می‌کند. چنین اعمالی برای انبساط جهان نیز وجود

۱ـ در واقع، آنها در مکان به خصوصی نبودند. کهکشانها هنوز در جهان اولیه به وجود نیامده بودند. امّا این موضوع تمام موادموجود در کهکشانهای نزدیك، در حجمی به مراتب کمتر از حجم امروزی منظومهٔ شمسی خلاصه شده‌اند، درست به نظر می رسد.



شکل۹ـ اندازه گیری فاصله‌های کیهانی کوچك با شیوهٔ انطباق یا سه گوشه سازی زمین در یك دورهٔ یکصد ساله بـه دور خورشید. موقعیت ستارگانی که ظاهـراً در آسمان، نزدیکند، به فاصله هایشان بستگـی دارد. حرکت زاویه‌ای برای ستارگان نزدیك بـزرگتر است و می‌توان فاصلـه‌های آنها را تخمین زد. ستـاره‌هایی کـه در شکل نزدیکتـر هستند و زاویه‌شان بـزرگتر است، به ستاره‌های واقعی نزدیکترند.

دارد و در حقیقت، معادلهٔ ریاضیات به طور مختصر و مفید حرکت سقوط آزاد یك توپ بیس بال و جدایـی هر کهکشانی کـه در جهان در حال گسترش یـافتن است را شرح خـواهد داد. فیزیك نیز به همیـن صورت است و در هر دو حالت، حرکت به وسیلـهٔ نیروی گرانش کنترل می‌گردد. تنها اختلاف در این است که حرکت توپ بیس‌بال به‌وسیلهٔ جاذبهٔ زمین تحت کنترل است ولی حـرکت کهکشان توسط جاذبـه ای که از سوی اجرام پیرامون آن اعمـال می‌گردد، کنترل مـی‌شود. انبساط آرام چگـالی جهان، مطـابق بـا پرتاب آهستـهٔ توپ بیس بـال است[1].

۱ ـ رفتار انبساطی مربوط به انحنای فضاست. چگالی زیـاد، جهان را به صورت یکنواختی انحنا می‌دهد. گرانش فقط بر روی انبساط تأثیر گذار نیست بلکـه به غیر از آن منعکس کنندهٔ انحنای فضا نیز می‌باشد. جهـانی که دو باره به سوی نابودی می‌رود، تمایل به داشتن یك هندسهٔ فوق کروی دارد که دو باره روی خودش باز می‌گردد.

چگالی جهـان کاهش می‌یابـد و سرانجام انبساط متـوقف می‌گردد. سپس منقبـض می‌شود. به‌طـوری‌که همـهٔ کهکشانها بـا سرعـت زیاد به هـم هجوم مـی‌برند و در پـایان صـدای خرد شدن‌شدیدی شنیـده می‌شود. سرعت گریز تـوپ بیس بال با سرعت انبسـاط متناسب است. کاهش چگالی جهان بـرای همیشه متوقف می‌شود، کهکشانها باریك و بـاریکتر می‌شوند. به گونه‌ای که اثر زیـاد جاذبه بر روی آنها از بین می‌رود. چنانچه از گـذشتهٔ جهان درك می‌شود، سرعت کهکشانها سرانجام به سختی کند می‌گردد تا جایی که حتی به صفر میل می‌کند. [ولی صفر نمـی‌شود]. در عوض میـزان حرکت بـه برخـی سرعتها محـدود می‌گردد. آنهـا بین دو حالت تعادل قـرار گرفته‌اند. جهان همانند پـرتاب یك توپ بیس بال اسـت. در واقع سرعت فرار آن از زمین دقیقاً برابر است با سرعت انبساط و چگالی. چنان که پیوسته به سرعت صفر نزدیك می‌گردد، ولی هرگز به آن دست پیدا نمی‌کند.

اگر توپ بیس بـال را فقط کمی به بالا پرتاب کنید، راه مستقیمـی را در پیش می‌گیرد. امّا اگر آن را واقعاً به طور شدید پرتاب نمایید، پیش از این که باز گردد به درون فضا می‌پرد و مشکل است که بگوییم آیـا دو باره باز می‌گردد یا نه. جهان می‌توانـد بسادگی و پیش از آن که به پایان بـرسد، برای یك مدت زمان طولانی بـه حرکت خود ادامه بدهد. به فـرض این که به طور دائم در حال چرخیدن بـاشد، و این حالتی برای جهان است کـه برای مدت ده ها بیلیون سال طول خواهد کشید. (البته با این فرض که در حال چرخیدن باشد).

سرعت گریز یـك توپ بیس بال، به جرم زمین و همچنین به ارتفـاعی که آن را پرتاب می‌کنیم، بستگی دارد. به طور مشابه، سرنوشت جهان به این وابسته است که با چه سرعتی در حال گسترش است و چقدر از جرمش کاسته می‌شود. این اجسام هنوز در جهان حقیقی برای ما به دقّت اندازه گیری نشده‌اند که نـدانیم چه چیزی در حال روی دادن است. بهترین روشی که این را بیان می‌کند، مقایسه کردن سرعت انبساط در گذشته (با نگاهی به دور دستها) و هم اکنون است. ایـن عمل هنوز به صورت گسترده، انـدازه گیری نشده است. اگر چه مـا به این روشها پای بند هستیم (شکل ۸).

بر خلاف تـوپ بیس بال، جهان عملکرد دیگری هـم برای افزایش سرعت زیـاد گریز دارد. شبیه به توپی که شلیك گردد یا تیری که از کمان رها شود. این عمل امکان دارد. چرا که

در اصل، گرانش می‌تواند دقیقاً شبیه نیروی دافعه در فضای خالی ایفای نقش کند. انیشتین امکان وجود یك نظام هستی پایدار را کمی پس از نظریهٔ گرانش معرفی کرد و آن در زمانی رخ می‌دهد که فضا عاری از هر گونه جرم و پرتو، انرژی داشته باشد و با وجود این با گرانش جفت گردد. اگر خلأ، انرژی کافی در خود داشته باشد، نیرو بر گرانش غلبه می‌کند و باعث از هم پاشیده شدن جهان می‌گردد و انبساط با گذشت زمان، سرعت می‌گیرد. ممکن است که دریابیم انبساط از چه زمانی پیدا شده است، امّا هنوز نمی‌دانیم جهان واقعی سرعتش افزایش می‌یابد یا کاهش. به نظر می‌رسد، اندازه گیری حرکت اجسام در مقیاس کیهانی، تنها روش کاربردی برای اندازه گیری انرژی خلأ باشد.

عمر جهان

حتی پس از این که به ثابت هابل یا زمان هابل ($1/H_0$) پی بردیم، این زمان، تقریباً زمانی خواهد بود که کهکشانها از نقطهٔ تولد، با سرعتهایی که امروزه دارند سیر می‌کنند. هنوز سنّ واقعی جهان را در دست نداریم. چگونگی تغییر انبساط، به زمان وابسته است. که این هم به نوع و مقدار مادهٔ موجود در جهان بستگی دارد. امّا می‌توانیم برگردیم: اگر بتوانیم سنّ جهان را با برخی روشهای دیگر اندازه گیری کنیم و آن را با $1/H_0$ مقایسه نماییم، بعضی چیزها را تا حدی در بارهٔ جهانی که در آن زندگی می‌کنیم و این که آیندهٔ آن چگونه خواهد بود، بازگو می‌کند.

ما نظریهٔ درستی در زمینهٔ این که منظومهٔ شمسی چقدر سن دارد، داریم: خورشید، زمین و ستاره‌های دیگر، از گازهای بین ستاره‌ای در حدود ۴/۵۵ بیلیون سال پیش، شکل گرفته‌اند. این ارزیابی فیزیکی، مبتنی بر واپاشی مواد پرتوزا است. هستهٔ اتمی مانند اورانیم ۲۳۸ [۱]، ناپایدار است و به هستهٔ دیگری متلاشی می‌گردد. مطمئناً آنها برای این که دقیق اندازه‌گیری کنند، این عمل را در سرعت ثابت انجام می‌دهند. به عنوان مثال، پس از ۴/۶

۱ ـ یاد آور می‌شود که چندین نوع مختلف اورانیم وجود دارد که به تعداد نوترونها بستگی دارند. ۲۳۸، مجموع تعداد پروتونها و نوترونها در یك نوع بخصوص هستهٔ اورانیم‌است. تمامی هسته‌های اورانیم، دارای ۹۲ پروتون می‌باشند.

بیلیون سال، یك اتم اورانیم ۲۳۸، تنها پنجاه درصد احتمال تبدیل به سرب ۲۰۶ را دارد. پس از این که مدتی می‌گذرد، تکهٔ خالص اورانیم ۲۳۸، نصف سرب ۲۰۶ است. اگر می‌توانستیم سنگهای آسمانی و صخره‌هایی را پیدا کنیم که نشانه‌هایی از رویدادهای طبیعی مثل بقایایی از اورانیم که بدون سرب ۲۰۶ شروع می‌شود را داشته باشیم، آن گاه نسبت سرب ۲۰۶ به اورانیم۲۳۸ باقیمانده، یادآوری می‌کند که سن بقایای تشکیل شده چقدر است. اجرام بسیاری در منظومهٔ شمسی بویژه سنگهای آسمانی متنوع وجود دارند که با استفاده از هسته‌های گوناگون مواد پرتوزا، اندازه‌گیری شده‌اند. (برای مثال، پتاسیم ۴۰ به آرگون ۴۰ با نیمه عمر ۱/۳ بیلیون سال واپاشیده می‌شود)، همگی دارای سن یکسان ۴/۵۵ بیلیون سال هستند. لذا می‌بینیم که جهان، کمترین گذشتهٔ ممکن را دارد[1].

اگر چه ستاره‌ها در جهان امروزی شکل گرفته‌اند، ستارگان زیادی نیز از منظومهٔ شمسی قدیمی تر می‌باشند. بعضی ۲ تا ۳ برابر پیرتر هستند و به درستی ستاره‌های اولیه که پس از انفجار بزرك تشکیل شده‌اند، هنوز در حال سوختن می‌باشند. می‌توانیم با استفاده از این ستاره‌های قدیمی، عمر جهان را ارزیابی کنیم.

اگر یك‌نفر، از لحظهٔ انفجار بزرگ زمان‌سنجی را به‌کار انداخته‌باشد، خیلی‌مفید خواهد بود و می‌توانیم تمام سنّ جهان را از روی آن بخوانیم. در واقع‌چیزهایی‌کاملاً شبیه‌به این داریم: خوشه‌های قدیمی ستاره‌ها با جرمهای مختلف که عملکردی شبیه به ساعتهای شنی دارند و در سرعتهای گوناگون در جریان‌هستند. اگر روزی یاد بگیریم‌ستارگان را مثل‌ساعت‌شنی بخوانیم، با استفاده از درك مان از چگونکی کار آنان، می‌توانیم عمر خوشه‌های ستاره‌ای را از روی سن ساعت شنی بخوانیم. برای این منظور، به استفاده از الگوی کارکرد ستارگان نیاز داریم.

ستاره‌ها مثل خورشید که هنوز سوخت فراوانی برای زندگی کردن، دارند در یك

---

۱ ـ آزمون مشابهی می‌تواند برای تمامی ستارگان به کار گرفته شود. مقدار میانگین توریم مواد پرتوزا در ستارگان پیر، نسبت به عناصر دیگری که در کنار آن شکل گرفته‌اند، کمتر از مقدار آن در ستارگانی است که جدیداً شکل گرفته‌اند. ولی در عین حال این روش، برای تخمین سنّ ستارگان مفید و کارآمد نیست. بدین منظور، از بررسی سرچشمهٔ حیات خود ستارگان برای محاسبهٔ عمر آنها بهره می‌گیریم.

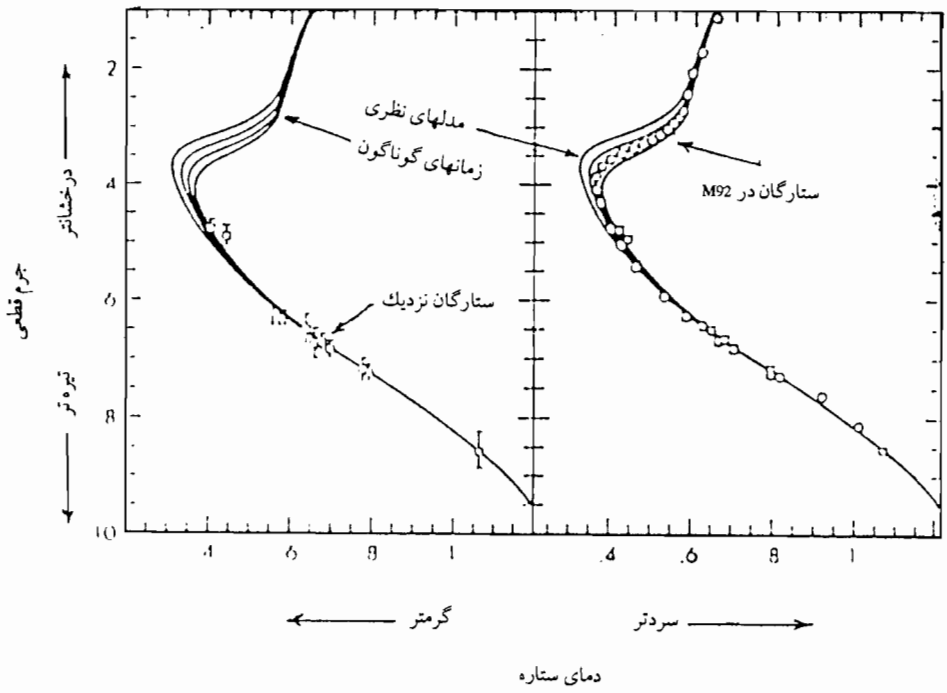
حالت ثابت برای بیلیونها سال باقی می‌مانند. آنها توپهایی مملو از گاز هستند که بیشتر، هستهٔ هیدروژنی و الکترونهای آزاد دارند که توسط جاذبه کنار یکدیگر قرار گرفته‌اند و با جاری شدن گرما در اثر واکنشهای هسته‌ای درونی، آنها را از یکدیگر جدا می‌سازد. بیشتر ستارگانی که در آسمان می‌بینید، این گونه هستند که زندگیشان در یك حالت ثابت سپری می‌شود.

به هر حال، سرانجام این حالت ثابت به پایان می‌رسد. هنگامی که سوخت هیدروژنی در مرکز، شروع به پایان رسیدن می‌کند، تعادل میان نیروها واژگون‌می‌گردد. کمبود سوخت، هستهٔ مرکزی را متلاشی می‌کند. این باعث می‌گردد که گرمای بیشتری از آنچه که برای حفظ بخشهای بیرونی ستاره لازم است، آزاد گردد. بنابراین، آن قسمتها را به داخل می‌کشد. لذا هنگامی که هیدروژن به پایان می‌رسد، قسمت درونی کوچکتر می‌گردد و لایه‌های خارجی بزرگتر و ساختار ستاره دگرگون می‌گردد. می‌توانیم اثرات این تغییر را بر روی نوری که از ستاره می‌آید ملاحظه کنیم، زیرا نور از ناحیهٔ بزرگتری می‌آید و بیشتر به طرف خارج انتشار می‌یابد و دمای آن نیز تغییر می‌کند، ستاره سردتر می‌شود و نور آن سرخ‌تر می‌گردد.

ستاره‌ها شبیه ساعت شنی هستند که به محض شکل گیری، شروع به مصرف سوختی (گاز هیدروژن) می‌کنند که ابتدا برای همین کار اختصاص داده‌اند و هنگامی که سوخت رو به اتمام می‌رود، رنگشان تغییر می‌کند. این تغییر رنگ نشانهٔ به آخر رسیدن ساعت‌شنی است.

روشنایی ستاره‌های سنگین‌تر، کمتر از ستاره‌های سبکتر است و سوخت خود را سریعتر مورد استفاده قرار می‌دهند و فعالیتشان مثل ساعت شنی سریع است. بنابراین، اگر یك گروه ستاره با جرمهای مختلف شکل بگیرند، ابتدا سنگین ترین ستاره‌ها سوخت خود را از دست می‌دهند و به ترتیب تا کمترین جرم، ادامه می‌یابد. اندازه گیری جرم آنان که هم اینك سوخت خود را به پایان می‌رسانند، سن گروه را بیان می‌کند.

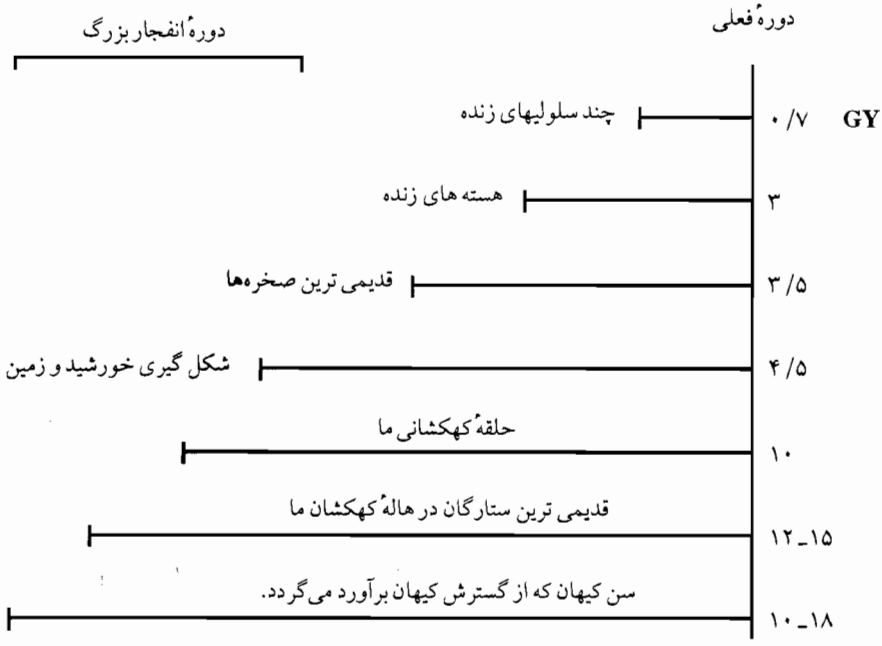
می‌توانیم ستاره‌ها را به عنوان زمان سنج به کار بگیریم. چرا که می‌فهمیم در داخل آنها چه می‌گذرد. نمونه‌های قبلی برای هر جرم و ترکیب ستاره، ویژگیهای قابل مشاهدهٔ آن (روشنایی و رنگ) را در هر زمان از زندگی پیش بینی می‌کنند. نور اندازه‌گیری شده و رنگ آن، زمان سپری شده از هنگام شکل گیری را نشان می‌دهد. (شکل ۱۰). زمان دقیق این نمونه ها با آزمایشهای دیگر مطابقت می‌کند. به عنوان مثال، سن پیش بینی شدهٔ خورشید با



شکل ۱۰ ـ درخشندگی کامل و دقیق ستارگان (در مقیاس نجومی که هر پنج واحد مرتبط با ضریب صد در میزان نور خروجی می‌باشد). طرح فوق، نشان دهندهٔ دمای اندازه‌گیری شده با شاخص رنگ به ترتیب از داغی به سمت چپ می‌باشد. نمودار سمت چپ بعضی از ستارگان نزدیك را نشان می‌دهد و نمودار سمت راست نیز نشان دهندهٔ ستارگان در یك خوشهٔ کروی واقع در کهکشان ما، M92 می‌باشد. علائم نشان داده شده، نمایندهٔ ستارگان قابل مشاهده در این خوشه هستند. خطوط نیز نمایانگر الگوهای نظری هستند که گروههای سنّی مختلف را برای خوشه‌ها بیان می‌کنند و در این جا از ۱۲ تا ۱۸ گیگاسال درجه بندی شده‌اند. در مورد این الگوها، چنین استنباط می‌گردد که ستارگان شکل گرفته با جرمهای گوناگون در یك زمان به وجود آمده‌اند. و یك الگو از ترقی و پیشرفت تدریجی آنان، برای محاسبهٔ ظاهر و صورت امروزی آنان مورد استفاده است. ستارگانی که معمولاً به صورت خوشه بودند و جرمی به مراتب بیشتر از خورشید داشتند، هیدروژن موجود در مرکز را به طور کامل به پایان رسانیده‌اند و توالی و تسلسل پایدار خود را از دست داده‌اند. کارآمدترین الگو سنّ جهان را در این مرحله، ۱۵ بیلیون سال می دهد.

مدتی کـه عمر مواد پرتوزای منظـومهٔ شمسی معین مـی‌کند، همسویی دارد و جایـی که جرم ستارگان به طور دقیق در دسترس است، روشنایی و رنگ آنهـا نیز پیش بینی می‌شوند. حالتی هم وجود دارد که دو ستاره بـا جرمهای مختلف بر روی مدار، پیرامون یکـدیگر می‌چرخند. اندازه‌گیری نشان می‌دهد که این ستاره‌ها سنّ یکسانی دارند.

سنّ متـداول قدیمی‌تریـن خوشه‌هـای ستاره‌ای که از تفکیـك فوق محاسبه شـده‌اند، پیرامون ۱۲ تا ۱۵ بیلیون سال تخمین زده می‌شـوند. چنین به نظـر می‌رسد که قدیمـی ترین گروهها هر کدام در حدود چند بیلیون سال سن داشتـه باشند و هیچ چیز قدیمی تر از این پیدا نشده است. حقیقـت قابل ملاحظه‌ای که متـذکّر می‌شود، جهان نیز دارای همیـن مدت عمر است و قابل ملاحظـه تر این است که با انبساط جهان نیز سازگـار است. سنّ انبساط جهان،



شکل ۱۱ـ سن جهان و اجزای سازندهٔ آن. اگر چه اعداد و ارقام، به درستی شناخته نشده‌اند، می‌دانیـم که کهکشان ما خیلـی پیرتر از زمیـن و خورشید نیسـت و جهان فقط کمی پیـرتر از کهکشان ماست. امروزه در سطح زمین، صخره‌هایی‌با قدمت بیش از سه‌بیلیون‌سال از حدود دورهٔ چهارم جهان‌کشف کرده‌ایم. ـ حتی صخره‌هایی‌با سنگواره‌هایی‌که نشان ازحیات دارند.

طبق ثـابت هابل در حدود ۱۴ تا ۱۷ بیلیون سال است. تقریباً اطمینـان داریم که حساب دقیق از سلسله مراتب تاریخ جهان در دسترس نیست (شکل ۱۱).

وقتـی به تغییـرات از نظر عـددی نگاه کنیـم، چنین بـه نظر مـی‌رسد کـه در برخـی از الگوهای انبساط، ستارگان پیرتر از جهان هستند. بـه عنوان مثال، در حرکت کردن با سرعت کمتر از سرعت گریز، جـایی که نیروی گرانش به طور پیوسته در جـریان است، چنین اتفاقی می‌افتد. در یك الگوی غیر قابل انکار، سنّ جهان بیشترین مقدار $2/3H_0$ پیش بینی شده است که در حدود ده بیلیـون سال است. این الگوها خیلـی جوان هستند. چرا که کهکشـانها خیلی بیشتر از آنها و به سرعت از هم پاشیده شده‌اند. آنها به جایی می‌روند که در زمان کمتری پیش بینی می‌کنند که جهان خیلی جوان است[1].

اگر چگـالی ماده کاهـش یابد، جهان مـی‌تواند پیـر شود. لذا در ده بیلیون سـال اخیر، انبساط ناشی از گـرانش کمتر دیده شده است. متنـاوباً اگر ثابت کیهان شنـاسی قدری شتاب می‌گـرفت، پـس آنها کنـدتر از گـذشته در حـال گردش مـی‌شدنـد و جهان هنـوز قدیمـی تر می‌گردیـد و از مدارك کنونی، این گونـه استدلال می‌شود که گـرانش ـ که به اندازهٔ کـافی کم نیست ـ، انبساط را معکوس می‌گرداند. ممـکن اسـت کـه جهان در آینـده، بیشتـر از گذشـته گسترش یابد و حتی برای همیشه به سوی انبساط برود.

اغلب واقعیت موجود در بارهٔ انبساط جهان، این است که روزگاری جرم در یك نقطهٔ فـوق العاده فشـرده‌تر از امـروز بوده اسـت. رفتـار اخیر جهـان در منبسط شـدن، برای مـا از عملکرد آن در خـلال نخستین بیلیون و میلیون سـال و حتی از اولین دقایـق یا ثانیه‌هـا سخنی نمی‌گوید. مهمترین آثار از این دوره های تـاریخی کیهان، تابش زمینه‌ای و اجزای ماده هستند که در دو فصل آینده مورد بررسی قرار خواهند گرفت.

---

۱ ـ همان گونه که در نشـریات عمومی هم به چاپ رسیده است، مستثنی کردن این الگـوها، سبب مستثنی نمودن انفجار بزرگ نمـی‌گردد. نخست شگفت انگیـز به نظر می‌رسیـد که با وجود نـاشناخته بودن مفـاهیم اولیه در مورد تکـامل جهان، بتـوانیم چیزهای زیـادی در مورد آن بدانیم. در زمـانهای نخستین، رفتـار و عملکرد جهان، نسبتاً تـا حدودی وابسته به سرانجام احتمالی آن بود. چرا که در آن زمان، الگوها با آهنگ یکسانی انبساط یافتند.

پرتو زمینه‌ای کیهانی

فضا تاریك و خالی نیست، امّا از پرتوهای فراوانی پر شده است. بیشتر خطوط انرژی آن، در ناحیهٔ ریـز موج از طیف امواج با طول مـوج نزدیك در حدود یك یـا دو میلی متر و در تمامی جهات به طور یکنـواخت وجود دارد. این نور که پرتو ریزموج زمینـه‌ای کیهانی نامیده می‌شود، از انفجار بزرگ بر جای مانده است و بـه طور آزادانه، از میان فضایی از عالم هستی که اندازه‌اش یك هزارم انـدازهٔ فعلی و سنش کمتر از یك میلیون سال بوده، حـرکت می‌کرده است. نور، از زمـانی که جهان ابتـدا با نور شفاف گردیـده است، به صورت مستقیـم می‌آید. بنابراین، این دورترین شیء در ابتدایی‌ترین لحظهٔ زمان است که می‌تواند به وسیلهٔ نور نمایان گردد. ویژگیهای آن نیز، سادگی جهان را در زمانهای کوتاه و مقیاس بزرگ منعکس می‌کند.

آسمان درخشان

نخستین مدرکی که نشـان می‌دهد، پرتوهای زمینه‌ای ریزمـوج، از جهان دور می‌آیند، این پیش گویـی است که بیان می‌کند تشعشعـات ریزموج از انفجار بزرگ به طـور یکنواخت باقـی مانـده‌اند و شـدت پرتـوها تقریبـاً در همهٔ جهـات یکسان اسـت. این یکنـواختی قـابل ملاحظه، بی‌نظیر است. هیچ چیز در جهان به یکنواختی و هماهنگی خودِ جهان نیست. طرح

و منظرهٔ آسمان شب، در طول موج ریزموجها تنها یك اثر خارجی از «پیش صحن»[1] کهکشانها را نشان می‌دهد. باریکه‌ای که مطابق با کهکشان راه شیری است، همان نور زمینه‌ای است که همواره (مثل آسمان روشن روز)، در تمامی جهات درخشندگی دارد. این نور، از ورای تمام کهکشانها می‌آید.

در واقع وقتی به پرتوهای زمینه‌ای ریزموج نگاه می‌کنیم، چه چیزی می‌بینیم؟ این شبیه به نگاه به سطح هموار خورشید است که سخت نیست. خورشید توپی از گاز است که از نظر چگالی و حرارت، به تدریج در حال کاهش یافتن است که این کاهش از درون به طرف خارج آن صورت می‌گیرد. آن چیزی که به صورت لبه یا سطح به چشم می‌خورد، در واقع ناحیه‌ای است لبریز از گاز فوق العاده داغ که باندازهٔ نور، شفافیّت ندارد. این ناحیه که «نورسپهر»[2] نامیده می‌شود، به علت کاهش ناگهانی فعل و انفعال بین ماده وپرتو در دمای ثابت به صورت باریکه‌ای ظهور می‌کند. جابه جایی و انتقال ناگهانی، سطحی مشابه [نورسپهر] ایجاد می‌کند که خورشید را به داشتن یك اندازهٔ معین و ثابت وادار می‌نماید.

از دیدگاه فوتونها، این طور استنباط می‌شود که «سطح» محلی است که می‌تواند از پراکندگی و سقوط آزادانهٔ آنها به داخل فضا جلوگیری به عمل آورد. دقیقاً مثل زمانی که جهان تا حدود ۳۰۰۰ کلوین[3] سرد می‌شود، آن نیز شفاف می‌گردد. الکترونهای گاز هیدروژن، (مهمترین عامل پراکندگی نور در این وضعیت)، به پروتونها می‌چسبند و به اتمهای خنثی تبدیل می‌شوند که مثل گاز موجود در جوّ زمین، شفاف است و می‌توانید بخوبی از پشت آن [فضای خارج آن را] ملاحظه کنید.

پس از آن فوتونهای زمینه‌ای کیهانی بدون پراکندگی زیاد و به طور مستقیم به سوی ما می‌آیند. این نور سپهر کیهانی، خیلی به سطح خورشید شباهت دارد. این از موارد یکسان و در دمای برابر درست شده و ما فقط در این سوی این چشم انداز هستیم. پرتو نیز مثل ماده دارای دما می‌باشد. به نظر می رسد که پرتو زمینه‌ای داغ باشد. ولی هم اکنون خنك است.

---

1 - Fore ground. 2 - Photo Sphere.

۳ـ توجه داشته باشید که نور سپهر کیهانی در ۳۰۰۰k کمی خنکتر از نور سپهر خورشیدی در ۵۸۰۰k است. چرا که مادهٔ موجود در جهان در چنین دمایی خیلی کمتر نسبت به مادهٔ موجود در خورشید، فشرده و چگال است.

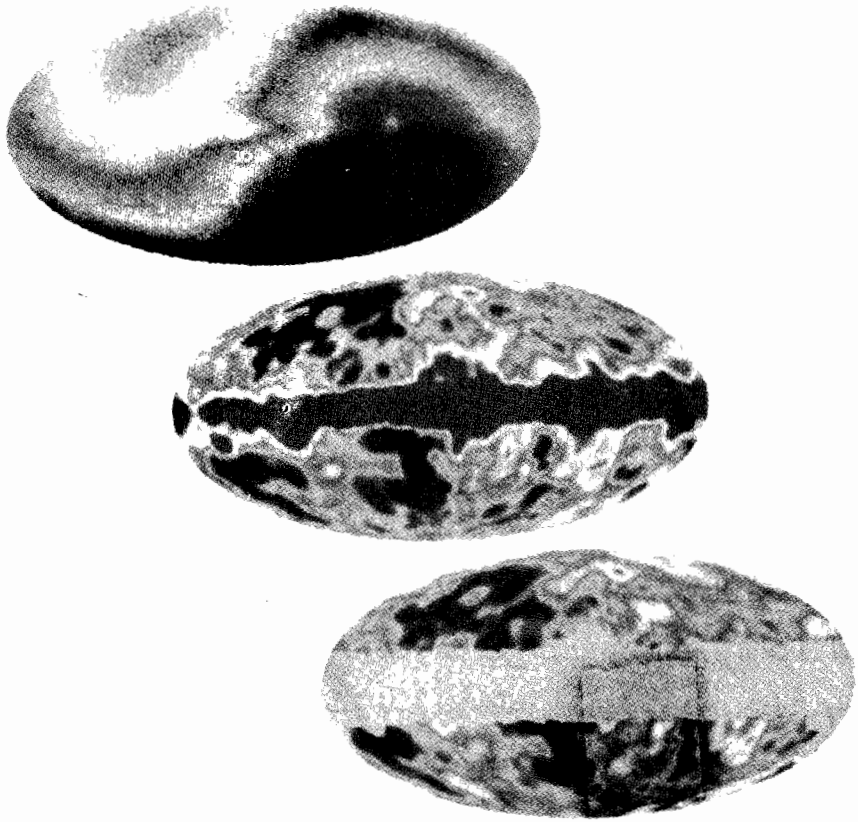
یك گـرماسنج (ترمـومتر) که در مکان گـودی قرار گرفته اسـت و دمای آن ۲/۷۲۶k بالای صفر مطلق خـوانده می‌شود، یعنی هـزار و صد مرتبه سردتـر از زمان آخرین پراکنـدگی. این دمای پایین ــ که یکی از نتایج تراکم عـالم هستی در یك مدت زمان طولانـی است ـ، یکی از اندازه‌هـای شاخـص تاریکی آسمـان در شبهاسـت. آسمان واقعاً تـاریك نیسـت. در واقع آن مشابـه سطح خورشید اسـت که فقط دو هـزار مرتبه سـردتر می‌باشـد. هماهنگی زیـاد زمینه شدیداً مثل هماهنگی بسیار زیاد دماست که عیناً مثل تاریخ اولیهٔ کیهان و انبساط یکنواخت آن در تمامی جهات است.

حرکت بازتابی ما: دو قطبی کیهانی

به هر حال، یك آزمـایش جامع، یك اختلاف خیلی جزئی ـ تقـریباً یك در هزار ـ را در دمای نور آسمـان آشکار می‌کند. دمـا در یك راستا کمی بیشتـر از میانگین و در طرف مقـابل کمی سردتـر است. بخش میانـی به طور قابـل ملاحظه‌ای آرام و نرم و دارای انتقـال و جا به جایی تدریجی است (شکل ۱۲). این تغییر نشان می‌دهد که ما در جهان ساکن نیستیم و در آن حرکت می‌کنیم.

انتـظار مـی رود که اجـسام در مقـیاس کـوچك انبسـاط پیدا نکننـد. زمین پیـرامون خورشید می‌گردد و خـورشید در میان کهکشان در حال حرکت می‌بـاشد و کهکشان درحول همسـایگانـش در حـال گـردش‌است. مجمـوع‌همهٔ ایـن‌حرکـات کـه در حـدود یك‌هـزارم سرعت‌نور است، نمونه‌ای از حرکت و مهاجـرت کهکشانها در جهان انبساط یافتهٔ یکنواخت است. اگـر کیهان نسبـت به چـارچوب در حال حـرکت نبـود، منظرهٔ آن در تمـامی راستـاها یکسان و ثابت به نظر می‌رسید.

نقشهٔ پرتوهـای زمینه‌ای کیهان، سرعت ما را در جهـان با دقت کامل بیان مـی‌کنند که تندی و راستای حـرکتمان چیست؟ با دقتی حدود چنـد درصد؛ بهتر از سرعت سنـج ماشین اسـت. این بـدان معنی اسـت که در خـلال جهان، هـر جسمـی با سـرعتی در حـال حرکـت می‌بـاشد. چرا که سـرعت مطلق بـا قوانین فیـزیکی در واحد زمان کـه فقط حرکـت نسبی را



شکل ۱۲ـ نقشهٔ ریزموجهای زمینه‌ای آسمان از ماهوارهٔ اکتشافی زمینه‌ای کیهانی. هر نقشه، از درون فضا، تصویری از نور ریزموج است که نشان دهندهٔ تنوع درجهٔ حرارت یا میزان سختی پرتو است. در این طول موجها، آسمان توسط پرتوهای زمینه‌ای کیهانی اشغال شده است. لذا این نقشه‌ها، تصاویری از جهان اولیه می‌باشند. سایه‌های مختلف، با اختلاف ناچیز دما در راستاهای مختلف، متناسب هستند. چارچوب بالا نشانگر ناهمسانگردی دو قطبی ریزموج زمینه‌ای است. یعنی اختلاف از یك سوی آسمان با سوی دیگر آن که در نتیجه حرکت زمین در میان دنیا ایجاد گردیده است. پرتو یکنواخت و داغتر در قسمت جلو و پرتو خنکتر در پشت هستند. وقتی که این اثر کاهش می‌یابد. (تصویر وسط) کهکشان اثری از آلودگی را نمایش می‌دهد که مربوط به یك سری اختلافات ناچیز است. هنگامی که این نمونه نیز کاهش می‌یابد، پرتو به صورت هموار به نسبت چند بخش از یکصد هزار از تمامی جهات می‌آید (تصویر پایین). این تصویرها، مربوط به خود جهان هستند و حاوی اطلاعاتی در مورد ساختار عادی کیهان می‌باشند.

مشخص می‌کنند تعریف نشده است. در عوض این «اصل نسبیتی» سنگ بنای فرضیهٔ فضا ـ زمان ماست. به هر حال انتشار ماده و پرتوها در جهان، یك چارچوب مرجع تعریف می‌کند که در هر مکانی، خود چارچوبی است که طبق آن جهان در همهٔ جهات یکسان به نظر می رسد. منظومهٔ شمسی نسبت به آن چارچوب دارای حرکتی با سرعت ۳۷۰ کیلومتر در ثانیه به سوی مرکز صورت فلکی عذرا[1] حرکت می‌کند (شکل ۱۳).

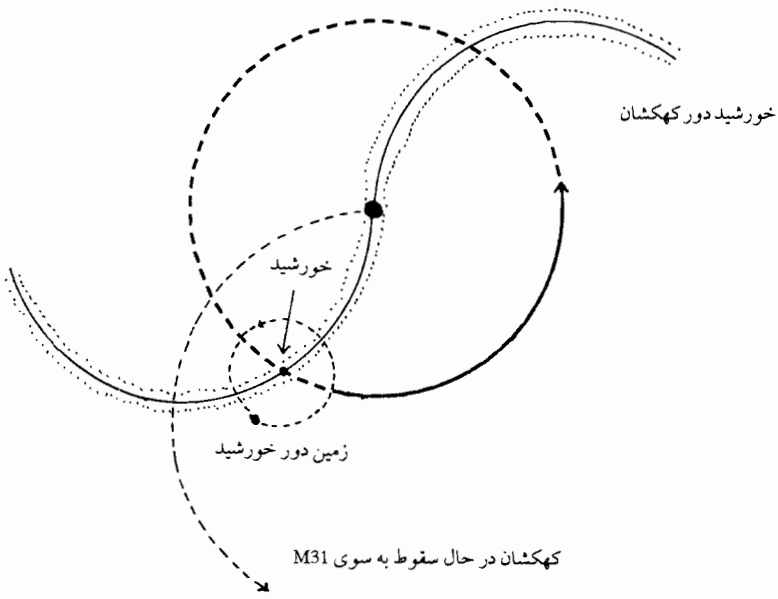
چون ۳۷۰ کیلومتر در ثانیه، ۰/۰۰۱۲ سرعت نور است. پس تغییر بسیار کمی در دما (در حدود ۱/۲ در هزار) در دو نقطهٔ مقابل هم در آسمان داریم. این اختلاف تدریجی که از حرکت، به وجود آمده، کاهش می‌یابد و پرتو باقی می‌ماند که به شکل حیرت آوری به نسبت چند قسمت در یکصدهزار دیده می‌شود. این خیلی صافتر از یك توپ بیلیارد است؛ یك قطعه یخ صاف و جَلا دیده که سر می‌خورد، ممکن است به همین میزان تغییر نزدیك شود.

تغییرات ذاتی کیهانی

احتمالاً اختلافات کوچکی که در دمای پرتوی زمینه‌ای ملاحظه می‌شود، پس از کاهش گشتاور، پاسخ این معمّا را در خود دارند که چرا پس از صدها میلیون سال، سرانجام ساختار کیهانی توسعه یافته است (بخش ۷را ببینید).

شاید پیش از این نقشه‌هایی از جلوه‌های آسمانی با تغییرات در مقیاس بزرگ را دیده باشیم که به گونه‌ای ناهمگون، تصویری واقعی و مستقیم به ما می‌دهند که توسط پستی و

۱ـ Virgo ـ مختصات حقیقی در عرض ۱۱ تا ۱۲ دقیقه دگرگون می‌شوند، کاهش ۷ ـ درجه‌ای که صورتهای فلکی عذرا و شیر را به سرحدات نزدیك می‌کند، ناهمسان گردی قابل مشاهده اندکی وابسته به فصول است. چرا که زمین سالی یك‌بار با سرعت ۳۱ کیلومتر در ثانیه خورشید را دور می‌زند. خورشید نیز باسرعت ۲۲۰ کیلومتر در ثانیه، درکهکشان در حال حرکت است که سیصد میلیون سال به طول می‌انجامد تا یك دور کامل بزند. بنابراین تغییری در راستا مشاهده نمی‌کنیم. خود کهکشان هم با سرعت ۶۰۰ کیلومتر بر ثانیه با سرعتی که نسبت به چارچوب کیهانی سریع است، در حال حرکت می‌باشد. تمام این‌حرکتهای منظومهٔ شمسی باعث ایجاد دو قطبی یا ناهمسان‌گردی می‌شوند.



شکل ۱۳ـ انواع حرکتهای زمین نسبت به چارجوب مرجع کیهانی و قسمتی از درجه بندی دستگاهها که متعلق به آن است. وقتی که همه با هم جمع می‌شوند، ما در حال حرکت با سرعتی حدود ۳۷۰کیلومتر در واحد زمان نسبت به چارچوب محلی کیهانی هستیم.

بلندیهای دما در شکل ۱۲ نشان داده شده است. احتمالاً از میان تغییرات اصلی که پیش از این در ترکیب دو باره جهان معرفی شده‌اند، تغییرات به وسیلهٔ ترکیبی از سرخ‌گرایی امواج گرانشی، حرکتهای ماده و انواع حقیقی دما مشخص شده‌اند. این احتمال وجود دارد که جهان در ترکیب مجدّد خود هموار و صاف بوده و این چین و چروکها و ناهمواریها پس از آن به وجود آمده باشند. چین و چروکها، آثار حوادثی هستند که باعث شده‌اند جهان، به صورت یك ساختمان متحول گردد. اطلاعات کنونی، با بسیاری از الگوهای شکل گیری ساختاری انطباق دارند. (به عنوان مثال با چیزهایی که بر پایهٔ واکنشهای زنجیره‌ای گسترش ستارگان هستند) و معتقدند که چین و چروکها آثار بر جای مانده از تورّم هستند. به زودی

نقشه‌های جدیدی از پرتوهای کیهانی با اطلاعات دقیق توسط ماهواره‌های پیشرفته تولید خواهند گردید. این نقشه‌ها حاوی اطلاعات کافی برای ما هستند تا علل دقیق «ناهمسان گردی» و ساختارهای کیهانی را مثل ارزش بسیاری از متغیرهای کیهان شناسی استدلال کنیم. نمونه‌ها این گونه پیش بینی می‌کنند که تجزیه و تحلیل دقیق تر، امواج کوچك با دامنه‌ای بزرگتر را در دستگاه زاویه‌دار نشان خواهد داد. ولی به صورت ساختاری در ریزترین مقیاسهای بسیار کوچك می‌باشند. پیدایش درست و دقیق نقشه‌ها، به تحولات به وجود آمده در فیزیك نوین بستگی دارد.

رنگ نور اولیّه

تماشایی‌ترین و دقیق‌ترین تأیید در مورد «انفجار بزرگ» در طیف رنگ تابش زمینه‌ای کیهانی یافت شده است. طیف پرتو نورانی، ترکیبی از رنگهای خودش است که متناسب با انرژی نورانی هر طول موج می‌باشد. نور خورشید عبور داده شده از میان یك منشور یا یك قطرهٔ کوچك آب، یك رنگین کمان را ظاهر می‌کند که نشان می‌دهد نور خورشید، ترکیبی از رنگهای خالص گوناگون است. ترکیب کلی دقیق ــ درخشش هر رنگ ـ متناسب است با رنگهای دیگر که در مورد دما و ترکیب ساختاری خورشید، توضیحاتی به ما می‌دهد.

نور همیشه از بعضی از انواع مواد گسیل کننده سرچشمه می‌گیرد و طیف نور اطلاعاتی در مورد جایی که از آن سرچشمه گرفته را به همراه می‌آورد. چون تمام رنگها در خلأ با سرعت یکسانی منتشر می‌شوند، ترکیبی از رنگها در یك پرتو نورانی با گذشت زمان تغییر نمی‌کند. ولی به طور یکنواخت این کار را انجام می‌دهد و همهٔ طول موجها را متناسب با اندازهٔ جهان تغییر می‌دهد. فضا در پی انبساط یافتن بر بسیاری از رنگها بی تأثیر می‌گردد. طیف زمینه‌ای ریزموج، جهان اولیّه را به یاد می‌آورد.

نور منتشر شده از خورشید، یك ترکیب تصادفی از رنگها نیست. ولی یك ترکیب خاص از نور خروجی خورشید، چگونگی انتشار نور خورشید را مشخص می‌کند. جای شگفتی است که این ترکیب، همانند آن پرتو اصلی اولیه می‌باشد. به جز این که پرتو اصلی

سردتر و خالص بوده است. طیف نور ریزموج زمینه‌ای سرچشمه خود را دقیقاً حکایت می‌کند. همانند سرخ لیزری، سبز چمنی و آبی آسمانی. طیف مذکور آن چیزی را دارد که فیزیکدانها آن را طیف «جسم سیاه»[1] نام گذارده‌اند (شکل ۱۴). رابطهٔ ریاضی مربوط به آن نیز در اواخر قرن نوزدهم در فرمول طیف جسم سیاه ماکس پلانگ کشف گردیده بود[2].

طبق قانون ریاضی، این طیف از آن جا ناشی می‌شود که، نور به صورت بسته‌های گسسته یا پاکتهای انرژی است که «فوتون» نامیده می‌شوند. چنین می‌نماید که در هر زمان، فوتون می‌تواند آزادانه خلق و نابود شود و می‌تواند با فرآیندهایی که با ماده انجام می‌دهد، انرژی را به صورت دیگری تغییر دهد. بنابراین، انرژی آنها جنبهٔ تصادفی دارد. این یك مثال از فیزیك آماری است. دقیقاً مثل این که اگر چندین مرتبه سکه‌ای را به بالا پرتاب کنید، نصف دفعات یك روی سکه می‌آید. میدانهای الکترو مغناطیسی که از نور ناشی می‌شوند، مانند فنرهای متصل به هم عمل کرده شروع به لرزیدن می‌کنند (اثر دما) قطعاً انرژی جنبشی در یك مسیر معین، بین لرزش تند و کند، مربوط به مقادیر داده شده، توسط فرمول پلانگ توزیع می‌شود.

فرمول پلانگ، ترکیبی از رنگها را که از یك قطعه ماده در یك دمای ثابت می‌آید توضیح می دهد. طیف تنها به یك عدد (میزان انرژی لازم برای تولید فوتونها) وابسته است. این با دمای جسم تاریك تعیین می‌گردد. رابطه می‌گوید که اجسام داغتر، نور بیشتری را نسبت به اجسام سرد منتشر می‌کنند، همچنین بیان می‌دارد که مطابق با نور طول موجهای کوتاه تر، اجسام داغ اساساً فوتونهایی با انرژی بالاتر آزاد می‌سازند.

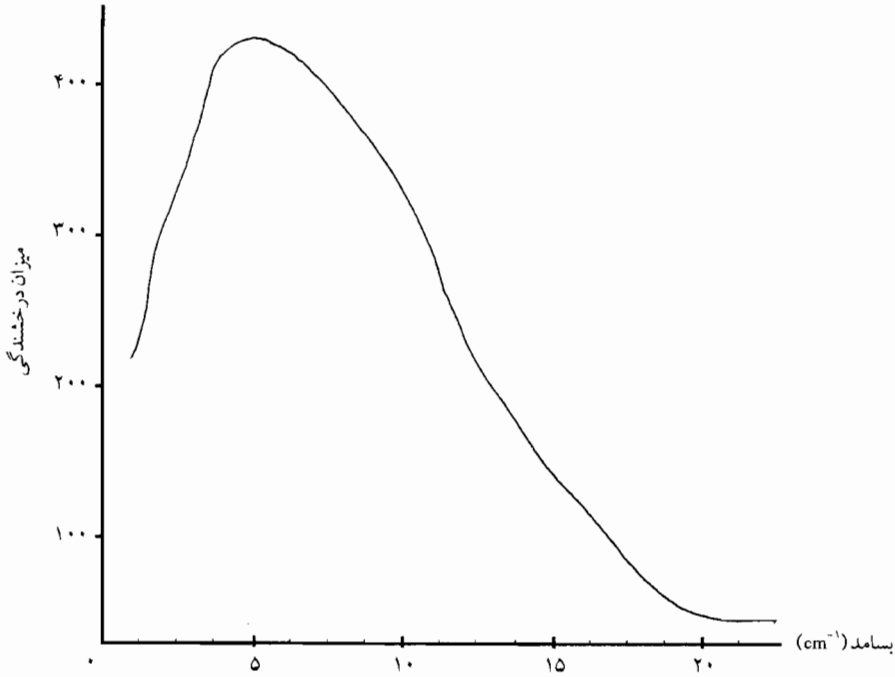
طیف پلانگ، ترکیبی از نور منتشر شده توسط موادی است که دارای خاصیت

---

1 - Black body spectrom.

۲ ـ رابطهٔ پلانگ به این صورت است: $B\nu \frac{2h\nu^3}{C^2} \frac{1}{e^{h\nu/kt}-1}$

که در آن B_ν انرژی فشار در بسامد ν و h ثابت پلانگ است (که این مقدار انرژی و بسامد را طبق نخستین صورت نظریهٔ کوانتوم در فیزیك به هم مربوط می‌کند). c سرعت نور و k ثابت بولتزمن است که واحد دما را به انرژی تبدیل می‌کند و بر پایهٔ ترمودینامیك این گونه نتیجه می‌دهد که نوع انرژی برای هر ذره از گاز به صورت kT است) و T دمای جسمی است که نور را گسیل می‌کند (اطلاعات مربوط به آسمان در دمای ۲/۷۲۶ کلوین یعنی دمای مربوط به کیهان، منطبق است).



شکل ۱۴ـ طیف ریزموج زمینه‌ای کیهانی که به وسیلهٔ ماهوارهٔ اکتشافی زمینهٔ کیهانی، اندازه‌گیری شده است. میزان درخشندگی در مقابل بسامد رسم شده است. انحنا، طیف یك جسم سیاه را نشان می‌دهد. هیچ گونه انحرافی به چشم نمی‌خورد (اندازه‌گیریهای آزمایشی، غیر قابل اطمینان در طیف اندازه‌گیری شده خیلی کوچکتر از پهنای خط رسم شده هستند). این تصویر به نسبت چند بخش در ده هزار با فرمول پلانگ موافق است. یك لامپ و یك اجاق گاز، پرتو جسم سیاه گرمتری را منتشر می‌سازند. طیفهای آنان و طیفهای تمامی مواد کدر، خیلی نزدیك به این منحنی هستند. بویژه که درجه بندیهای افقی برای دماهای بالاتر مختلف و مربوط به طول موج کوتاه تر و میزان سختی بالاتر می‌باشند. تابشهای زمینه‌ای، کاملترین طیف جسم سیاه شناخته شده به شمار می‌روند. نهایت دقت و صحت در مورد این اندازه‌گیریها، همان میزان دقت اجسام سیاه مصنوعی می‌باشند.

حرارتی و تأثیرگذاری با پرتوها می‌باشند. اگر چه دمای مخصوص عوض می‌شود، این شکل طیف در همه جا وجود دارد. این طیف برای نوری که از خورشید می‌آید و نور یك لامپ روشن و نور فروسرخی که از بخار بر می‌خیزد یا نور یك اجاق و یا پرتو قابل مشاهدهٔ خنکی که در روی ساحل شنی پس از غروب آفتاب احساس می‌کنید، یکسان است. نور

خورشید به دلیل دمای بالایی که در سطح آن است، ـ که تقریباً ۵۸۰۰ کلوین می‌باشد ـ طول موج کوتاهی دارد. بیشتر انرژی با طول موجهایی منتشر می‌گردد که با چشمهایمان می‌توانیم آنها را ببینیم و حتی بعضی در ناحیهٔ انرژیهای ماوراء بنفش بالاتری منتشر می‌شوند که باعث سوختگی می‌گردد. رشتهٔ فلزی یك لامپ روشن در یك دمای به خصوص تبخیر می‌شود. حتی داغ‌ترین لامپهای هالوژنی، از خورشید سردتر هستند. بنابراین بیشتر نورشان در فوتونهایی متناسب با انرژی پایین تر نمایان می‌شود. از این رو، نور لامپها به تناسب، بیشترین نور فروسرخ نامرئی را منتشر می‌کند که مانند گرما و نور ماوراء بنفش دریافت می‌شود. در بیشتر موارد، شنهای گرم ساحل با دمای ۳۰۰ کلوین، چندین برابر خنکترند و نور آنها با طول موج بلندتر خود نمی تواند به آسانی به سطحی از میان اتمسفر زمین که به دلیل وجود دی اکسید کربن، متان و آب غلیظ است، بر گردد. دمای سیصد کلوین، مطابق با یك طول موج نوری در حدود ۱٪ میلی متر یا بیست مرتبه بیشتر از نور مرئی است.

انرژی پرتو زمینه‌ای کیهانی، حتی به طول موجهایی بلندتر از ۵ تا ۰/۵ میلی متر نیز می‌رسد. این تقریباً صد مرتبه بلندتر از نوری است که از شنهای ساحل می‌آید و صدبار سردتر می‌باشد. شگفت انگیز آن که طیف این نور کمتر از یك‌بخش در هزار است‌که با فرمول دقیقی که پلانگ در سال ۱۹۰۰ برای پرتو جسم تاریك نوشت، مطابقت دارد. به عبارت دیگر با یك عدد (دما)، یك فرمول ریاضی‌ساده‌قادر است طیف‌کاملی از نوری‌که از تمام آسمان می‌رسد، بدهد. تا با یك دقّت‌بیشتر از ده درصد، نمایانگرسازه ده برای‌طول موج باشد. این نتیجه‌گیری ساده ولی دقیق، پیش از این که در آسمان پدیدار شود، به وسیلهٔ انفجار بزرگ پیش‌بینی شده بود. دمای واقعی آسمان ۲/۷۲۶ درجه کلوین است که به ندرت بالای صفر درجه مطلق و تقریباً دو هزار مرتبه‌سردتر از دمای‌خورشید است. ولی در تمامی‌سایر قسمتها، طیف آن دقیقاً یکسان است. وقتی که جهان دوهزار مرتبه کوچکتر از امروز بوده است، نور در هر جایی دقیقاً مشابه سطح خورشید دیده می‌شده است[1] . چون طیف‌پلانگ در کل‌مکانها رخ می‌دهد. ممکن است این مطلب که این نور از آسمان می‌رسد، قابل ملاحظه نباشد، مگر این که به

۱ ـ در واقع جهان یك جسم سیاه کاملتری نسبت به خورشید است که در زمینه‌هایی همچون لکه‌های خورشیدی، طوفانهای خورشیدی و خطوط جذب دارای نقص است.

خاطر بسپاریم که مادهٔ امروزی جهان اصولاً یك جسم سیاه نیست، بلکه شفّاف است. ما کهکشانها و اختروشها را در فواصل زیاد، حتی با نور مرئی و نیز امواج کوتاهی که هنوز مؤثرترند، مشاهده می‌کنیم. ریزموجهای زمینه‌ای، از آن سوی آسمان تاریك بین ستاره‌ها و کهکشانها آمده است. به‌نحوی، جهان در آن قسمت‌عقب، طیفی از نور می‌سازد که عیناً شبیه یك ستارهٔ درخشان ولی خیلی سردتر از آن مشاهده می‌گردد.

طیف جسم سیاه بازگو می‌کند که جهان همواره روشن نبوده است. به منظور ایجاد طیف پلانگ، نور، بسیاری از طول موجها را با مادهٔ خالصی در یك دمای واحد جفت می‌کند. در طول موجهای دیده شده، جهان شفاف است و پرتو هم اینك آزادانه در فضا سیر می کند. لذا کُنش و واکُنش ماده نمی‌تواند یك طیف جسم سیاه را ایجاد کند. در الگوی انفجار بزرگ، طیف جسم سیاه، یادگاری از یك مکان چگال‌تر، داغتر، قدیمی‌تر است که در آن هنگام، واکنش پرتو با ماده مؤثرتر بوده است. جهان یك جسم تاریك است. به همان دلیلی که نور ستاره وجود دارد و طیف به طور مستقیم به ما می‌گوید که جهان از یك حالت اولیهٔ غلیظ و گرم، مانند حالت ماده و پرتویی که امروزه در ستاره‌هایی از قبیل خورشید می باشند، بوده است. صحّت و درستی طیف جسم سیاه که هم اکنون اندازه‌گیری می‌شود، نشان می دهد که دست کم۹/ ۹۹ درصد انرژی که می‌بینیم، در زمانی که جهان یك میلیون برابر کوچکتر و به همین نسبت داغتر از امروز بوده، نیز وجود داشته است. دمای مذکور که چندین میلیون درجه بوده، تقریباً به گرمی مرکز خورشید بوده است.

از گسترش کامل جهان در آن زمان، تنها چند هفته گذشته بود و هنوز بیشتر جرم آن از پرتوها بوده نه مواد. اگر چه پرتو زمینه‌ای به طور مستقیم کانون و مرکز الگوی انفجار بزرگ را مورد تحقیق و بازبینی قرار می دهد، از نخستین هفته‌های انبساط آن، چیزی را حکایت می‌کند که ما انتظار داریم از ساده‌ترین الگوی انفجاربزرگ‌به آن دست‌پیدا کنیم. هیچ الگویی دیگر حتی الگوهای پیچیده‌تر، اطلاعات را به گونه‌ای قوی و قابل اعتماد مشخص نمی‌کند[1].

۱ ـ اگر چه تابش در پهنهٔ آسمان دقیقاً یکنواخت نیست، تغییرات ایجاد شده به سبب تغییرات دما جسم سیاه است و این چیزی است که برای طیف جسم سیاه پیش بینی شده است، تکرار می‌کنیم که تغییرات دما ناشی از حرکت زمین ، تنها ۱/ ۰ درصد می‌باشد، و تغییرات ذاتی هنوز بسیار کوچکترند.

اگر چه فوتونهای زمینه‌ای در زمانی که جهان یك میلیون برابر کوچکتر از امروز بوده، سرچشمه گرفته‌اند و تا مدت زیادی پس از آن پراکندگی مواد را ادامه و به کرّات راستای خود را تغییر دادند، ما جهان اولیه را از میان نوعی مه می‌بینیم، ولی همانند یك تودهٔ نوری که در پشت مه پنهان شده، رنگ آن قابل مشاهده است. حتی اگر چه نمی‌توانیم به جزئیات آن پی ببریم. نخستین زمان ممکن برای این که یك تصویر واضح از اجسامی که از طول موج نوری استفاده می‌کنند، زمانی است که ۱۱۰۰ مرتبه کوچکتر از اندازهٔ کنونی بوده و دمایی در حدود سه هزار درجه کلوین و سنّی معادل نیم میلیون سال داشته است. در آن زمان، گاز اولیه و ابتدایی ماده از حالت پلاسمایی[1] کدر و تیره به صوت یك گاز طبیعی شفاف تغییر کرده است. درست مثل گاز موجود در سطح خورشید که به صورتی شفاف تبدیل به جوّ زمین گردید ولی تقریباً به طور کامل از هیدروژن و هلیوم تشکیل شده است. وقتی که نقشهٔ زمینهٔ کیهانی را ترسیم می‌کنیم، در واقع داریم تصاویری را که تا آن زمان به صورت غیر راکد از جلو دریچهٔ تلسکوپ عبور کرده‌اند جمع آوری می‌کنیم. این، دورترین مسافتی است که از هنگام انفجار بزرگ به طور مستقیم می بینیم. مگر این که زمانی موفق به ابداع دورنگرهایی شویم که به جای نور، نسبت به ورود نوترونها و امواج گرانشی حسّاس باشند.

طیف تابشی زمینهٔ کیهانی، هیچ چیزی را پیش از نخستین هفته‌ها، خاطر نشان نمی‌سازد، مگر مجموع کلی مقدار انرژی را. این اطلاعات، به صورت یك عدد نگه داری می‌شود که میزان انبساط جهان را در خود نهفته دارد. مجموع عددی فوتونها، به مقادیر نوترونها و پروتونها تقسیم می‌گردد که عدد فوق العاده بزرگی (بیشتر از یك بیلیون) است. اگر ذرات موجود در جهان را شمارش کنید، تقریباً تمامی آنها، ذرات نوری هستند نه مادّی[2]. در الگوی انفجار بزرگ تا زمان پیدایش خود ماده، این عدد ثابت باقی می‌ماند. این عدد، بسیار بزرگ است. چرا که ماده در زمان پیدایش، تنها دورنمایی آمیخته با نور بوده است.

---

1 - Plasma.

۲ ـ چنانچه به جای تعداد، جرم را اندازه گیری کنید، اتمها به نسبت هزار به یك بر ریز موجهای زمینه‌ای برتری دارند. ولی در گذشته، پرتو به خوبی بر جرم برتری داشت. توجه کنید که تقریباً تمام فوتونها، حتی در جهان امروزی، از انفجار بزرگ سرچشمه گرفته‌اند. تمامی نوری که ستارگان را ترك می‌کند و در میزان کل انرژی پرتو زمینه‌ای کیهانی دخالت دارد، تنها یك هزارم «فوتون» دارد.

«مادهٔ اولیّه»

علاوه بر پرتو زمینهٔ کیهانی، انفجار بزرگ در ورای خود اثر مهم دیگری نیز بر جای گذارده است. یعنی تمامی اجسام موجود در فضای امروزی ترکیب این مواد کلید خاستگاه و مبدأ خودشان را در بر دارند.

اگر چه طیف تابش، تمامی رخدادهای چند هفتهٔ نخست به استثنای تعداد اجسام و پرتوهای مربوطه را از یاد برده، انفجار بزرگ بسیاری از آثار قابل اندازه‌گیری رویدادهای اولیه را بر جای گذاشته است. برخی از جنبه‌های ترکیب هسته در مواد، یعنی عناصری که ماده از آنها تشکیل شده، یک گزارش جزبه جز از حوادثی را بر جای گذاشته است که در زمانی رخ داده‌اند که جهان تنها یك ثانیه سن داشته است و دمای آن بالای ده بیلیون سانتی‌گراد یعنی یك هزار مرتبه داغتر از دمای مرکز خورشید بوده است.

یکی از همین آثار بر جای مانده، فراوانی عناصر سبك است. بویژه ساده‌ترین نمونه از عناصری نظیر هیدروژن با یك پروتون، هلیوم با دو و لیتیم با سه پروتون. این مطلب که جهان تقریباً به طور کلی از هیدروژن و هلیوم تشکیل شده، عین واقعیت است و این به علّت حوادثی است که در اوایل انفجار بزرگ رخ داده‌اند.

هر هستهٔ اتم می‌تواند در ایزوتوپها (همجاهای) پایدار مختلفی وجود داشته باشد که به تعداد نوترونها بستگی دارد. به عنوان مثال: هیدروژن می‌تواند با تنها یك پروتون، یا به

عنوان دوتریم با یك نوترون اضافی و هلیـوم معمولاً با دو پروتون و دو نوترون در یك شکل سبك پایدار ظاهر گردد (He^3 فقط با یك نوترون). بسیاری از رفتارهای هسته‌های اتمی ثابتند. معمولاً شکلهـای پایـدار همیشه تعدادی نـوترون کـه تقریبـاً از نظر عددی نـزدیك بـه تعداد پروتونهاست، دارند. واکنشهای قوی به نوترونها این اجازه را می‌دهند که پروتونهایی را که از نظر بار الکتریکی دافع هستند به هم نگه دارند و وجود پروتونها، به وسیلهٔ واکنشهای ضعیفی که دارند، نوترونها را از نابودی و اضمحلال حفظ می‌کند.

تکامل تدریجی هستهٔ کیهانی که از هنگام وقوع انفجار بزرگ رخ داده است، اغلب به صـورت درون ستاره‌ای اتفـاق می‌افتـد، پیوسته انرژی را از واکنشهـای هسته‌ای استخـراج می‌کنـد و هستهٔ اتم را بـه آرامی به سوی هستـهٔ آهن ۵۶ با ۲۶ پـروتون و ۳۰ نوترون هـدایت می‌کند که کمترین سطح انرژی را دارد[1] . آمیزش حقیقی انواع هسته‌ها ـ فراوانی ایزوتوپهای گوناگـون تمامی عناصر، یك یـادگار بر جای مانـده از تاریخ هسته‌ای کیهانی اسـت. عناصر سنگین، گـزارشهایی از فعـالیّت هستـه‌ای ستارگان در بیشتـر از بیلیونها سـال پیش بـه شمار مـی‌روند. اگـر چـه جهان هنـوز به مقـدار بسیـار زیادی از هیـدروژن و هلیـوم درست شـده است(زیرا اینهـا عناصری هستند که در طی انفجـار بزرگ و داغ تولید شده‌اند) ولـی الگو به درستی مخلـوط کوچکـی از دوتریـم و لیتیم را پیـش گویـی می‌کنـد. تمامـی این فـراوانیها، اطلاعاتی را در مورد میزان ماده و نور در جهان نخستین، ثبت می‌کنند.

منشأ هیدروژن و هلیوم

کوچکترین و ابتدایی ترین اجزای تشکیل دهنـدهٔ تاریخ جهان به نخستین و ساده ترین زمان باز مـی‌گردد. کوارکها، الکترونها و ذرات بنیـادین، از فرآیندهای شناختـه شدهٔ نخستین میلیونیـم ثانیه خلقت سـر چشمه گرفته‌انـد که در تاریکـی فرورفته‌اند. اجتمـاع این ذرات در

---

۱ ـ هستهٔ اتم سنگین‌تر از این تمایل به از هم پاشیدگـی دارد. در عوض، نمونه‌های خیلی سنگین‌تر از این حتی نمی‌توانند برای یـك دورهٔ کوتاه مدت بـا هم در یك جـا باشند. هسته‌هـای سنگین‌تر (حتی آنهـا که ناپـایدارند)، به هـر شکلی می‌توانند باشند.

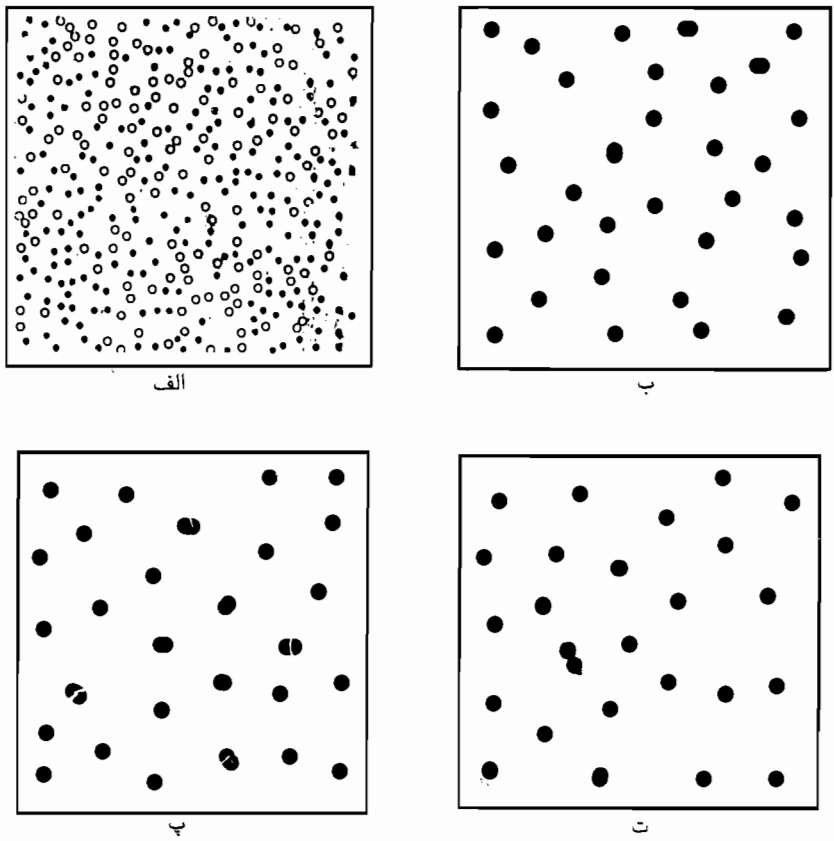
نوترونها و پروتونها و سپس در هسته‌های پایدار هیدروژن، دوتریم، هلیوم، لیتیم، در خلال نخستین ثانیه‌ها اتفاق افتاده است. علاوه بر این، می‌توانیم نظریه‌های خود را با انجام اندازه‌گیریهای اساسی کیهان، برای مکانهایی که توسط فرآیند هسته‌ای در ستارگان تغییر کرده‌اند، مورد بررسی قرار دهیم.

در دمای بالا، ذرات به قدری انرژی دارند که در هنگام برخورد به هم، به تکه‌های کوچکی تقسیم می‌شوند. در دماهای چندصد درجهٔ سانتی گراد، اتمها از مولکولها بیرون رانده می‌شوند. (این اتفاق در زمانی روی می‌دهد که شما غذا درست می‌کنید) و الکترونها در دماهای چند هزار درجهٔ سانتی گراد، از اتمها به بیرون رانده می‌شوند. در دماهای بالاتر، حتی هستهٔ اتمها شکافته می‌شود. در دماهای بسیار بالا، ترکیبات هستهٔ طبیعی اتمی همچون نوترونها و پروتونها، پیوسته به سوی یکدیگر عقب و جلو می‌روند که به وسیلهٔ تأثیرات ضعیف با الکترونها و نوترونهای پر انرژی و بسیار زیادی پخته می‌شوند[1] . مجموع مقادیر نوترونها و پروتونها، هیچ گاه تغییر نمی‌کند. زیرا در این دما، جرم به وجود نمی‌آید و از بین نمی‌رود. فوتونها اندکی سنگین ترند. لذا تعداد آنها کمتر از پروتونهاست. جرم، حالت پروتون کم انرژی را ترجیح می‌دهد. هر چه مقدار سرمایی که می‌گیرد، بیشتر و اختلاف آنها بیشتر نمایان می‌شود. این دگرگونی در دو نوع هسته، با کاهش دمای جهان به حدود ده بیلیون درجهٔ سانتی‌گراد، متوقف می‌گردد و پروتونها و نوترونها به مقدار مساوی، معادل هفت برابر مقدار پیشین باقی می‌مانند (شکل ۱۵).

با توجه به واقعیت اصلی در مورد ترکیب مادهٔ طبیعی جهان، باید گفت که بیشتر از هیدروژن تشکیل شده است. عناصر سنگین تر به این نیاز دارند که دارای تعداد تقریباً مساوی نوترون و پروتون باشند. زیرا هسته‌هایی که در آنها، اختلاف زیادی بین نوترونهاو پروتونها به چشم می‌خورد، ناپایدارند. سرانجام، هنگامی که تنها چند دقیقه از عمر جهان سپری گردید و یك بیلیون درجهٔ سانتی‌گراد گرم بود، پروتونها و نوترونها آن قدر سرد شدند که با هم‌به هستهٔ

---

۱ ـ هنوز نوترونها در پیرامون ما هستند و تقریباً از نظر تعداد، هم اندازه فوتونها می‌باشند. ولی هم اکنون آن چنان تأثیر ضعیفی بر هم دارند که ما نمی‌توانیم آنها را به طور مستقیم آشکار سازیم. ممکن است آنها هنوز هم حائز اهمیت باشند؛ حتی اگر دارای جرم سکون کوچکی باشند، می‌توانند در بر گیرندهٔ بیشتر جرم جهان باشند.



شکل۱۵ـ جنب و جوش نوکلئونها، باریونهای جهان، زندگی را آغاز می‌کنند.
الف) به محض این که گونه های مختلف و رنگهای کوارکهای آزاد به وجود آیند، جهان نیز ضمن سرد شدن منقبض می‌گردد و در نوترونها (نقاط خاکستری) و پروتونها (نقاط سیاه) خلاصه می‌شود.
ب) به دلیل این که پروتونها از نظر تعداد از نوترونها پیشی می‌گیرند، بیشتر آنها به صورت منفرد باقی می‌مانند. در حالی که جفتهای کوارك محدود به هستهٔ اتم می‌شوند.
پ و ت) باقیمانده دنیایی که اغلب از هیدروژن و حدود یك چهارم هلیوم درست شده است.

اتم چسبیدند. آن گاه ذرات به طور موسیقی‌واری با هم‌بازی‌می‌کنند. هرنوترون برای‌خود یك جفت پیدا می‌کند. ولی از هر جفت پروتون، شش پروتون (شش پروتون از هر هشت پروتون یا سه چهارم نوکلئونها) نمی‌توانند هیچ گونه جفتی برای خود بیابند. بنابراین، برای همیشه یا

دست کم تا زمانی که راه خود را در ستارگان پیدا کنند، در هستهٔ هیدروژن باقی می‌مانند. این موضوع همچنین دلیل اصلی وجود نور ستاره و خورشید در جهان امروزی است. چرا که هیدروژن، سوخت اصلی ستارگان به‌شمار می‌آید. ستارگان به این دلیل می‌درخشند که هیدروژن با تبدیل برخی از پروتونها به نوترون ـ از طریق واکنشهای ضعیف ـ خیلی آرام به هلیوم تبدیل می‌شود. گرچه سه چهارم ماده به صورت هیدروژن نابود می‌گردد، رهایی یك چهارم دیگر آن تقریباً به صورت نوترون ـ پروتون است. برای تولید دیگر عناصر با هم به تعادل می‌رسند. تنها کسر کوچکی از این ناحیه هسته‌ای، یك بخش از ده‌هزار قسمت که به‌چگالی بستگی دارد، به صورت یك نوترون چسبیده به پروتون باقی می‌ماند. یك هسته دوتریم یا دوترون. در واقع تمامی دوترونها خیلی سریع دوترون دیگری را پیدا می‌کنندو برای شکل دادن یك هسته هلیوم، به یکدیگر می‌چسبند. از میان هشت نوکلئون، این حالت تنها برای یك پروتون و یك نوترون اتفاق می‌افتد. بنابراین الگوی انفجار بزرگ این گونه پیش گویی می‌کند که یك چهارم دنیا از جرم هلیوم به وجود آمده و سه چهارم آن از هیدروژن به همراه مقدار خیلی کم از دیگر مواد. این پیش گویی به طور قابل ملاحظه‌ای با آن چیزی که ما هم اکنون می‌بینیم، سازگار است.

عناصر سبک و چگالی باریون

در این مراحل ابتدایی، هنگامی که جرم تحت‌تسلط پرتو است، عملکرد اولیه‌ماده و پرتو به وسیلهٔ فیزیك مشخص می‌شود. کیفیت و چگونگی انبساط فضا به وسیلهٔ چگالی جرم پرتو مشخص می‌گردد که به‌نوبهٔ خود این‌نیز توسط دما تعیین‌می‌گردد. لذا در این‌جا فقط یك ارتباط بی‌نظیر میان میزان رشد توسعه و دما وجود دارد. در رایج‌ترین الگو، به منظور اصلاح و تنظیم چیزی که به وسیلهٔ آن دما را وادار کنیم تا با گذشت زمان رفتار متفاوتی از خود نشان دهد، وجود ندارد و در این مورد، هیچ گونه آزادی خاصی به‌چشم‌نمی‌خورد. حتی جزئیات مربوط به ترکیبات هسته‌ای، تنها به یك عدد یا الگو قابل‌تغییر بستگی دارد. این متغیر، عبارت‌است‌از نسبت عددی نوکلئونهای مواد (مجموع تعدادنوترونهاوپروتونها) یا باریونها به‌تعداد فوتونها. این‌متغیر مشخص کنندهٔ مخلوط ماده و پرتو است. ما به این عدد،

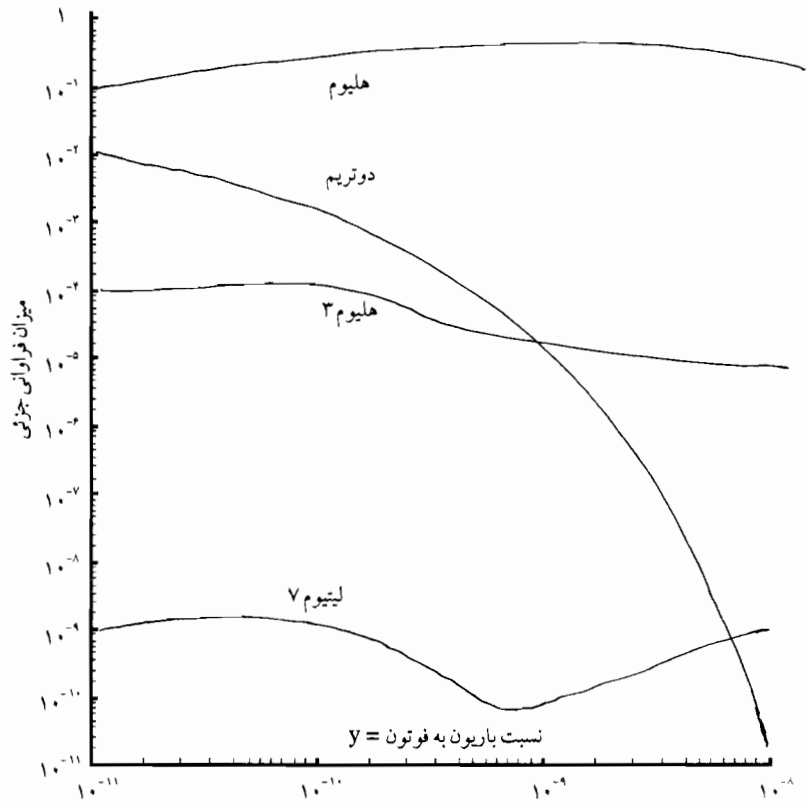
یك نماد خاص مثل J (اتا) نسبت می‌دهیم.

$$\eta = \frac{\text{تعداد نوکلئونها}}{\text{تعداد فوتونها}}$$

هر چه این مقدار کوچکتر باشد، ماده‌ای که متناسب با پرتو باشد کمتر است. این‌گونه تخمین می‌زنیم که η عدد بسیار کوچکی است. تنها چند باریون به ازای ده بیلیون فوتون. تسلط بسیار وسیع پرتو بر ماده، دلیل این است که ما الگوی خود را «انفجار بزرگ داغ»[1] می‌نامیم.

ولی η چیست؟ محاسبات دقیق، مقدار کسر هر عنصر سبك هیدروژن، دوتریم، هلیوم و لیتیم ۷ را به درستی پیش گویی می‌کنند که باید به ازای هر مقدار داده شده η، آن را از ساختمان اولیهٔ جهان پیدا کنیم. به طور دقیق می‌توانیم بر اساس تمامی عناصر سبك، الگوی انفجار بزرگ را به گونه‌ای دقیق و با مشاهدهٔ این مطلب که برای هر تغییری یك مقدار J وجود دارد، مورد آزمایش قرار دهیم. نظیر این گونه مشاهدات نه فقط برای هلیوم، بلکه به خوبی می‌توان در مورد دوتریم و لیتیم انجام داد. همچنین مقدار واقعی η به ما می‌گوید که چگونه بسیاری از باریونها در دنیای امروزی وجود دارد. با اندازه گیری پرتو زمینه‌ای کیهانی، به طور مستقیم تعداد فوتونهایی از انفجار بزرگ را که بر جای مانده‌اند اندازه می‌گیریم. هم اکنون تعداد (۲ ± ۴۱۱) فوتون بنیادین در هر سانتی متر مکعب از فضا قرار دارند. با گسترش جهان، مقدار η تقریباً ثابت باقی می‌ماند (از طریق طیف نگاری حرارتی می‌دانیم که انرژی نه چندان زیادی تا به حال به پرتو اصلی افزوده گردیده است). بنابراین، امروزه میانگین چگالی باریونها در حدود (η × ۴۱۱) در سانتی متر مکعب یا هر چیزی مثل یك یا دو اتم در هر ده متر مکعب است. لذا میزان فراوانی عنصر سبك اصلی، تنها الگوی انفجار بزرگ را مورد آزمایش قرار نمی‌دهد. بلکه یك برآورد از مقدار η و در نهایت مجموع مقدار ماده فراهم می‌کند. این برآورد به طور قابل ملاحظه‌ای نزدیك به مجموع تمام باریونهایی است که جهان را تشکیل می‌دهند و به شکل گاز و در ستارگان و میان کهکشانها وجود دارند (شکل ۱۶).

1 - Hot BIG - BANG.



شکل۱۶ـ حدسیات نظریهٔ انفجار بزرگ، در مورد فراوانی عناصر سبك، میانگین مقدار هر عنصر، به مجموع میانگین η ماده وابسته است. اطلاعات دقیق در مورد فراوانیها، به همان خوبی که به طور مستقیم چگالی باریون را تخمین می‌زنند، نشان می‌دهند که بین یك تا ده باریون به ازای ده بیلیون فوتون درحوالی مقدار میانی وجود دارد. توجه داشته باشید که بیشترین حد فراوانی از آنِ هلیوم در بیست و پنج درصد و کمترین آن متعلق به لیتیم با $۱۰^{-۹}$ می‌باشد.

اندازه‌گیری فراوانیهای اولیّه

این که جهان بیشتر از هیدروژن تشکیل گردیده، ازطریق تجربیات مشخص قابل درك

نیست. حتی این کـه کمتر از یك چهارم آن از هلیوم است وُ تـا قرن اخیر ناشناخته بـود. ما بر روی سیّاره‌ای در حال زیستن هستیم که برای نگه داشتن سبکتـرین گازها هم گرم است. چرا که ذرات سبـك نسبت بـه ذرات سنگین تـر، در یك دمـای معین، دارای سـرعتهای بیشتـری هستند. این ذرات سبك، به راحتی می‌توانند از کشش گرانشی سیاره فرار کنند. به همین علت است کـه هیدروژن و هلیوم مـوجود در زمین، مدتهـا پیش از این مجـاز به خروج گـردیده و راهی فضا شده‌اند. (البته به جز عناصری که در آب و دیگر مولکولها محبوس هستند). هلیوم حتی به شکل مولکـولی وجود ندارد. لذا، در سطح زمین فوق العـاده کمیاب است. در واقع در همین جـا فقط به همین دلیـل هلیوم وجود دارد که از طـریق نابـودی مواد پرتوزا عنـاصر سنگین‌تر تولید گـردیده‌اند. ولی در جاهای دیگر دنیا، هیـدروژن و هلیوم در همه جا حضور دارند. آنها در خورشید و در دیگرسیّارات منظومهٔ شمسی و در هرجای دیگردرمیان ستارگان وجود دارند. به خاطـر این که ستارگان، هیدروژن را به هلیوم تبدیل مـی‌کنند، میانگین مقدار هلیوم بنیادین در جهان، بهترین برآوردی است که به وسیلهٔ کنکاش و بررسی گازهای موجود در کهکشانهای نزدیك ظاهر شده‌اند نه از شکل گیری انبوه ستارگان اصلی. این کهکشانها در عناصری مثل آهن و کربن که فقط در ستارگـان ساخته می‌شوند، از کهکشان ما ضعیفتر عمل می‌کنند. همچنین این کهکشانها باید در هلیوم افـزوده شده از این ستارگان به هلیوم دفع شده ازانفجار بزرگ هم ضعیفتر باشند. رنگهای معرفی شـدهٔ نور که از این گاز انتشار یافته است، نشان می‌دهد که خیلی از الکترونها در حال ترکیب شدن با اتمهای هیدروژن و هلیوم هستند. (این بـرای محاسبهٔ مقـادیر نسبی هیدروژن و هلیـوم بر جای مـانده از انفجار بـزرگ است). تقریباً آن گونه که انفجار بزرگ حدس می‌زند، هلیوم شکسته شده، توسط جرم به احتمال ۲۳ تا ۲۴ درصد قـابل مشاهده اسـت. با تغییر η از یك تـا ده باریون بـه ازای ده بیلیون فـوتون، احتمال فروپاشی هلیوم نیز از حدود ۲۲ درصد تا ۲۵ درصد تغییر می‌کند.

به خاطر این که این احتمال و حدس نسبت به مقدار η بی تأثیر است، لذا مقادیر مرتبط با هیدروژن و هلیوم، فوق العاده موردتأیید الگوی انفجار بزرگ هستند. این‌الگو به‌یك حدس صریح دست یافته که درست به‌نظر می‌رسد. قضاوت در این زمینه‌به‌شدت‌به‌متغیرهای داخلی بستگی دارد و به همین دلیل است که فراوانی هلیوم، سبب ایجاد یك آزمایش جامع‌و کامل بر

روی مدل خودش می گردد. بنابراین، برای تخمین زدن مقدار η ، استفاده از هلیوم، بهترین روش نیست. مقدار و فراوانی دوتریم، ایزوتوپ سنگین هیدروژن، برای محاسبهٔ مقدار η خیلی مؤثر است. لذا [این ایزوتوپ]، برای بررسی بهینه بر روی چگالی باریون مؤثرتر است. به علاوه شاید انفجار بزرگ تنها سرچشمهٔ دوتریم در جهان باشد. لذا بر خلاف هلیوم، اگر مقدار کمی دوتریم پیدا شود، می‌توانیم به صورت عاقلانه‌ای فرض کنیم که این دوتریم به طور مستقیم از انفجار بزرگ به دست آمده و هرگز از میان هیچ ستاره‌ای عبور نکرده است[1].

انفجار بزرگ در ورای خود، دوتریم را برجا می‌گذارد. چرا که اتفاقات برای رخ دادن، به سوختن کامل هسته‌ای به صورت خیلی سریع نیاز دارند. در این جا، تنها وقت یك غذای فوری است! (در انفجار بزرگ سنتز هسته‌ای ظرف چند دقیقه به پایان رسید. همان گونه که در ستارگان رخ می‌دهد، جایی که عناصر دیگر ساخته می‌شوند. عمل سوخت هسته‌ای برای میلیونها سال یا بیلیونها سال به طول می‌انجامد). این دوتریم، اجازهٔ بقا و زندگی می‌یابد، یعنی تولید یك سوخت ضعیف که در ستارگان تمامی راهها را برای تولید بیشتر هسته‌های پایدار مثل هلیوم درست می‌کند. هر کسی می‌تواند از دوتریم به عنوان یك سوخت ناقص همانند زغال سنگ و چوب نام ببرد. چرا که هیچ گونه زمانی برای سوختن همهٔ مقادیر آن وجود ندارد و پیش از خاموش شدن، آتش، به خاکستر تبدیل می‌شود. به همین دلیل است که اگر چگالی ماده در انفجار بزرگ پایین تر باشد، بیشتر از آن ماده باقی می‌ماند. هر چه جرم، کمتر باشد، تأثیر انفجار هسته‌ای نیز کمتر است.

اندازه گیری کارکرد اصلی دوتریم کار مشکلی است. چرا که ما در یك کهکشان آلوده و میان سال زندگی می‌کنیم که در طی ده بیلیون سالی که از پیدایش آن گذشته، فرآیندهای شیمیایی بسیار زیادی را انجام داده است. دوتریم می‌تواند در داخل ستارگان متوسط موجود

---

۱ ـ این سخن برای تمامی دوتریمها درست است. حتی برای بخشی از آب دریا که به جای اتم هیدروژن، یك دوتریم دارد. تقریباً از هر ده هزار اتم هیدروژن آب، یکی به صورت هیدروژن سنگین است. یك اتم در میان ده هزار اتم دیگر شاید خیلی چشمگیر نباشد. ولی همین نسبت سبب می‌گردد که دوتریم از عناصری چون کربن و آهن در جهان پیش پا افتاده‌تر گردد. دوتریم تنها طی انفجار بزرگ به وجود آمده، در حالی که پیدایش عناصر سنگین تر از لیتیم، تنها به دنبال فرآروندهای داخلی ستارگان صورت گرفته است. جایی که دوتریم در آن نابود می‌گردد.

در کهکشان راه شیری یا در ابرهای حامل گاز هیدروژن که در میان ستارگان قرار دارند، اندازه‌گیری شود. بنابراین دوتریم به راحتی در ستارگان نابود گردیده است و این بدان علّت است که در بسیاری از زمانها بیشتر گازها در کهکشانها و در داخل یا خارج ستارگان بوده‌اند (که این مدت بر ما مشخص نیست). شاید بتوان گفت بهترین شیوه برای اندازه‌گیری میزان فراوانی دوتریم اولیّه و اصلی در جهان، تلاش برای یافتن آن در داخل کهکشان خود ما نیست. بهتر این است بتوانیم برخی از فلزات اصلی و قدیمی حقیقی را در اختیار داشته باشیم.

اگر چه نمی‌توانیم مواد را به داخل آزمایشگاه بیاوریم، می‌توانیم در پی اجزا و ترکیبات آنها باشیم. تابنده ترین اجسام در جهان، یعنی اختروشهای درخشان، آن قدر از ما دور هستند که نور رسیده از آنها، زمانی آنان را ترك کرده است که اندازهٔ جهان به اندازهٔ یك چهارم اندازهٔ کنونی آن و سنّ آن نیز یك دهم سنّ فعلی آن بوده است. در آغاز زمان، نور این اختروشها از میان ابرهای گازی قدیمی که هنوز به داخل کهکشانها راه نیافته بودند، عبور می‌کنند و به ما می‌رسند. درحالی‌که در آن زمان هنوز نور پراکنده‌شده از اختروشها تحت‌تأثیر شدید ستارگان نبوده است. ترکیبات و اجزای این ابرها از خود آثاری را در طیف نور اختروشها به جا می‌گذارند، که همان گونه که برای گاز اصلی اولیه انتظار داریم، برای نمونه نشانه‌هایی از عناصر سنگین و نسبتاً کمیاب و نشانه‌هایی نیز از دوتریم که رایج و عادی است، باقی می‌گذارد[1].

مقدار برآورد شدهٔ رایج (در مورد وجود یك بخش دوتریم در مقابل هزاران بخش هیدروژن)، به خوبی با پیش گوییهای الگوی انفجار بزرگ در مورد مقدار η سازگاری دارد (یعنی چندین باریون به ازای ده بیلیون فوتون). همچنین، این مقدار با برآوردهای اولیه فراوانی هلیوم در کهکشانهای نزدیك ساخته‌شده از فلز نیز همسویی دارد. این مقدار، با میزان فراوانی لیتیم در جوّ قدیمی ترین ستارگان فلزی نزدیك ما هم موافق است. [منظور، بخشهای کمی از ده بیلیون است که فکر می‌شود به گونه‌ای فزآینده لیتیم اولیّه و بنیادین را منعکس می‌کنند]. به عبارت دیگر، الگوی انفجار بزرگ، یك حدس سازگار با تمامی این فراوانیها به ازای یك مقدار خاص η تهیه می‌کند. این شرح می‌دهد که مادهٔ اولیه و بنیادین از چه چیزی درست شده است.

---

۱ ـ با آزمودن برخی از ابرها در مکانهای جدا شدهٔ عریض، می‌توانیم حدس بزنیم و از آن یکنواختی و یکپارچگی کیهان را نیز تحقیق کنیم. جهان باید در هر جایی از یك مادهٔ واحد تشکیل شده باشد.

چگالی باریونی کیهان

شاید ایـن انسجام و استحکام، این گونـه توضیح دهد که بـالاخره مامتوجه شـدیم که بسیاری از اتفاقات یك ثانیه پس از آغاز جهان رخ داده‌انـد. این موضوع همچنین خاطر نشان می‌سازد همان گونه که ساده‌ترین نمونهٔ الگو جهان نیز انتظار دارد، مثل این است که تاریخچهٔ مواد در مسافتهای زیاد نزدیك به ما قرار دارد و از تعـداد فوتونهای مشاهده شده، برآورد ما از η ، به سـوی مقدار تخمینی چگالی باریونها منتقل می‌گردد: یك یا دو اتم در هر ده‌مترمکعب فضا. در واقع ایـن مقدار به خوبـی با تعداد باریـونهایی که امـروزه در جهان می‌بینیم، مـوافق است. یعنی تمام مواد در تمامی گازها، ستارگـان، سیّارات و گرد و غباری که ماهیّت آنها بر ما معلوم است، از مواد باریونی معمولی خلق شده‌اند.

وفور عناصر سبك با چگالی زیادتر در مواد باریونی، با شناختی‌که از آنها داریم، کاملاً سازگار است. چرا که مشاهدهٔ مستقیم بسیاری از مواد که به وجود آنها اطمینان داریم، مشکل است. به‌عنوان‌مثال، پراکنده شدن‌گازهای‌یونیزه‌شده‌درفضای‌بین کهکشانها،اشکال‌مختلف و متنوع اشیای متراکم‌شده،سیارهٔ سرد مشتری‌که‌همانند یك‌توپ گازی‌است، سیّاراتی‌که‌آن قدر کوچکند که مثل ستارگان نمی‌سوزند و بقایای سیاه و تاریك ستارگان مرده مثل سیاه‌چاله‌ها، نکتهٔ شگفت انگیز این است که هنوز مجموع‌مقادیرجرم باریونی‌که ازترکیبات‌هسته‌ای انفجار بزرگ بر جای مانده‌اند، به حدی نرسیده اند که به عنوان جرم کلی جهان درنظر گرفته شوند[1].

۱ ـ ایـن بیان در زمینهٔ مشخص کـردن الگوی مـوفق و استانـدارد سنتز هسته‌ای آمده اسـت که وانمـود می‌کنـد ماده در مقیاسهای بزرگتر از ذرات منفرد کـاملاً هموار است. با اصلاح الگو به شیوه‌ای خاص، می‌تـوانیم چگالیهای بالاتر باریونها را با فراوانیها وفـق دهیم و این به اندازهٔ کافی به باریونها اجازه می‌دهد کـه در جهان برای تمام جرم مشاهده شده محاسبـه شود. امکان دارد از یك دورنمـای قابل اطمینان، این طبیعـی به نظر برسد کـه امروزه باریونهـا به طور فزآینـده‌ای غیر یکنواختند و اتفـاقاتی چون گـذار فاز کوارك ـ هـادرون که می‌توانـد غیر یکنواختیهای پیـش از سنتز هسته‌ای را معرفی کنند ـ اتفـاقاتی هستند که خیلی پیش از این رخ داده‌اند. این تفکرات هنـوز همه گیر نشده‌اند. چرا که آنها متغیرهای تحمیل نشده‌ای را به الگو افزوده‌اند و به این دلیل بیشتر نظریه‌های دقیق، در مورد رویدادهای پیش از این، تخمین می‌زنند که باریونها باید در حقیقت یکنواخت باشند.

به همین دلیل فکر می‌کنیم که بیشتر جرم کیهانی باید به شکل تازه‌ای از مواد غیر باریونی باشند.

مادهٔ تاریک

این گونه به نظر می‌رسد که با در نظر گرفتن چگالی مواد طبیعی ـ یعنی میانگین تعداد اتمها در هر متر مکعب از فضا ـ، سازگاری خاصی میان انفجار بزرگ و میزان عناصر سبك مشاهده شده، برقرار گردد. این مورد فقط برای بر شمردن گازها و ستارگان شناخته شده کافی است. ولی برای توضیح مجموع جرمی که ما می‌شناسیم، از روی سنگینی آن مناسب نیست. اگر نمونهٔ انفجار بزرگ، صحّت داشته باشد، پس باید بیشتر جرم جهان از چند شکل تازه و کاملی از چیزهای مختلف و مواد اتمی باشد که تا به حال برای ما شناخته شده‌اند که مادهٔ تاریك غیر باریونی نام دارند. و این بدان سبب است که جرم آنها توافق اساسی با باریونهایی که تمام عناصر شناخته شده را دارد می‌باشد، شاید ذرات بنیادین تازه و یا ساختار اولیه است. [این باریونها شامل نوترونها و پروتونها هستند].

از کجا می‌دانیم که در آن جا، جرم وجود دارد؟ می‌توانیم جرم هر چیزی را با اندازه‌گیری گرانش جاذبه‌ای آن محاسبه کنیم و این اندازه گیری با مشاهدهٔ این که اجسام دیگر با چه سرعتی به سوی آنها پرتاب می‌شوند، ممکن است. به عنوان مثال، می‌توانیم جرم زمین یا خورشید را به روش اندازه‌گیری سرعت ماهواره‌ها یا سیّارات پیرامون آنها اندازه‌گیری کنیم. زیرا اجسامی که در یك مدار ویژه در حال حرکت هستند، همیشه به نوعی در حال سقوطند. هر چه جرم بزرگتر باشد، نیروی گرانشی نیز بزرگتر است و هر چه جسم سریعتر سقوط می‌کند، در مدار خودش سریعتر حرکت می‌کند.

همچنین می‌توانیم جرم کهکشانها را به وسیلهٔ اندازه‌گیری سرعت ستارگانی که درون آنها در حال حرکت مداری هستند، اندازه بگیریم. چرا که آنها دقیقاً مثل سیّارات داخل منظومهٔ شمسی دارای حرکت مداری هستند. آنها ده برابر بیشتر از سیّارات حرکت می‌کنند، یعنی صدها مایل در هر ثانیه. در حالی که کهکشانها آن قدر غول پیکرند که در چنین سرعتی،

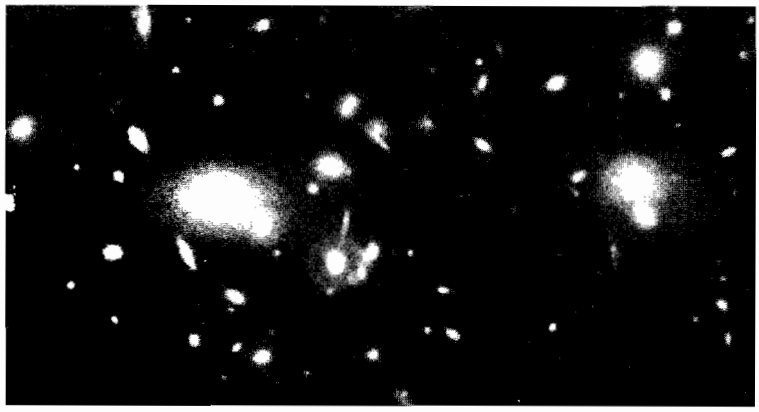
یك مدار كـامل یعنی تنها یـك سال نوری برای آنها چنـدصد بیلیون سال زمینـی زمان صرف می‌كند. سرعت ستارگان و اندازهٔ مدار حركـت آنها، جرم كهكشان را برای ما بازگو می‌كنند. ولی هنگامی كه بـا همین روش كهكشانها را وزن كنیم، در می‌یابیم كـه آنها در حدود ده برابر سنگین‌تر از جرم تمـام ستارگانی هستند كه در داخـل خود دارند و می‌توانند بـه حساب آیند. بدون گرانش فوق العاده زیاد این جرم، ستارگان همان گونه كه در منظومهٔ شمسی هستند، به طور كلی در مركـز متمركز نشده است. بلكه همـانند برخی از دیگر ستارگـان، در گروهها یا هاله‌های بزرگی از ذرات منتشر شده در آن سوی بخش درخشان كهكشانها توزیع شده‌اند. ما این موضـوع را می‌دانیم، چرا كـه بر خلاف ستارگانـی كه در داخل منظومـهٔ شمسی هستند، سرعتهای مداری در بخشهای خارجی كهكشانها كاهـش پیدا نمی‌كند. سرعت ستارگانی كه در بیرون از كهكشـانها در حال حركـت هستند، برابر بـا سرعت ستارگـانی است كه نـزدیك مركز واقع شده‌اند[1].

مادهٔ تاریك، به شیوهٔ دیگری وجود گرانش خود را بروز می‌دهد. گرانش موجب انحنا در پرتوهای نور می‌گـردد. بنابراین، توده‌ای از مادهٔ تاریك می‌توانـد از روی تأثیری كه بر نور اجسام پشت سرش می‌گذارد، آشكار و اندازه‌گیری گردد. این پدیده، در كهكشان خود ما نیز مشاهده گـردیده است. به ایـن ترتیب كه نور ستـارگان زمینه‌ای، از طریـق تأثیر كانـونی مادهٔ تاریك بر هالهٔ نور، بزرگ جلوه می‌كند[2]. در مسافت بسیار دور نیز آشكـار گردیده است. به عنوان مثال، در تغییر تصویر كهكشانهای دور دست (شكل ۱۷).

سنتز هسته‌ای كیهانی بسیاری از نظرها و پیشنهادهـا را به اجبار متوجه صورتهای غیر باریونی مادهٔ تاریك می‌كند. به عنوان مثـال، الگوی انفجار بزرگ چنین پیش گویی می‌كند كه دنیای اولیّه، تقریباً به اندازهٔ فوتونها، نوترینوتولید كرده است. در نخستین‌زمانها این نوترینوها

۱ـ به دلیل این كه در مسیر دورتری حركت می‌كنند، پس دارای دورهٔ مداری طولانی‌تری هستند.

۲ـ به محض این كه یك جسم تاریك از مقابل یك ستـاره عبور می‌كند، گرانش آن جسم تاریك، ستاره را روشن می‌سازد و با حركت كردن، دو باره ناپدید می‌شود. این مشاهدات، ایـن گونه فاش می‌كنند كه برخی از این مواد تاریك كه در كهكشان خود ما وجود دارند، اجرام فوق العاده بزرگی هستند، شـاید خیلی بزرگتر از سیارهٔ مشتری. به نظر می‌رسد كه تركیب مواد تاریك، همانند اجسام باریونی هستند. آنها در واقع اجسام هاله مانند با فشردگی و سنگینی دو چندان هستند.



شکل ۱۷ ـ تمرکز نور گرانشی توسط مادهٔ تاریک. در این تصویر، تلسکوپ فضایی هابل Hubble Space Telescope (HST) یك خوشه از کهکشانها را نشان می‌دهد. جرم این خوشه که تقریباً از تمامی انواع مادهٔ تاریك است. نور، کهکشانهای زمینه‌ای را می شکند و تصاویر را به مکانهای باریك درازی امتداد می‌دهد. گویا از میان یك شیشهٔ موج دار شاهد این تصویر هستیم.

با فوتونها به صورت جفت شده بودند و اگر چه واکنش مهم و طولانی با فوتونها انجام ندادند، هنوز به همراه هم هستند. ولی به طور یکسان رقیق شده‌اند و هم اینك مثل فوتونهای اصلی و دارای میانگین چگالی یکسانی هستند. نوترینوها آن قدر زیاد هستند که حتی اگر چند بیلیون از یك جرم سکون پروتون هم داشته باشند، مادهٔ تاریك کیهانی معنی داری را تشکیل می‌دهند. نوترینوها تنها ذرهٔ مادهٔ تاریك غیر باریونی هستند که به عنوان «موجود» شناخته شده‌اند ـ البته اگر چه جرم چگالی یك جرم کیهانی، هنوز شناخته نشده است[1].

شگفت‌انگیز این است که جهان اولیّه، مقداری از دیگر انواع ذرات باقیمانده را تولید

۱ ـ نوترینوهای کیهانی، هر دو از یك ابر نواختر فیزیك در سال ۱۹۷۸ م. و از طریق خورشید آشکار گردیده‌اند. اگر چه مورد اخیر، به اندازهٔ مورد انتظار نیست، یك تعداد از مشاهدات آزمایشگاهی چنین حدس می‌زنند که بعضی از انواع نوترینو، به اندازهٔ کافی، برای کاربرد کیهان شناختی جرم دارند و آزمایشهایی هستند که این مطلب را به اثبات رسانیده‌اند.

کرده است که ما هرگز آنها را در آزمایشگاه آشکار نکرده‌ایم. این که دنیای اولیّه، دمای بسیار بیشتری، حتی بیشتر از آنچه که آزمایشگاهها در مدّت زمان زیادتری را تحمل می‌کنند تحمل نکرده است، یك تفکر طبیعی و عادی است. به عنوان نمونه: جهان تا کنون دمایی در حدود $۱۰^{۱۳}$ درجهٔ کلوین را تحمل کرده است. دمایی به قدر کافی بالا برای شکستن بار یونها به کوارکها در ظرف مدّت یك میلیونیم ثانیه. یعنی یك بیلیون بیلیون برابر بیشتر از واکنش تجزیه در شتاب دهنده ها و با همان اندازه انرژی.

اگر طبیعت، ذرات پایداری دارد که فقط به صورت خیلی آهسته و ضعیف با هم واکنش می‌دهند، لذا تولید و مشاهدهٔ این گونه ذرات هم اینك خیلی مشکل است. ولی آنها در دنیای اولیّه قادر به تولید شدن بوده‌اند. چرا که زمان لازم برای موجودیت یافتن آنها طولانی است. اگر این ذرات، جرم سکون می‌داشتند، به اندازهٔ کافی در یك کنش گرانشی برای نگه‌داشتن کهکشانها به یکدیگر شرکت می‌جستند. این ذرات در هر زمانی و با هر سرعتی (در حدود صدها مایل در ثانیه) پیرامون ما حرکت و به راحتی از میان هر جسمی و تقریباً بدون هیچ گونه واکنشی عبور می‌کرده‌اند. اگر خوش اقبال می‌بودیم، ممکن بود مقدار کمی از ذرات مادهٔ تاریك ما قبل تاریخ در نتیجهٔ آزمایشهای ویژهٔ آزمایشگاهی آشکار شوند که این آزمایشها به منظور یافتن گوشه‌ای از بی نهایت رخدادهای کمیاب و مکانی که به وقوع پیوسته اند، طراحی شده‌اند. این آزمایشها می‌توانند صفحات تازه‌ای از ماده و شاید از نوعی را که تا کنون شناخته نشده است آشکار کنند.

به علاوه با نفوذ در هر جسمی که داخل کهکشان قرار دارد، جرم جهان را تحت سیطرهٔ خویش قرار می‌دهد[۱]. پیشنهادهای ارائه شده برای مادهٔ تاریك کیهانی، در ورای ذرات، تازه گسترش یافته است که امکان دارد ترکیباتی از میدانهای نیرو، سیاه‌چاله‌های کوچك و تکه‌های بزرك کوارك ثابت باشند. بسیاری از آنها نشانهای قابل مشاهده و شناخته شده‌ای هستند ولی هیچ یك تا کنون پیدا نشده‌اند.

---

۱ ـ این مورد با پیدا کردن یك عنصر شیمیایی به وجود آمده از باریونهای طبیعی فرق دارد. حتی جدای از کشف یك ذرهٔ بنیادین تازه مثل یك کوارك جدید است که خود فقط یك نوع باریون کمیاب می‌باشند.

عناصر سنگین‌تر

جهان نخستین، تقریباً از هیچ جسمی سنگین‌تر از هلیوم تشکیل نشده است. یك بخش ریز، کمتر از یك هسته در مقابل یك بیلیون به لیتیم تبدیل گردید. این لیتیم شامل سه پروتون و چیزهایی دیگر است که تا کنون خیلی کمیابند. در مقایسه با مراکز ستارگان، انفجار بزرگ هیچ گونه عمل هسته‌ای کاملی صورت نداد. حتی پیش از آن که تمام هیدروژن به هلیوم تبدیل شود، آن را رها کرد. این، بدان علت است که مادهٔ جهان اولیه در دمای داده شده، نسبت به مراکز ستارگان دارای غلظت بسیار کمتری بود (چرا که η مثل یك عدد کوچك است). بنابراین واکنشها می‌توانند در یك درجهٔ حرارت بسیار بالا انجام پذیرند. علاوه بر این، به قدر کافی بالا بودن دما، برای وقوع یك احتراق هسته‌ای تنها یك مدت بسیار کوتاه مثل چند دقیقه به طول می‌انجامد. چند دقیقه در مقابل میلیونها یا بیلیونها سالی که ستارگان برای این کار در دسترس دارند. به همین دلیل، تمامی عناصر دیگر از جمله عناصر مهم و حیاتی مثل کربن فقط پس از انفجار بزرگ و به وسیلهٔ ستارگان خلق شده‌اند.

جهان به طور پیوسته، به وسیلهٔ نسلهای متوالی ستارگان، اشغال می‌گردد. صورتهای گازی یك ستاره در هر زمان هسته‌های هیدروژن بیشتری را برای تولید هلیوم و عناصر سنگین‌تر می‌سوزانند ــ البته چنانچه عناصر مذکور به اندازهٔ کافی سنگین باشند. مدتی بعد، همزمان با مصرف شدن هیدروژن تازه، باریونهای بیشتری در درون هسته‌های سنگین به پایان می‌رسند.

کهنترین ستارگان ـ مثلاً آنها که برای اندازه‌گیری سنّ جهان به کار می‌روند ـ تمایل به کمترین میزان گسترش را دارند. برخی از این ستارگان، کمتر از یك هزارم توسعهٔ خورشیدی را دارند و ستارگانی که $\frac{۱}{۱۰}$ خورشید گسترش می‌یابند، رایج ترند. مادهٔ موجود در مرکز کهکشانها که در داخل گاز منبسط شده‌ای قرار دارد و به طور پیوسته و مداوم در حال سقوط است، غلظت بسیار زیادی از عناصر سنگین را دارا می‌باشند. در صورتی که دو درصد جرم

خورشید از جرم عناصر سنگین تشکیل شده است. ستارگان واقع در مرکز کهکشان می‌توانند بیشتر از دو برابر این مقدار غلظت داشته باشند.

اگر چه عناصر سنگین یك بخش کوچکی از جرم باریونها را تشکیل می‌دهند، در مشخص کردن صورت ظاهری و شیمیایی گاز و غبار اتمی و مولکولی موجود در میان ستارگان، مهم و پرمعنی هستند. برخی از مواد منبسط شده، به «جمع شدن» در سیارکها[1]، قمرها و سیارات مثل سیارهٔ خود ما پایان می‌دهند. امید بسیار زیادی به وجود این مواد در منظومهٔ شمسی از جمله زمین وجود دارد. زیرا این مواد، در همه جا حضور دارند. سیارات بزرگی که پیرامون ستارگان در حال حرکت هستند، از طریق اثر گرانشی که بر روی جنبش ستاره‌ای می‌گذارند، مشخص می‌شوند. اگر سیّاراتی که از نظر کوچکی و نور مثل زمین هستند، هنوز به وضوح مشخص نشده‌اند، به خاطر این است که در کمترین ساختار مادی قرار دارند (حجم بسیار کمی دارند).

1 - Asteroid.

شکل‌گیری ساختار

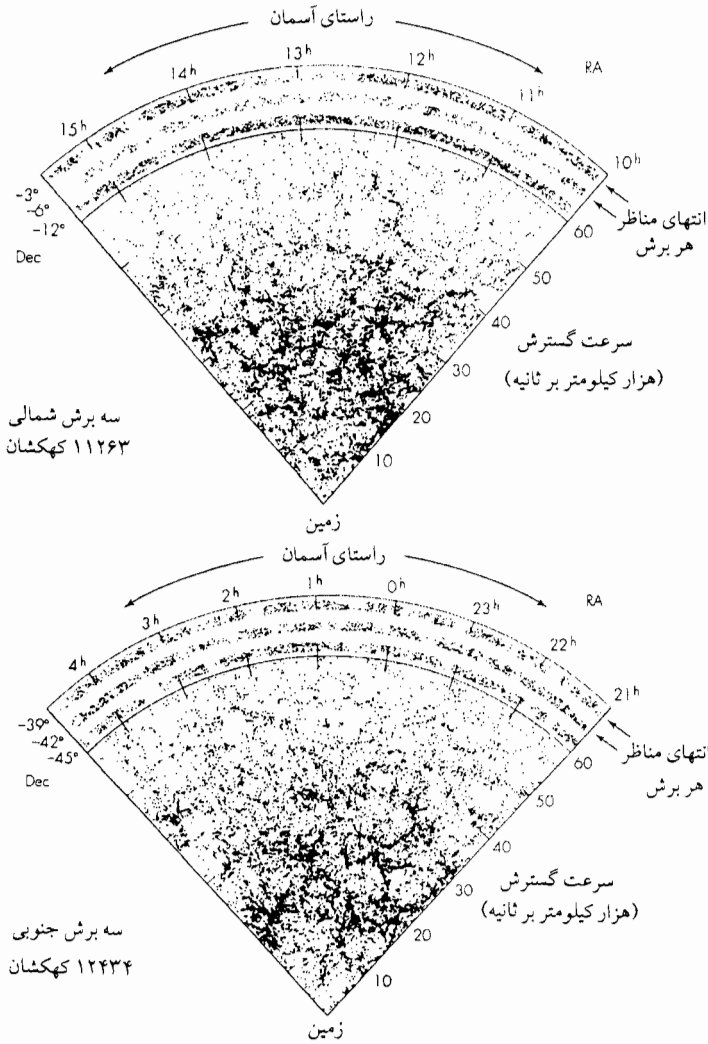
انحلال انبساط به وسیلهٔ گرانش

ماده و تابشهای کیهانی، به طور یکنواخت، آن گونه که پیش از این بوده‌اند، توزیع نشده‌اند. در مقیاسی بزرگتر، ماده در کهکشانها و خوشه‌های کهکشانی جمع شده است. اگر چه در مقیاس بزرگ، این توزیع تقریباً یکنواخت ظاهر می‌شود. حتی تشعشع زمینه‌ای کیهانی، نقص بسیار کوچکی را نشان می‌دهد. احتمالاً خیلی از نقاط سرد و کمی داغ، از یك منبع مثل کهکشانها منتشر می‌شوند، اگر چه بزرگتر از ساختارهایی می‌باشند که در نقشه‌های رایج کهکشان مطالعه می‌شوند. اشکال اصلی ساختارهای کیهان می‌توانند با تغییر کوچکی در چگالی یا درجهٔ انبساط الگوی انفجار بزرگ و جاذبه توضیح داده شوند[1].

نقشه های‌مکان وسرعت‌کهکشانها درجهان،سلسله‌مراتبی‌از منظومه‌های‌توسعه نیافته و ثابت‌را درمقیاس‌کوچك‌وانبساط‌کیهانی‌رادرمقیاس‌بزرگ‌نشان‌می‌دهند(شکل۱۸)ساختمان مقیاس‌بزرگی‌که‌در نقشه‌های‌کهکشان،نمایان می‌گرددمنطقه‌ای را درمیان‌ناهمواریهای مقیاس کوچك و کلان انفجار بزرگ اشغال می‌کند. ظاهر پر پیچ وخم‌توزیع‌کهکشان، فضا، لایه‌ها و رشته‌هایی که از هزاران کهکشان ساخته شده‌اند. نشانه‌ای از حرکت انبساط یافتهٔ یکنواخت

---

۱ ـ در یك سطح ژرف تر، وجود تغییرات خود به خود یك تفسیر فیزیکی را می‌طلبد. نمی‌دانیم که چرا این تغییرات وجود دارند. امّا در بخش آینده این عقیده مورد کنکاش قرار خواهد گرفت. ما از پیش می‌دانیم که این تغییرات واقعاً وجود دارند (شکل ۱۲).

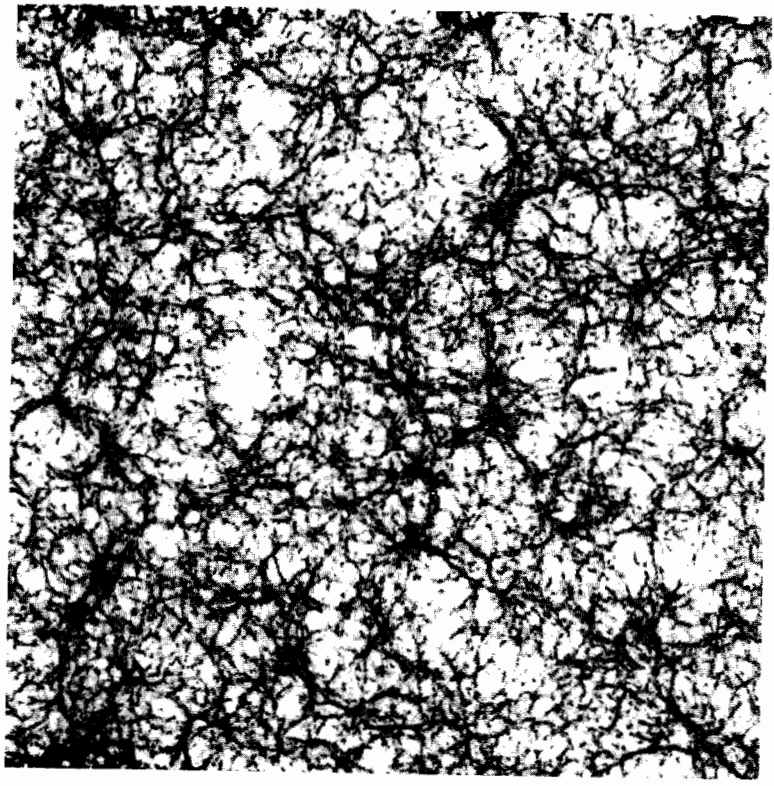


شکل ۱۸ـ نقشه‌ای از یك وضعیت خاص در جهان که نشان دهندهٔ وضعیتهای حدود ۲۴۰۰۰ کهکشان است که در قطعاتی مثل برشهای پیتزا به صورت نقاط، نمایانگر شده‌اند. ما در رأس این برشها قرار داریم. برآورد ژرفنا چیزی در حدود چند بیلیون سال نوری است. سرعت انبساط در لبه، ۶۰/۰۰۰ کیلومتر بر ثانیه است. در توزیع کهکشان، حبابهای برجسته بزرگ و صفحاتی به چشم می‌خورند. ساختار کف دار بزرگ به وسیلهٔ تزلزل گرانشی به وجود آمده است. در طبقه بندیهای بزرگتر، هر مکانی خیلی شبیه به مکانهای دیگر است. اگر چه به واسطهٔ تخمینهای نه چندان کامل کهکشانها در حال فرار به سوی لبه ها هستند. قطعه‌های مختلف خیلی به هم شباهت دارند.

هستند که خودشان به گونه‌ای تصادفی در مکانهای گوناگون تجزیه و منعکس‌می‌شوند. نخست در بعضی‌راستاهاو سپس‌در بقیهٔ راستاها. همانند شکل‌گیری و رشد موجهایی که سرانجام در یك دریای متلاطم و موّاج می‌شکنند. این فرارونـد در طی‌بیشتر تاریخ کیهان صورت گرفته است. خود کهکشانها نیز بقایای فرآیند مشابهی درمراحل‌نخستین هستند.

مهمترین نیرویی که عامل این اجتماعات است، گرانش است. چنانچه یك قطعه از کیهان اندکی بیش از اندازهٔ معمول منبسط شود یا چگالی آن کمی بیشتر از حد معمول باشد، گرانش به گونه‌ای عمل خواهد کرد که انبساط آن را متوقف می‌نماید و در هم می‌ریزد. ظاهراً این عمل کراراً اتفاق افتاده است، ابتدا در مقیاس کوچك و تحت برخی شرایط باعث شکل گیری کهکشانها می‌شود و سپس در مقیاس بزرگ نیز سبب گروه بندی آنها در ساختارهای عظیم می‌گردد. هنوز به این نکته پی نبرده‌ایم که چرا این ساختمان تشکیل گردیده است. زیرا نمی‌دانیم که چرا تورّم در آغاز وجود داشته است. امّا از چگونگی آن خیلی چیزها می‌دانیم. فیزیك شناخته شده است به طوری که دستاوردها می‌توانند در رایانه نمایش داده شوند و با مشاهدات مورد قیاس قرار گیرند (شکل ۱۹ و ۲۰ را ببینید).

معمولاً انبساط بیش از جهات دیگر، در یك جهت انعکاس می‌یابد و سبب رُمبش در یك ساختار کیك‌مانندمی‌شود. البته اگرنوسانها اتفاقی‌باشند، رُمبش درهمان راستا یا در همان زمان رخ‌نخواهد داد. بلکه در هرجایی‌از جهات گوناگون ومراحل‌گوناگون‌فروریزی‌به وجود خواهد آمد که رشته‌های ویژه‌ای ایجاد می‌کند و در شبیه سازیهای رایانه‌ای و دنیای واقعی، قابل مشاهده هستند. غلظت‌چگالی جسم ـ ابتدا کهکشانها و سپس خوشه‌های کهکشانی ـ در حد فاصل یا روی دیوارهٔ حبابها شکل می‌گیرد. البته این اتفاق زمانی روی می‌دهد که ماده در سطح مقطع آنها جریان یابد. احتمالاً گاز یکدست و اولیهٔ مربوط به انفجار بزرگ، چندین مرتبه این عمل را انجام داده است و به گونه‌ای پیوسته و تحت نیروی گرانش به سوی بزرگ و بزرگتر شدن متراکم می‌شوند. قدمت بیشتر کهکشانها بسیار زیاد و قدیمی است و به روزگاری باز می‌گردد که کیهان ۱۰ تا ۱۰۰ مرتبه متراکم تر از امروز بوده است. بزرگترین ساختمان صورت فلکی که ساختارهای کیك مانند و رشته‌ها هستند، هنگامی که نقشه‌های کهکشان را بررسی می‌کنیم مشاهده می‌شوند. این ساختمانها امروزه فقط در نتیجهٔ انبساط

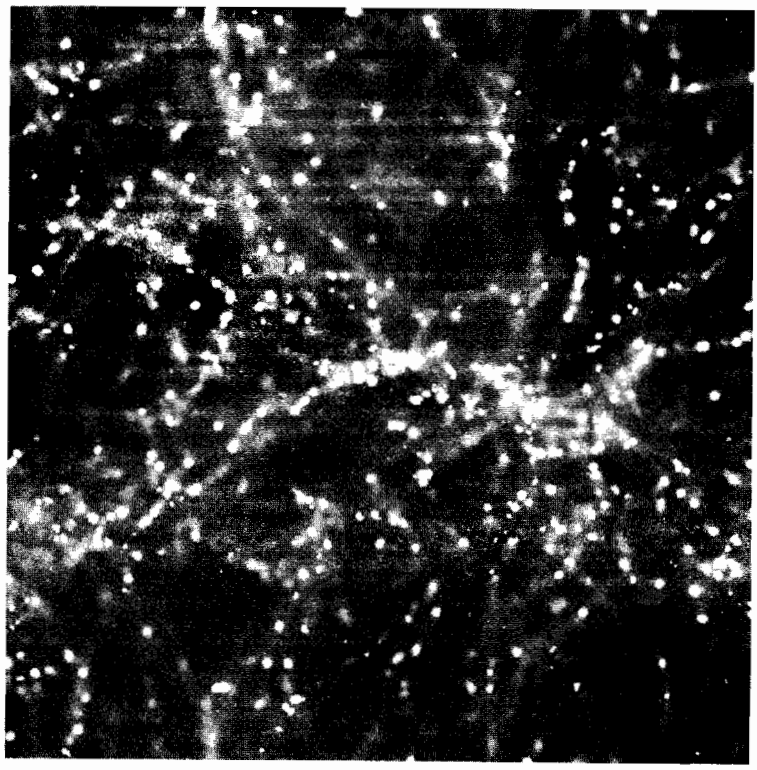


شکل ۱۹ـ نمودار یك قطعه از کیهان که نشان ویژه‌ای از ظاهر کف دار یك کیهان انبساط یافته می‌باشد و تزلزل گرانشی را تغییر می‌دهد. این شکل، توزیع مادهٔ تاریك را تقریباً مثل ساختمان نقشه‌های کهکشان شکل ۱۸ نمایان می‌سازد.

شکل می‌گیرند. در واقع هنوز آنها در بعضی جهات در حال گسترش یافتن هستند.

تاریخ ستارگان و کهکشانها

پس از این که گاز از انبساط کیهانی جدا می‌شود، بیشتر ترکیبات مادی در ساختمانهایی به نام کهکشانها شکل می‌گیرند که به ظاهر مجموعه‌های ثابتی از گازها، ستارگان و مواد تاریك می‌باشند. انواع نامحدودی از اندازه‌ها، اشکال و نمونه‌های



شکل ۲۰ـ منظرهٔ یك قطعه کوچکتری ازجهان که نشان‌دهندهٔ جلوهٔ ناهمواری از همان تزلزل و بی ثباتی گرانشی می باشد. این جلوه، توزیع گاز طبیعی هیدروژن در مقیاسی در حدود ۲۵mpc و در یك سرخ گرایی فزآینده را نشان می دهد. دسته های درخشان، کهکشانهای شکل گرفته هستند. این گاز می تواند به وسیلهٔ جذب اخترویش آشکار گردد (شکل ۲۴).

کهکشانها، بازتابی از ره آوردهای عملی و کاربردی در ترکیبات و شکل آنهاست.

پس از این که انبساط گاز متوقف گردید، ادامهٔ نیروی گرانش، آن را به انقباض وادار می‌کند. با این دگرگونی، دما در همان مسیری افزایش می‌یابد که انبساط باعث سرد شدن آن گردیده است. گرما فشاری را تولید می‌کند که بیشتر تمایل به مقاومت در مقابل

فروریزش دارد امّا در همان زمان، گاز توسط انرژی تابشی موجود در فضا سرد می‌شود. بخشهای متراکمتر گاز به‌این وسیله‌سرد می‌شود و فروریزی آنها در طی‌مسیر و درمیان قطعات کوچکتر ادامه می‌یابد. سرانجام تمام مسیرها را در ستارگان دگرگون می‌سازد (شکل ۲۱). در طی این مرحله، همان گونه که تا به حال دیده‌ایم، بیشتر رُمبش ستارگان توسط گرمایی

شکل ۲۱ ـ ناحیهٔ نزدیک به شکل‌گیری ستاره از گاز در کهکشان ما. نور موجود در بالای شکل، از ستارهٔ **درخشان و جوانی** است. این نور داغ است و باعث ناپدید شدن دیگر ستارگان جوان به صورت نقاط تاریک و چگال می گردد. بیشتر مادهٔ درخشان دمیده شده ، گاز هیدروژن است. این گاز با مادهٔ تاریک و چگالی ترکیب می گردد که اغلب از عناصر سنگین تر تشکیل گردیده است.

جلوگیری می‌شود که از راه انفجار هسته‌ای به وجود آمده است. همچنین انرژی ستاره‌ای می‌گریزد و گاز پیرامون خود را گرم می‌کند که از رُمبش بیشتر گاز در ستارگان و تثبیت گاز موجود در کهکشان، در مقیاس بالاتر جلوگیری به عمل می‌آورد[۱].

در کهکشانهای مملو از گاز، مثل ستارگان؛ تمایل مواد برای رسیدن به تعادل توسط یك جریان انرژی رو به خارج است. «پس خورد[۲]» انرژی ستاره‌ای در گاز پیرامون، شکل گیری بیشتر را برای ستارگان متوقف می‌گرداند. به دلیل این که انرژی به شیوه‌های زیادی اضافه می‌گردد، (از طریق تابش، انرژی قابل انفجار، جریان یافتن به طور مغناطیسی یا بادها و غیره)، انرژی مفصل و متعادل کهکشانها به اندازهٔ کافی سنجیده شده نیستند و یا به خوبی ستارگان شناخته نشده‌اند. غالباً تنظیم از تکامل مجزا و مستقل است. از این رو شکل پذیری فاجعه‌برانگیز ستاره به وسیلهٔ دوره‌های نسبتاً مستحکم پیگیری می‌شود. هر قدر امروزه این اتفاق بیشتر از گذشته رخ می‌دهد، گاهی از اوقات کهکشانها با همدیگر برخورد می‌کنند و جرقه‌ای در گازشان روی می‌دهد و سرانجام به صورت یك کهکشان بزرگتر ادغام می‌شوند. همچنین، این برخوردها به دفع ماده از فضای درون کهکشان به فضای بیرون منجر می‌گردد.

گاز موجود در کهکشانهای منفرد، تا جایی میل به سقوط دارد که قوهٔ گریز از مرکز اسپین، میزان کشش گرانشی را کنترل می‌کند و آن را به حرکت صفحه‌ای دوّار یك کهکشان هدایت می‌نماید. بدون شکل گیری ستاره، صفحهٔ گاز بسیار باریك و سرد خواهد شد. مثل حلقه‌های زُحل که از توده‌های یخ تشکیل گردیده‌اند. در هر حال، کهکشانهای مدوّر مایلند در حالت تعدیل شده‌ای بمانند، تا جایی که گاز باقیمانده در داخل ستارگان، با یك سرعت کنترل شده‌ای از طریق پس خورد انرژی، به ستارگان چکانیده

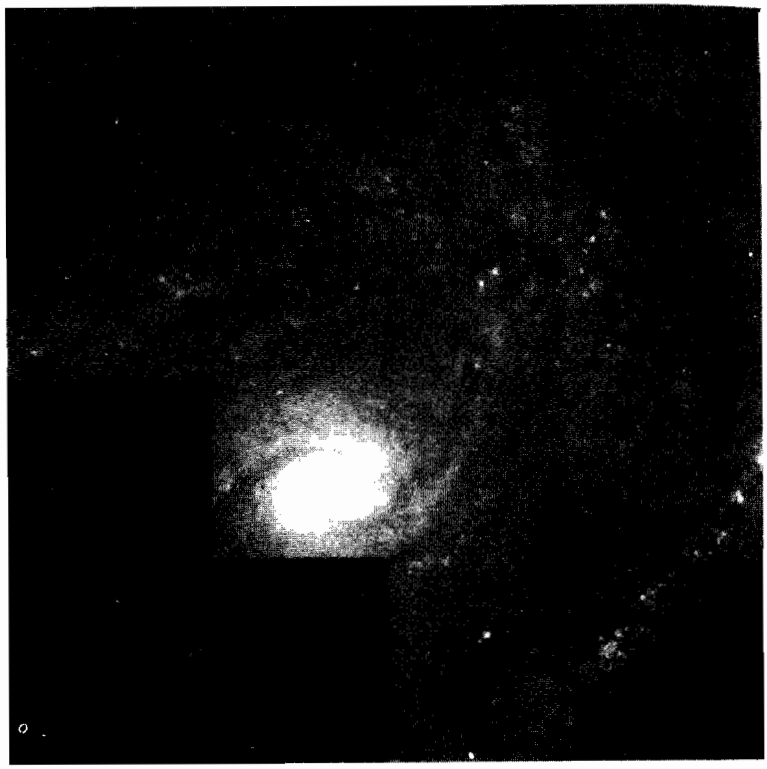
---

۱ ـ وقتی که ستارگان می‌میرند، برخی از این گازها به میان ستارگان باز می‌گردند. ولی معمولاً باقیماندهٔ مواد برای همیشه از بین می‌رود. اخگر مرده‌ای که به مادهٔ تاریك یك کهکشان ملحق می‌شود. در بعضی موارد، هیچ‌گونه نیرویی وجود ندارد که قادر به مقاومت در برابر گرانش و ادامه دگرگونی به سوی سیاه چاله‌ها باشد. ولی در بسیاری مواقع نیز فشار حاصل از الکترونهای سرد یا نوکلئونها اخگر را به صورت کوتوله یا یك ستارهٔ نوترونی تثبیت می‌کند.

2 - Feed back.

می‌شود. غالباً این کهکشانها روی یك نمودار مارپیچی کشیده می‌شوند که توسط حرکت دیفرانسیلی حلقه‌های مارپیچ به وجود آمده‌اند. از این رو به آنها کهکشانهای مارپیچ اطلاق می‌شود (شکل ۲۲).

روی هم رفته تمایل برای مقدار گاز بیشتری جهت حبس شدن در ستارگان یا دفع شدن به همان دمای بالا و چگالی پایین است که نمی‌تواند فروریزش کند و سرد گردد. سرانجام، کهکشان با تمامی گازش به‌وجود می‌آید و شکل‌گیری ستاره جدید متوقف می‌گردد.



شکل ۲۲ـ بخشی از M۱۰۰، یك نمونه از کهکشانهای مارپیچ مثل کهکشان خود ما. نقاط درخشان مناطقی همانند شکل ۲۱ هستند که به وسیلهٔ شکل گیری ستارگان جدید از مازاد گاز موجود در صفحه، روشن می‌شوند. علت مارپیچی بودن، نیز این است که چرخش مداری مواد داخلی، آرامتر از مواد خارجی آن است.

یك کهکشان با مقدار کمی گاز، فقط از گروهی از ستارگان تشکیل یافته است که هر یك، پیرامون مدار چرخش خویش تحت نفوذ گرانش تمام ستارگان دیگر قرار دارد. به همان روشی که ماه همیشه و به طور ممتد به سوی زمین سقوط می‌کند، امّا هرگز با آن برخورد نمی‌کند. این ستارگان پیوسته در حال سقوط هستند، ولی مثل یك دستگاه کامل، در مجموعه‌ای ثابت از ذرات تصادفی قرار می‌گیرند. کهکشانهایی از این قبیل، (که کهکشانهای بیضوی نامیده می‌شوند)، در اصل تمایل دارند از ستارگان کهنسالی تشکیل شوند که در زمانهای بسیار دور، از گاز به وجود آمده اند و هم اینك در حال نابودی می‌باشند.

کهکشان ما، تقریباً یك کهکشان مارپیچی شکل به شمار می‌آید که مثل بیشتر از صدها بیلیون یا بیشتر کهکشانهایی است که با تلسکوپ فضایی هابل قابل مشاهده‌اند و در حدود ده بیلیون سال در نتیجهٔ انبساط کیهان، به هم پیوسته‌اند. گاز شروع به فروریختن می‌کند تا این که در نتیجهٔ چرخشش متوقف شود و آن را به صورت یك صفحهٔ مسطّح شکل به هم فشرده در بیآورد. این گاز، به سرد شدن ادامه می‌دهد و گرانش کار خود را پیگیری نموده است. بنابراین، صفحهٔ گازی به خودی خود شروع به تجزیه و تبدیل به ابرهای مولکولی متراکم تر و همچنین ستارگان کرده است. هم اکنون این رویداد به آرامی در کهکشان اتفاق می‌افتد و ما نزدیك برخی از مناطقی زندگی می‌کنیم که ستارگان در حال شکل گیری هستند، همانند سحابی جبار و سحابی عقاب[1] (شکل ۲۱). به هر حال، بیشتر گاز اصلی که تماماً مصرف می‌شود، در میان ستارگان و بقایای ستارگان مرده نگه داری می‌شود. مطابق با دورهٔ عمر کهکشانها و ستارگانی که می‌میرند، برخی از موادی که تولید شده‌اند، به داخل ستاره باز می‌گردند که این منبع بسیاری از عناصر است (هستهٔ هر اتم سنگین تر از لیتیم). چیزی که در طی وقوع انفجار بزرگ، به وجود نیامده است. همچنین مواد دفع شده ستاره‌ای، به مخلوط، هلیوم بیشتری اضافه می‌کنند.

در حدود۵/ ۴ بیلیون سال پیش (که چیزی در حدود نصف عمر کهکشان است)، خورشید ما با منظومهٔ شمسی اش، از طریق غنی سازی قابل ملاحظه‌ای شکل گرفت که به

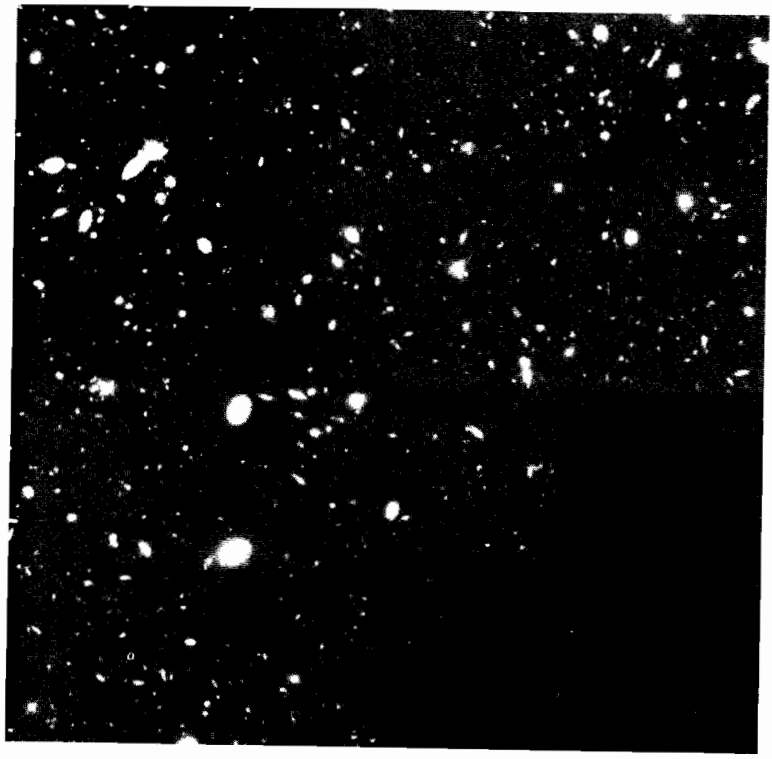
1 - Eagle Nebula.

همراه تقریباً دو درصد از عناصر سنگین تر بود. این عناصر، در بیشتر ذرات جامدی که داخل صخره‌های سخت سیاراتی مثل زمین جمع شده‌اند، دخالت دارند. در طی عمل شکل گیری یك ستاره، چرخش نیرویی را به گاز وارد می‌سازد که این نیرو، متوجه صفحات کهکشانی خیلی کوچك می‌باشد و سرانجام به ساختارهای ستاره‌ای مثل مواد داخل ترکیبات سیاره‌ها تبدیل می‌شود. به دلیل گرمای زیاد در پیرامون یك ستاره خیلی بزرگ، تمام آن چیزی که دفع می‌گردد، ماده ای است سنگین و دیرجوش. به همین علّت است که زمین تقریباً فاقد هلیوم است و تنها در ترکیبات مولکولی که با اتمهای سنگین‌تر دارد، دارای هیدروژن است. بیشتر فاصله و جرم سیاره‌هایی که مقادیر هنگفتی گاز دارند، مثل مشتری، زحل، اورانوس و نپتون، ترکیباتی غنی از هلیوم و هیدروژن دارند ـ همچنین خورشید.

هم اینك می‌توانیم کهکشانهایی در مسافتهای آن قدر دور مشاهده کنیم که با این کار به زمانهای بسیار دوری‌دست پیدا می‌کنیم‌که در آن، منظومهٔ شمسی‌شکل گرفته‌است. درعوض، کهکشانها را دورتر از این‌مشاهده نخواهیم‌کرد. چرا که پیش از این دورهٔ شکل‌گیری کهکشان را در گذشت زمان دیده‌ایم. تلسکوپ فضایی هابل، اجرامی را می‌بیند که یك تریلیون مرتبه کم‌نورتر و ضعیف تر از یك ستارهٔ درخشان هستند. لذا، نور ضعیفی‌که برای کهکشانهای قابل مشاهده محاسبه می‌گردد، هم اکنون چند میلیون کهکشان در درجهٔ مربع فضایی یا در حدود یکصد بیلیون در کل آسمان است. ژرف ترین تصاویر (شکل ۲۳)، اشکال و رنگهای کهکشانها را در نخستین مراحل زندگی‌شان ثبت می‌کند. یعنی در زمانی که ستارگان موجود در جهان امروزی‌از گازهای بنیادین‌شکل گرفته‌بودند. بنابراین انعقاد جهان‌می‌تواند به‌صورت مستقیم مشاهده گردد و با این نظر که می‌گوید کهکشانها و خوشه‌ها به وسیلهٔ یك گرانش سلسله‌ای و در نتیجهٔ انبساط یکنواختی به وجود آمده‌اند، موافق و همسو است.

درخشانترین اجرام

مراکز نخستین کهکشانها، تمایل به‌تولیدچشمه‌های فوق العاده نورانی نور دارندکه این چشمه‌ها، اختروش‌نامیده می‌شوند. این اختروشها دورترین و درخشانترین چشمه‌های انرژی



شکل ۲۳ـ ژرف ترین تصویر از تلکسوپ فضایی هابل از نمایش ده روز در یك امتداد از فضا. دورترین کهکشانها در این شکل به چشم می‌خورند که نور خود را زمانی که جهان یك ششم اندازهٔ کنونی بوده و سنّ آن نیز ده درصد سنّ امروز بوده است، در فضا پراکنده کرده‌اند (یعنی حدود نود درصد بازگشت به عقب). چند هزار از ضعیف ترین کهکشانها در این حوزهٔ دید، شکل نخستین کهکشانها را در این راستا نمایش می‌دهند. آنها رنگ و جزئیات طیفی را دارا هستند که از کهکشانهای تازه متشکل از ستارگان جوان انتظار می‌رود. تا با این ارقام صحیح، تعداد کهکشانهای موجود در دنیای امروزی محاسبه گردند. این قطعهٔ بسیار کوچکی از آسمان است ولی هر راستایی در آسمان با همین میزان عمق تقریباً مشابه همین منظره است. اگر می‌توانستید داخل آسمان را تجسم کنید، حدود یکصد بیلیون کهکشان در آن جا وجود داشت. پرتو زمینه‌ای کیهانی، از ورای همین کهکشانها به سوی ما می‌آید.

در کل جهان هستند[۱] . برخی از آنها ده هزار مرتبه درخشانتر از یك کهکشان می‌باشند.

این دورنمای کیهانی، از طریق آزادسازی انرژی گرانشی نیرو می‌گیرد. ما با این تأثیرات فیزیکی آشنایی داریم. هنگامی که در حال اسکی بازی از فراز یك تپه به پایین می‌آیید، به وسیلهٔ آزاد سازی انرژی گرانشی، نیرو می‌گیرید، اگر تپه خیلی طولانی بود، سرعت شما در پایان به سرعت نور نزدیك می‌گردید و انرژی حرکتی شما خیلی به مقدار انرژی سکونتان نزدیك می‌شدکه با رابطهٔ مشهور انیشتین($E=mc^2$) بیان گردیده است‌که در آن m، جرم شما می‌باشد، این مقدار انرژی فوق العاده زیادی است. چنانچه با همین سرعت به جسمی برخورد کنید، انفجاری به وجود خواهد آمد که تقریباً هم ارز یك انفجار حاصل از یك هزار کلاهك هسته‌ای است.

البته در روی زمین چنین‌تپه‌طولانی وجود ندارد که‌شما بتوانید با اسکی‌بر روی آن به سرعت‌نور دست یابید[۲] . مقدار فوق‌العاده زیاد انرژی‌فقط می‌تواند از یك‌جسم‌متراکم‌مثل یك ستارهٔ نوترونی یا یك سیاهچاله به دست آید که در آن، در یك‌حجم‌بسیار کوچکی‌متمرکز شده است. به عنوان مثال یك سیاهچاله هم اندازهٔ زمین می‌تواند دو هزار برابرجرم خورشید، جرم داشته‌باشد. اگر به داخل یکی از این سیاهچاله‌ها سقوط کنید، با سرعت‌نور سیرخواهید کرد.

در مورد اختروشها، انرژی گرانشی از موادی به دست می‌آید که در داخل سیاهچاله

---

۱ ـ این که کسی مجموع مقدار انرژی را محاسبه کند، صحیح است. امّا به طور شگفت‌انگیزی منابعی از انرژی وجود دارند که «فروپاشی پرتوگاما» نام دارند و برای چند ثانیه، خیلی درخشانتر از اختروشها می‌باشند. فروپاشی پرتوگاما خیلی به ندرت رخ می دهد (یك مرتبه در میلیونها سال و در داخل یك کهکشان). شاید پس از این که سیاه‌چاله، یك توده ستاره را به عنوان نهار مفصلی صرف کرد! از آن گازهایی با فشار صادر می‌شود که در این مرحله شباهت زیادی به اختروشهای کوچك دارد. انتشار پرتو گامای آنها برای نخستین بار توسط ماهواره‌های جاسوسی در دههٔ ۱۹۷۰ م. آشکار گردید. ولی تنها در سال ۱۹۹۷ م. با آشکار سازی پرتو نوری آنها با فاصلهٔ فوق العاده زیاد و درخشندگی شان مورد تأیید قرار گرفت. نظر به این که اختروشها در چند صد میلیون معادل یك بیلیون برابر جرم سکون خورشید منتشر می‌کنند، فرو پاشی پرتو گاما تنها در عرض چند ثانیه معادل یك جرم سکون خورشید را انتشار می‌دهند. (این انرژی مساوی است با حاصل ضرب جرم خورشید در مجذور سرعت نور).

۲ ـ توجه داشته باشید که سرعت اجسام در حال سقوط از خارج فضا به قدر کافی زیاد است که ویرانگر باشد. به عبارتی دهها کیلومتر بر ثانیه. اجسام بسیار بزرگی که از آسمان در حال سقوط هستند که می‌توانند با انفجارهایی به قدر کافی بزرگ به عنوان ماشه‌ای برای انقراض جسم در روی زمین باشند.

بسیار غول پیکری در حال چرخیدن است و سیاهچالهٔ مذکور بین یك‌میلیون و یك‌بیلیون برابر جرم خورشید است و اندازهٔ آن برابر با مسیر سیّاره‌ها در منظومهٔ شمسی خود ماست. سیاهچاله‌ها هنوز در مراکزبسیاری ازکهکشانها وجود دارند، ولی‌اختروشها امروزه‌مثل سابق آن قدر درخشان و بزرگ نیستند. چرا که امروزه اجسام اندکی به داخل آنها سقوط می‌کنند. انرژی گرانشی که مطابق با رابطهٔ $E=mc^2$ در واحد جرم آزاد می‌گردد به انرژی سکون ماده نزدیك‌می‌شود: در اختروشهای درخشان ، یك‌بیلیون برابر جرم‌خورشید به‌انرژی‌قابل مشاهده برگردانیده‌می‌شودکه این روش با کفایتی‌معادل یك‌صد برابر فن‌آوری هسته‌ای به‌شمار می‌آید. انرژی در چندین شکل بیان می‌شود: گاز استخراجی به شیوهٔ تصادف و تحریك گردیدن گرم می‌شود. انرژی مداری سیاه‌چاله‌ها یك دینام الکترومغناطیسی را به حرکت وا می‌دارد که پرتوها، الکترونها و پوزیترونها را تا سرعت نزدیك نور فوران می‌کند و علائم‌رادیویی بزرگتر از داخل کهکشان را به وجود می‌آورد. انبوه اختروشها یك زمینهٔ قدرتمندی از ماوراء بنفش و پرتوX را به وجود می‌آورد که در پهنهٔ کیهان، گاز بین کهکشانی را دو باره یونیزه می‌کند.

تاریکترین و تهی ترین مکانها

با وجود ویژگی جالب توجه سرمنشأ انرژی اختروش (یا همان گونه که نام گذاری شده، موتور مرکزی)، مهمترین کاربرد آنها برای علم کیهان شناسی، فقط کاربردشان به عنوان منابع درخشان دور دست است. اختروشها خیلی زود در شکل گیری کهکشانها پدیدار می‌گردند و آن قدر درخشان هستند که می‌توانیم آنها را به وضوح ببینیم و حتی طیف آنان را با دقت بالایی اندازه بگیریم. با مشاهدهٔ این درخشانترین منابع است که می‌توانیم بیشترین چیزها را از خالی‌ترین و تاریکترین مکانها در جهان بیاموزیم و همچنین از طریق مشاهدهٔ اتفاقات رخ داده در طیف نوری که در نتیجهٔ عبور گاز منبسط شده تغییر کرده است.

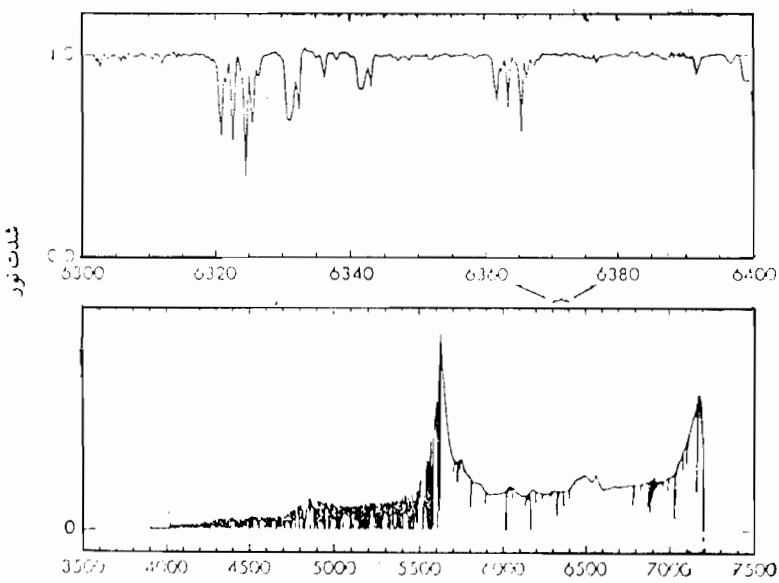
نوری که امروزه شاهد آن هستیم، در طول مسیر حرکتش به سوی ما، مسافت فوق‌العاده زیادی را از میان کیهان پیموده است. بخشی از این نور جذب می‌گردد یا توسط گازی که از میان آن در حال عبور است، پراکنده می‌شود یا از طریق شکافهای موجود در

طیف نوری که به ما می‌رسد، به هدر می‌رود. این شکافها یا خطوط جذبی در طول موجهایی به وقوع مـی‌پیوندند کـه آن طول موجها بـه تعداد اتمهای هر نـوع موجود در هر مقـدار سرخ گرایی کیهان موجود در طول خط بینایی تا اختروش بستگی دارد و اطلاعاتی از گذشته را در مورد توزیـع و ترکیب گاز در طـی تاریخ جهان می‌دهـد که از آن زمان تا کنـون راستای نور، اختروش را ترك کرده است.

طیف جـذبی نـور اختروش کـه در میان گـاز می‌تـابد، بـا الگویـی مخصوص آشکـار می‌گردد که می‌تواند به صورت اتمهای هیـدروژن، دوتریم و عناصر سنگین‌تر شناخته گردد. اتمها در بسیاری از سرخ گراییهای متفاوت، ما را به مرجع و سرمنشأ این الگوها از غلظتهای گوناگون گاز در امتداد خط نور راهنمایی می‌کنند. گاز یکدست، گروه دنباله دار و ممتدی از طول مـوجها را جـذب می‌کننـد. در حالی کـه گاز جمـع شده در ابـرهای مستقـل و مجزّا و همچنین کهکشانها، خطوط جذبی جداگانه‌ای را در سـرخ گرایی ویژه ـ یعنی همان جایی که ابرها قرار دارند ـ ، تولید می کند. در این دستگـاهها، فراوانیها به وسیلهٔ جذب نسبی برای هر اتم، بیـان می‌شوند. در ایـن روش، تاریخچهٔ انقباض و غنـی سازی گاز اولیّه و بسیـار کهن، برای ما در فـواصل طیفی مربوط به اختـروشها واضح و مبرهن اسـت و از جذب هیدروژن، هلیوم و دیگر عنـاصری که به مقدار فوق العـاده زیاد در فضای بین کهکشانی و ابـرهای پیش کهکشانی[1]، موجـود در امتداد خـط نور وجـود دارند، تقلیـد می‌کننـد. یك طیـف مربـوط به اختروش با کیفیت بالا شامل هزاران خطوط طیفی جذبی است (شکل ۲۴).

به عنوان مثـال، هیدروژن نور را به قـدر کافی در یك طـول موج به خصوصـی جذب می‌کند (۶/ ۱۲۱ نانومتـر) که لیمان ـ a نامیده مـی شود که برابـر است با مقدار دقیـق انرژی مورد نیاز برای تحریك کردن الکترون اتم هیدروژن برای انتقال به مکان اولیّه‌اش. هیدروژن، فراوانترین عنصـر به شمار می‌آید. بنابـراین جای شگفتی نیست که جـذب لیمان ـ a ، صدها مرتبـه در نور رسیده از یـك اختروش مشخص، پـدیدار مـی‌شود و هر مـرتبه از یك تـوده ابر متفاوت که در سر راه مسیر نور است، تاریخ تغییر و تحول گاز یکدست و یك شکل باقیمانده

1 - Protogalactic.



شکل ۲۴ـ طیف یك اختروش که باتلسکوپ W.M.Keck ، گرفته‌شده‌است. طیف‌نور هنگامی که اختروش را ترك می کند کاملاً یکدست بود. مگـر برای چند برآمدگی پهن. تمام جزئیات در حالی تولید شده بود که نور از میان اجسام موجود در طول‌مسیرش‌عبور می‌کرد. قطعهٔ بالا بخش کوچکی از طیف را نشان‌می‌دهد که آن‌بخش، الگوی‌تکرارشده‌ای را فاش می‌سازد که توسط تحولات اتمی در همان ماده به وجود آمده است. بخش‌سمت چپ‌قطعهٔ پایین «جنگل a لیمان» مربوط به خطوط جذب‌هیدروژن را نشان‌می‌دهدکه توسط صدها ابرگازی با مقادیر گوناگون سرخ گرایی ایجاد گردیده است. هر خط به وسیلهٔ ابری که نور در طول مسیرش با آن مواجه شده است (منظـور از مسیر، مسیر اختروش تا چشم ماست) بـه وجود آمده است. برخی از خطوط برای اندازه‌گیری دوتریم یا فراوانی عناصر سنگین مناسب است.

از انفجار بـزرگ را در کهکشانهـای جداگـانه و مستقلـی که امـروزه می‌بینیـم، ثبت و ضبـط می‌کند. خطوط عناصر دیگر، از ناحیه نور عناصر انفجار بزرگ تا زمان حال، بر روی حرکت تکاملی شیمی کیهانی اثر می‌گذارند.

به تازگی تلکسوپهای موجود در فضا، امکان اندازه‌گیری جذب را از طریق هلیوم کیهانی فراهم کرده‌اند که این خطوط تا پیش از این غیر قابل دسترسی و در ناحیهٔ فرابنفش طیف قرار داشتند. در مقایسه با هیدروژن، اتمهای هلیوم دارای ظرفیت باری بسیار زیادتری هستند و بنابراین در وضعیت تبدیل به یون شدن در فضای بین کهکشانی، بهتر می‌توانند الکترونها را به خود مقید سازند. این عمل، جذب به وسیلهٔ هلیوم را در هر جایی قابل مشاهده می‌کند. نه تنها در توده‌های ابری که حتی در نواحی خالی میان کهکشانها. با بهره گیری از عمل جذب هلیوم، می‌توانیم توزیع آثار آخرین گازهای ابتدایی را که به کهکشانها سقوط نکردند طرح ریزی نماییم. طیف اختروشها بدین وسیله حکایت کرده‌اند که حتی در تاریکترین و خالی ترین مکانهای موجود در جهان نیز نشانه‌های قابل آشکارسازی از مواد به چشم می‌خورند. هیچ جایی در سراسر گیتی وجود ندارد که به طور کامل از گاز خالی باشد. حتی در نواحی فوق العاده بزرگی که از وجود ستارگان و کهکشانها تهی هستند.

شرایط برای خود سازمان‌دهی کیهانی[1]

زمانی که یك کودك، شلوغ کاری می‌کند، شلوغ کاریهای او در ذات او از بین نمی‌رود و ناپدید نمی‌گردد. در واقع این یك قانون طبیعت است. همیشه در مقابل تصادف، یك تمایل وجود دارد. از این رو به نظر می‌رسد که این یك تناقض باشد که ساختار و اطلاعات را در جهانی به وجود آورده‌اند که در ابتدا به صورت تصادفی و ساختار ریز بوده است. چگونه یك دستگاه ساده و یك شکل مثل انفجار بزرگ، به صورتی پیچیده پیشرفت کرد؟ چرا به همان صورت یکنواخت باقی نماند؟ هیچ مکانی در خارج وجود ندارد که اطلاعات از آن، به سوی ما جاری شود. بنابراین جهان باید در درون خود به شکلی پیچیده پیشرفت کند.

البته مورد توجه‌ترین پیچیدگی، خود ما و دیگر چیزهای زنده هستیم. مثل دستگاههای باور نکردنی و پیچیدهٔ مولکولی. این یك معجزه تلقی می‌شود که یك فیزیك ضعیف می‌تواند

1 - Cosmic Self - Organization.

تمامی این رخدادها را به‌وجود آورد. ولی علی‌رغم‌وجود این‌همه پیشرفتهای اخیر در شناخت پیچیدگیهای سیستم، هیچ گونه مدرکی وجود ندارد که برای خلقت پیچیدگی، به اصول علمی ـ طبیعی نوینی نیاز نیست. این «پدیدارشدن»های مربوط به پیچیدگیها تحت حالتهای اطمینان بخشی با عوامل شاخص در حوزهٔ فیزیك استاندارد رخ می‌دهند. بحث و جدل در مورد این که آیا برخی از سازماندهی های بنیادین جدید برای پیدایش گیتی مورد نیاز هستند یا خیر، یادآور انقلابی است که توسط داروین* تسریع گردید؛ کسی‌که به تفصیل نشان داد چگونه نیروهای مکانیکی به صورت ضعیف و اختیاری به پیشرفتهای گونه‌های جدید راهنمایی می‌کنند: حیات یك ویژگی رخداد طبیعی از پیچیدگی متعلق به دستگاههای باز است.

امروزه می‌دانیم که جهان فیزیکی نه فقط از یك حیات سترون آغاز نشده است، بلکه تقریباً از یك ساختار هوشمند یا حتی اطلاعاتی از هر نوع، آغاز نشده است. از فرآروندهای یك حمام داغ ذرات سترون اولیه و پرتوها، نمی‌توان به ساختار هر چیزی پی بُرد. به نحوی، جهان در حال انبساط، فرصت ترقی و پیشرفت در زمینهٔ ساختارهایی چون شیمیایی و انرژیهای مفید را که با بهره‌گیری از اختیارات طبیعی از آنها استفاده می‌کنیم در طول رخدادهای مورد علاقه در طی چهار بیلیون سال اخیر بر روی سیارهٔ ما فراهم کرده است، و این گونه است که ما به جایگاه امروزی خود رسیده‌ایم.

در واقع کیهان‌شناسی انفجاربزرگ عوامل مهمی را فراهم‌آورده‌است تا وقایع مفیدو مورد علاقه‌ای رخ دهند. مثلاً جهان را به‌صورت گازسوزان و تابشهای زمینه‌ای‌باقی نگذارد. عامل فعالیت آسمان، گسترش و توسعهٔ خود اوست‌که‌به‌جهان اجازه می‌دهدموازنهٔ گرمایی[1] را ترك کند و از رکود و ایستایی کامل اجتناب نماید (یا مرگ گرما). یك مثال بارز، پس ماندهٔ عناصر سبك است؛ یك دنیای‌متوازن (از آن‌نوع‌که بسیار آرامتر از این‌که گرانش اجازه دهدانبساط یافته است)، باید از آهن درست شده باشد و حاوی هیچ گونه سوختی برای ستارگان نیست[2].

---

* Darwin. 1 - Equilibrium.

۲ ـ ستارگان نیز مقصد خود را از توازن به وجود می آورند. به عنوان مثال، انفجارهای ستارگان می‌تواند هسته‌های سنگین‌تر از آهن مثل اورانیم که ناپایدارند تولید کند. انرژی که در این هسته‌ها ذخیره می‌شود در طول شکست هسته‌ای، مثلاً واکنشهای هسته‌ای خود ما دیرتر آزاد می‌گردد.

آسمان تاریك شب نیز یك نمونهٔ دیگر از این است که چگونه انبساط فرصتهایی را برای خود سازماندهی خلق می‌کند: بدون حضور سرما، آسمان تاریك مازاد گرما را [برای برقراری تعادل گرمایی]، به سوی فضا گسیل می‌کند و ما در یك موازنهٔ گرمایی با هیچ گونه انرژی که قابلیّت انجام هر کاری را داشته باشد فرو می‌رویم. اگر چه موضوعات ترمودینامیکی گاهی اوقات از مرگ گرمایی جهان بحث می‌کنند، ولی این در واقع نوعی تولّد گرمایی است که نزدیکترین تعبیر به توازن جهانی از آغاز بوده است و از آن پس، انبساط جهان در حال خلق اهداف و مقاصدی برای توازن و تعادل است. تعادل ترمودینامیکی هرگز قابل دسترسی نخواهد بود. انبساط جهان به آرامی در حال رقیق و نازك کردن اجسام است.

عوامل لازم دیگر، رشد ماکروسکپی ساختاری است. اجتماع مواد در توده‌های بزرگتر از اتمها به وسیلهٔ بی ثباتی گرانشی و تحولات و تغییراتی که آنها را رها می‌کند، تولید می‌شود. یك ویژگی مورد علاقهٔ دستگاههای خود کششی (مثل سیارات، ستارگان و یا کهکشانها) که محدود به گرانش هستند، آنان را به موتورهایی تبدیل می‌کند که اهداف بالاتری از تعادل و توازن را تولید می‌نماید. آنها تمایل به گرم شدن در زمان از دست دادن انرژی دارند. فقط یك نمونه از این سرچشمهٔ معمولی، مقدار گرمای فوق العاده زیادی است که در نتیجه سقوط ماده به درون سیاهچاله تولید می‌گردد که نشان دهندهٔ یك دورهٔ طولانی است: با گذشت زمان مقدار مادهٔ بیشتر و بیشتری در دستگاههای منحصر به گرانش گیر می‌افتد که مقدار انرژی آزاد شدهٔ آن تمام نشدنی است.

رشد و ترقی ساختاری، صحنه را برای تکامل کیهانی پیرامون ستارگان یا سیّارات و هر جایی دیگر اختصاص می‌دهد. این مثالها نشان می‌دهند که چگونه انبساط کیهان، به جهان این امکان را می‌دهدتا خود را سازمان دهی کند، جهان می‌تواند از داخل، پیچیدگیهای خود را بدون هر کمکی از خارج رشد و پیشرفت ببخشد. هم اینك کیهان شناسی فیزیکی در حال کشف وقایعی است که در طی آنها یك جهان ساده و ابتدایی سازماندهی داخلی و پیچیده خود را ایجاد کرد. حتی بیشتر از آن چیزی که دیرین شناسان تا کنون از مسیر تکاملی دستگاههای زیست‌شناسی در روی زمین، حکایت کرده‌اند.

آغاز جهان

تورّم کیهانی

اگر بتوانیم علت انبساط جهان را توضیح دهیم، می‌توانیم واقعیتهای دیگری را نیز درك کنیم. به‌عنوان مثال، چرا جهان بزرگتر از آن چیزی است که ما اتم می‌نامیم؟ این یك پرسش ابلهانه نیست. چرا که به‌نظر می‌رسد قوانین فیزیك، به جهان اجازه می‌دهند که هر اندازه‌ای داشته باشد. این پرسش بسیار حائز اهمیت است. چرا که این یك واقعیت واضح است که جهان بسیار بزرگتر از اتم باشد تا خیلی چیزها را در درون خود انجام دهد و زمان زیادی را صرف کند. پیش از این دیده‌ایم که اندازهٔ مقیاس کیهانی نامحدود و بیکران نیست. چه چیزی اندازهٔ آن را تعیین می‌کند؟

مهمترین نیروی طبیعت که در مقیاس بزرگ، حرکتها را تحت کنترل خود دارد، گرانش است. در دنیای امروزی، گرانش را تنها به‌صورت یك نیروی جاذبه می‌بینیم که منظومهٔ شمسی را مثل کهکشانی به هم نگه داشته است. ولی حالتهای دیگری نیز وجود دارند که گرانش می‌تواند به شکل درونی ظاهر شود. مثل نیرویی که قطبهای شمال دو آهن ربا را از هم دفع می‌کند. یکی از اثرات شگفت انگیز این گرانش دافعه‌ای، این است که می‌تواند جهان را وادار به از هم پاشیدگی کند و باعث آغاز انفجار بزرگ [گردیده است]. این تأثیر، کانون تفکر الگویی است موسوم به «جهان تورّمی[1]».

---

1 - Inflationary Universe.

امکان وجود گرانش دافعه‌ای، در نظریه نسبیّت انیشتین ظاهر شد. انیشتین نشان داد که کلیهٔ اشکال انرژی هم ارزند و همهٔ آنها با گرانش جفت گردیده‌اند. تنها ماده نیست که در خلقت گرانش دخیل است. بلکه نیرو نیز در آن سهیم است. حتی نیروهایی که در مقابل گرانش مقاومت می‌کنند، مثل فشاری که یك جسم اعمال می‌کند تا زمین را از فروپاشیدن حفظ کند نیز سهم به سزایی در نیروی گرانش جاذبه‌ای دارد. زیرا گرانش در ذرات نزدیك به هم، قویتر می‌گردد و در چگال‌ترین مواد به صورت قویترین حالت ظاهر می‌شود. حالتی وجود دارد که نیروهای فشار در کنار مقاومتی که در برابر از هم پاشیدن می‌کنند، خود سهم بسیار زیادی در انرژی فراوانی دارند که خودشان نمی‌توانند کسب کنند. این نیروهای فشار بر خودشان چیرگی و تسلط دارند: هر چه شدیدتر به بیرون فشار وارد می‌کنند، گرانش خودشان بیشتر به داخل فشار می‌آورد.

توجه کنید که این تناقض به کجا هدایت می‌شود: هر چه فشار بیشتر در برابر گرانش مقاومت کند، گرانش نیز بیشتر از خود مقاومت نشان می‌دهد. این واکنش دو سویه، مسؤول انحراف بردار گرانش در شکل گیری سیاهچاله‌ها است، جایی که تمام جرم توسط نیروی گرانش در یك نقطهٔ منفرد متمرکز گردیده است و هستهٔ اولیّه و نخستین تودهٔ آن به وسیلهٔ میدان گرانشی خودش نابود می‌شود[1].

در تورّم کیهانی هم همین وضعیت ولی در راستای مخالف روی می‌دهد. کاهش انحراف به راستایی امتداد می‌یابد که هر جسمی را وادار به از هم پاشیدگی سریع، بنماید. این اتفاق به این علّت رخ می‌دهد که فشار می‌تواند به جای مثبت بودن، منفی باشد.

فشار منفی خیلی غیر عادی نیست. فشار منفی، فقط یك تنش و کشیدگی است. مثل یك نوار لاستیکی، یك پل کابلی موقتی و یا یك طناب ژیمناستیك که در همهٔ اینها، یك نیرو به جای از هم پاشیدن آنها را به هم متصل و مقید نگه می‌دارد. آن چیزی که غیر عادی است، این است که به گرانش منفی، یك تنش افزوده می‌گردد. در همهٔ این مثالها، تنش مقدار کمی

---

۱ ـ در خیلی از حالتهای متعادل، میدان گرانشی، بخش کوچکی از ذرات جرم را تحت اشغال خود دارد. مثل پدیده‌های شناخته شده‌ای چون سرخ گرایی گرانشی جرم. به طور متناقض یك ذره در فضا اندکی بیشتر از روی سطح زمین جرم دارد ـ بر خلاف کمبود وزن آن در فضا.

از گرانش دافعه‌ای را تولید می‌کند. معمولاً تنش در مقایسه با چگالی آن قدر ناچیز است که هیچ‌گونه اثری از خود نشان نمی‌دهد. ولی با همان تناقض که فشار مثبت را باعث می‌گردد، از هم پاشیده شدن اجسام، می‌تواند سبب ایجاد گرانش جاذبه‌ای (فشردن اجسام به یکدیگر) بشود و با فشار منفی (به هم فشردن اجسام به هم) می‌توان گرانش دافعه‌ای از هم پاشیدن اجسام را به وجود آورد. و این گونه تفسیر می‌گردد که چنانچه فشار و کشش افزایش یابند و زیاد شوند، ناپایداری پیشرفت می‌کند: هر چه جهان بزرگتر می‌شود، بیشتر تمایل به گسترش دارد. نخستین وضعیت پس از پایان یافتن تعادل گرانش جاذبه‌ای، هدایت به سوی یك سیاهچاله و دومین حالت، هدایت به سوی «جهان در حال انبساط[1]» است.

نوع پایداری یا عدم پایداری توسط نوع مادهٔ حاضر مشخص می‌گردد. حالتهایی که یك فشار منفی سبب ایجاد گرانش مثبت می‌گردد که نیاز به تنش مقداری ماده که بیشتر از c^2 برابر ثلث چگالی است پیدا می‌کند. این عدد بسیار بزرگی است و به طور طبیعی اتفاق نمی‌افتد ولی می تواند در فضای خالی میان کهکشانها روی دهد. انیشتین به این امکان پی برد و آن را «ثابت کیهان شناسی[2]» نام گذاری کرد.

در مراحل نوین، این گونه بیان می‌کنیم که ممکن است در خلأ فیزیکی ـ جایی که هیچ گونه ذرهٔ واقعی وجود ندارد ـ انرژی گرانشی صفر نباشد. ممکن است فضای خالی که از تمامی صورتهای ماده تهی شده، به طور کلی خالی نباشد. وقتی که آن قدر خالی باشد که شما بتوانید آن را درست کنید، ممکن است هنوز در آن جا انرژی باشد. پس با توجه به این نقص ظاهری، می‌توانیم آن را «خلأ مادی»، بنامیم. اگر فضای خالی دارای

---

۱ ـ معمولاً مقدار کمی از گرانش دافعه‌ای به وسیلهٔ نقش جاذبه‌ای آن پایمال می‌شود. بر طبق نظریهٔ گرانش انیشتین رابطه‌ای برای شتاب یك ذره در حاشیهٔ کره‌ای به شعاع r عبارت است از:

$$\text{شتاب گرانش} = (-\frac{4\pi G}{3}) \times (\text{چگالی} + 3 \times \text{فشار} \div c^2)$$

که در آن c^2 مجذور سرعت نور و G ثابت گرانش نیوتون است. معمولاً از جملهٔ حاصل فشار می‌توان چشم پوشی کرد تا سرعت ذره به سرعت نور نزدیك شود. ولی همیشه فشار مثبت به اثر گرانشی چگالی افزوده می‌گردد. در حالی که فشار یا کشش منفی عکس این عمل را انجام می‌دهند.

2 - Cosmological Constant.

انـرژی باشـد، به فشـار منـفی مربوط است که میل شتاب دادن به انبساط جهان دارد.

به هـر حال، یك دورهٔ تـورّمی در ابتدا که بـاید پیش از «سنتـز هسته‌ای[1]» روی داده و خیلی کمتر از یك ثـانیه به طول انجامیده بـاشد، احتیاج به فشار منفی زیـاد و در پی آن به یك چگالی خلأ خیلی بیشتر نسبت به مقدار کنونی داشته باشد. پس انرژی خلأ باید از یك مقدار زیاد به مقدار کـم تغییر کرده باشد. این احتمـال به صورت یك امکان فیزیکـی معقول و باور کردنی در نظر گرفتـه نمی‌شود. ولی پیشرفتهای حاصل شده در زمینـهٔ دانسته‌های ما در مورد زیربنای نیـروهای فیزیکی ایـن گونه آشکار می‌سـازند که نیروها بـا این عملکرد میدانهـا باید وجود داشته باشند. بی تردید آنها تقـارن موجود در میان واکنشهای نیروی هسته‌ای ضعیف و الکترومغنـاطیسی را تکذیب مـی‌کنند و توضیح مـی‌دهند که چـرا ذرات می‌توانند جـرمهای خاص خود را دارا بـاشند. خلأ مورد تقاضای نظـریه است که انرژی خـود را از مقدار خیلی زیاد و دمای بالا به انرژی بسیار کم و دمای پاییـن تغییر دهد. ـ حالت نخست، خلأ مصنوعی و حالت دوم، خـلأ واقعی نام دارد. همچنین بعید نیسـت که مجسّم کنیم که در بـدو پیدایش جهان، فقط خـلأ غیر طبیعی حاضـر نبوده است بلکه در واقـع بر چگالی فشـار مثبت مادی، همچون ماده و پرتو نیز حاکم بوده است.

اگر این اتفاق رخ دهد، پس نیروی دافعهٔ گـرانشی حتی در یك ناحیهٔ کوچـك از فضـا خیلی زیـاد است. دو بخش تقـریباً مستقـل انرژی، از هم دفـع می‌شونـد و نیـروی پیـوسته و مسـتمر گرانشـی، آنها را با هر سرعت بیشتـری از هم می‌راند. یك حجم کـوچك از فضا در طـی یـك گسترش سریع، رشـد می‌کند و به انـدازهٔ بسیار بزرگـی مبدّل می‌شود. ایـن پـایان ناپایدار، نخسـتین خصوصیّت شگفت انگیز تورّم است. به همین علت است که جهان خـیلی بزرگـتر از یك اتم مـی‌باشد. به طور کنجکاوانه؛ ایـن نیز دومین ویژگی جالـب توجه انبساط اسـت. چگالی مواد در طول این انبساط وسیع، کـاهش نمی‌یابد. البته مواد عادی در صورت گسـترش و انبساط یافتن، رقیق می‌شوند ولـی انبساط مواد درون خلأ این گونه نیست. چنین به نظر می‌رسـد که اثر این قانـون انرژی را که مطابق بـا آن، انرژی تولید و نابـود نمی‌گردد و

1 - Nucleosynthesis.

فقط از یك صورت بـه صورت دیگر تبدیل می گردد زیر پا می‌گذارد. در ایـن جا شـما از یك حجـم بسـیار کوچك ماده، سخن می‌گویید و آن را آغاز مـی‌کنید و با یك جهان کامل به پایان می‌رسانید[۱].

دو باره، وضعیـت مثل آینـه‌ای عمل مـی‌کند که فـروپاشـی یك سیـاهچالـه را مجسّم می‌سازد. «نهار آزاد»[۲] که متعلّق به تورّم است، خیلی بـا انرژی که اختروشها در نتیجه سقوط مـاده به سیـاهچاله‌ها دریافـت می‌کنند فرق نمی‌کنـد. در آن جا، ماده به نقطهٔ مـرکزی سقوط می‌کنـد و نابـود می‌شود، در حـالی کـه انرژی آن به انـرژی «گرانشـی ضعیف»[۳] تغییر شکل می‌دهد: یك سیاهچاله، از فضای خالـی تشکیل شده که جرم و انرژی در انحنـای فضـا و در میدان گرانشی است. در واقع ممکن است ماده‌ای به یك سیاهچاله افزوده گردد در حالـی که جرم آن به چـاله اضافه نمی‌شـود و جرم ذره توسط گـرانش از هم پاشیده مـی‌گردد. در طـی عمـل گستـرش، فرآینـد معکوس روی مـی دهد: حجـم فوق العـاده زیادی از مـادهٔ حاصـل انرژی (حجمی که در نهایت می‌تواند به نور واقعی و ماده تبدیل گردد) توسط فرآیند گرانـش (دافعه) به وجود مـی‌آید. اگر چه این رخدادهـا مثل هیچ جلوه می‌کنند، ولـی مقدار هنگفـتی انـرژی در نتیجـه صرف مقدار زیـادی انرژی گرانشی منفـی خلق می‌شـود. بنابرایـن، مقدار نـهایی انـرژی دنیا هنوز خیلی نزدیك به صفر است. ولی آن تا کنون به صورتهای گوناگون از مقدار صفر انرژی و از نقطهٔ بسیار ظریف و کوچك انرژی متحول گردیده و تغییر کرده است. این جهان بزرگـی است که با گرانش خـود ماده و خلأ را به هم نگه مـی‌دارد و خود از هر دو آنها درست شده است.

---

۱ ـ الگـوی یکنواخت و ثـابت کیهان شنـاسی، دنیـایی در حال گسترش است کـه در دههٔ ۱۹۵۰م. دوران اولیـهٔ خود را می‌گذراند و بسیـاری از نظرات و عقاید تورّم زای کیهان شناسی را پیـش بینی کرد. مثل این نظر که مـی‌گوید جهان انبساط می‌یابد ولی ماده رقیق نمی‌گردد. در این الگو، تورّمی که امروزه روی می‌دهد، در خلال پیدایش ماده از خلأ در حال انجام است. می‌دانیم که انفجار بزرگ در وضعیتی فـوق العاده چگال و فشرده و بسیار داغ به وقوع پیوست. بنابراین منشأ انبساط و سرچشمهٔ مادهٔ هر دو به دوران اولیه و مرموز نسبت داده می‌شوند. ولی فیزیك گرانشی خیلی به هر دو این مدلها شبیه است.

2 - Free Lunch. 3 - Pure Gravity.

آفرینش نور و مادّه

شکل خارق العادهٔ گرانش دافعهٔ «مادهٔ خلأ» که سبب ایجاد تورّم شده است، جهان امروزهٔ ما را تشکیل نمی‌دهد. انرژی آن خیلی پیشتر، تبدیل به اجسام شناخته شده و دنیایی گردیده است. (در این جا اعتقادات زیادی در مورد چگونگی دقیق وجود دارند). انرژی متعلق به خلأ انبساط یافته به نور متمایل می‌گردد (یا بازگرمایش). منظور، همان نوری است که امروزه به مقدار بسیار زیاد سرخ گرایی می‌کند و ریزموجهای زمینه‌ای که ما شاهد آنها هستیم را به وجود آورده است. دنیای عظیم خلأ تبدیل به جهانی می‌شود که با انرژی تشعشعی پر شده است. پرتو دارای فشار جاذبهٔ بسیار زیادی است، نیروی گرانش هم، به صورت جاذبه درآمد و انبساط و تورّم به پایان رسید. شتاب انبساط متوقف گردید و شروع به ایستادن کرد و همان گونه که پرتو انبساط می‌یابد، سرد می‌شود و رقیق می گردد.

پس از باز گرمایش، این الگو از جهان به شدت شبیه به انفجار بزرگ داغ، عظیم، گسترده و تحت تسلط پرتو می‌گردد که دنیای ما را در یك سرخ گرایی شدید تشریح می‌کند. او هنوز یك عامل مهم را کم دارد: هیچ ماده‌ای در آن اسیر و گرفتار نیست. واپاشی خلأ به طور دقیق پرتوهای طبیعی را به وجود می‌آورد که این پرتوها دقیقاً هم اندازه ذره‌ها و ضد ذره‌ها، باریونها و ضد باریونها هستند. اگر همان ماده انبساط می‌یافت و سرد می‌شد و دمای آن کاهش می‌یافت، آن وقت‌ذرات و ضد ذرات به‌یکدیگر واپاشیده می‌شدند. این اتفاق هرگز رخ نخواهد داد. نخست به این دلیل که می‌دانیم جسم باریونی وجود دارد (به عنوان مثال، سیّاره‌ها، ستاره‌ها و مردم) و دوم به این دلیل که شکل گیری اولیهٔ عنصر انفجار بزرگ، مقدار مشخصی باریون را طلب می‌کند. این شکل گیری یك نسبت مشخص و معینی بین باریونها به فوتونها را برای دادن عناصر سبك و فراوان می‌طلبد.

چرا جهان حاوی مواد است؟ مدتی پس از انبساط، در جهان وقایعی رخ داد که از نور خالص، مواد باریونی به وجود آورد. برخی از اجسام در دستگاههایی که تعداد آنها مشابه هم هستند و بیشتر از این که «ضد کوارك» به وجود آورند، «کوارك» تولید می‌کنند.

به منظور تولید ماده از نور خالص نیاز به سه عامل است که در دنیای اولیه به وقوع پیوسته‌اند. نخست باید یك فرآیند فیزیکی وجود داشته باشد که بتواند یك کوارك را بدون ضد مادهٔ آن (ضدکوارك) خلق کند. اگر چه به نظر می‌رسد که این اتفاق رخ می‌دهد، ولی باید بسیار نادرست باشد. چرا که دلالت بر مشاهدهٔ تولید خود به خودی کوارکها از انرژی یا بالعکس دارد. یعنی تحلیل و نابودی مادهٔ باریونی به نور[1]. دوم این که ماده و ضد ماده که دارای رفتارهای مختلفی می‌باشند. در این صورت آنها همیشه باید در مقادیر کاملاً مساوی تولید شوند. خوشبختانه رفتار مختلف آنها مشاهده گردیده است، البته در مقدار کم. سرانجام، جهان به سوی حالت نامتوازن می‌رود تا شیوهٔ عمل این آثار را تغییر دهد. انبساط باید ذرات را از بیشتر سلسله مراتب تصادفی‌شان خارج سازد وگرنه ذرات و ضد ذرات که دارای جرم معادل هستند، باید به جای عدم تساوی در واکنشها، در میزان فراوانی برابر باشند. اینها می‌توانند تحت شرایط دقیقی اتفاق بیفتند. این که چگونه این عوامل یکدیگر را در طبیعت درك می‌کنند، به درستی برای ما توجیه نشده. این نیز یکی از بخشهای انفجار بزرگ است که هنوز به پایان نرسیده است. (هنگامی که این موضوع توجیه شد، به دلیل با ارزش η یعنی نسبت باریون به فوتون پی خواهیم برد). ممکن است که درك پیدایش باریون، عاقبت برای ما دریچه‌ای رو به انفجار بزرگ و در پی آن فصل نوینی از فعالیّت فیزیکی همانند اطلاعاتی از خلقت هستهٔ اتم سبك و اولیه بگشاید.

---

۱ ـ چرا که ظاهراً ماده در یك زمان از یك مخلوط ذرات و ضد ذرات ظهور کرده است. ضمناً امکان وقوع فرآروند معکوس می‌فهماند که ماده ناپایدار است و در نهایت دو باره به مخلوط ذرات و ضد ذرات پاشیده می‌شود. معمولاً فراپاشیهای مواد پرتوزا به طور کامل نور منتشر می‌کند، امّا آنها همیشه مجموع تعداد نوترونها و پروتونها یا به عبارت دیگر مجموع تعداد کوارکهایی که آنها را به وجود آورده‌اند ثابت نگه می‌دارند. معمولاً پروتونها و نوترونها شبیه به بمبهای کوچك متصل به فنر هستند. اگر آن بمبها می‌توانستند کوارکهایشان را رو برداری کنند، می‌توانستند به هر سویی پرتاب گردند و تقریباً تمامی جرم سکونشان را به صورت انرژی رها سازند. البته در واقع این اتفاق روی می‌دهد ولی به جای این که ابزار کارآمدی برای هدایت به سوی تلاش برای مشاهدهٔ آن باشند، آن قدر آهسته رخ می‌دهندکه تا کنون‌آشکار سازی‌نشده‌اند. ابزارها و شیوه‌هایی‌که طول‌عمر پروتون را به‌ما بازگو می‌کنند، از 10^{31} سال هم تجاوز می‌کنند.

چرا جهان خیلی پیر است؟

چرا جهان ده یا بیست بیلیون سال قدمت دارد؟ و چرا ده یا بیست تریلیون ساله نیست؟ و چرا یك سال عمر ندارد؟ دلیل این که جهان دست کم ده یا بیست بیلیون سال عمر کرده است، همانند این دلیل است که چرا جهان خیلی بزرگتر از یك اتم است. تورّم که با عملکرد خود جهان را منبسط کرد، به آن اندازه حرکت گسترده‌ای داد که زمان زیادی را نیز صرف کرد. ولی چرا از این که هست، پیرتر نیست؟

یك سرنخ سن زمین، ۴/۵ بیلیون سال است. یعنی مثل خورشیدکه به‌عبارتی یك سوم سن جهان می‌باشد. اگر جهان از این‌که هست جوانتر بود، کهکشان زمانی برای فروپاشی نداشت و ستارگان فرصت ایجاد عناصر سنگین را نداشتند و منظومهٔ شمسی نمی‌توانست در کهکشان شکل بگیرد و حیات برای انتشار یافتن فرصتی نمی‌داشت. همهٔ این چیزها نه‌میلیونها که بیلیونها سال زمان صرف می کنند. چنانچه جهان پیرامون‌ما چندبیلیون‌ساله‌می‌بود، نمی‌توانستیم انتظار داشته‌باشیم زمان زودتر از اکنون‌شاهد باشیم (این‌سازوکاری‌است‌که برای موجودیت، یك خورشید و یك سیاره و مدتی زمان طلب می‌کند). در همان زمان، ممکن است انتظار نداشته باشیم‌جلوتر از زمان‌قراربگیریم. چرا که‌گاز تازهٔ هیدروژن که سوخت‌ستارگان‌راتأمین می‌کند به پایان می‌رسد و آن چیزی که باقی می‌ماند در ظرف مدّت چندین بیلیون سال صرف خواهد گردید. پس از گذشت ده بیلیون سال دیگر، جهان نسبت به شرایطی که امروزه بر آن مستولی است، تاریك و سرد خواهد گردید. نباید تعجب کنیم که در جهان و در هر زمانی شاهد پاسخ‌گویی به این باشیم که چرا در این‌جا قرار داریم. جهان فوق‌العاده کهنسال است. چرا که فرضیهٔ تکامل‌تدریجی‌شیمیایی و زیست‌شناسی هر دو در مسیر پیشرفت‌انسان واقع شده‌اند[1].

---

۱ ـ هیچ دلیلی وجود ندارد که بدانیم چرا فرضیهٔ تکامل تدریجی زیست شناسی باید همان مقیاس و درجه بندی زمانی فرضیهٔ تکامل تدریجی ستاره را داشته باشد. لذا این هنوز به صورت یك معما باقی است که ما انسانها باید در دیدگاه خود نسبت به خورشید آن را در نیمهٔ راه مدت زمان عمرش تلقی کنیم. ممکن است این توافق و انطباق، گسترش حاصل از آنتروپی باشد.

اختلاف ناچیز در این است که چرا این اتفاقات مدت زمان زیادی برای روی‌دادن، صرف می کنند. و اینکه چرا تکامل تدریجی شیمیایی یك کهکشان بیلیونها سال زمان می‌گیرد؟ پاسخ در بُعد فیزیکی این دستگاهها قرار دارد، به عنوان مثال، فیزیك بر حیات ستارگان حاکمیّت دارد. ستارگان بسیار غول پیکرند و زمان بسیاری را نیز به خود اختصاص داده‌اند. چرا که نیروی گرانی در مقایسه با نیروهای دیگر طبیعت خیلی ضعیف است. نیروی گرانی در مقایسه با نیروهای الکترومغناطیسی مقدار بسیار زیادی اتم برای محافظت از خود، مصرف می‌کند. این مقدار بیشتر از مقداری است که نیروهای الکترومغناطیسی برای پاشیده شدن می‌طلبند. از این رو اجتماعات بسیار بزرگی از اتمها[1] مورد نیاز است تا آنها بتوانند متراکم گردند و توسط گرانش در کانون انفجار هسته‌ای گرم شوند. همان تعداد زیاد اتمها با اندازهٔ کافی و برای یك مدت زمان زیاد سوخت هسته‌ای دارد و آن سوخت را به آهستگی مصرف می‌کند[2]. چرا که برای مشخص کردن اجرامی بزرگ ـ به بزرگی یك ستاره ـ، در یك دورهٔ زمانی طولانی پرتو مصرف می‌کند. قلمرو جهان در فضا و زمان می‌تواند از طریق این مقادیر بسیار زیاد، مفاهیم بنیادین فیزیك ترسیم شود[3] (حدود مقیاسها را در فصل۲ به طور مختصر شرح دادیم).

---

۱ ـ عبارت «بسیار بزرگ» به وسیلهٔ یك عدد مخصوص مشخص می‌گردد. موسوم به «جرم چاندراشیکار»، $۱۰^{۵۷} \sim ۳/۲ = (Gm_p^۲/hc)$ اتم. این جرم به وسیلهٔ ثابتهای بنیادین مشخص می‌گردد: G که ثابت گرانش نیوتون است، m_p که جرم پروتون h که ثابت پلانگ می‌باشد که مکانیك کوانتوم را اداره می‌کند و بالاخره c که سرعت نور است. همچنین می‌توانیم این عدد بزرگ را به صورت زیر نیز نمایش دهیم.

$$(m_{plank} / m_{proton})^۳$$

۱ ـ این مقیاس زمانی نیز توسط ثابتهای بنیادین معین می‌شود. به طور مشخص، این یك زمان ریز ساختاری نوسان پروتون است که $h/m_p c^۲$ برابر عدد بزرگی چون $۱۰^{۳۸} \sim (Gm_p^۲ hc)^{-۱}$ یا $(m_{plank}/ m_{proton})^۲$ یا $t_{plank} \times (m_{plank} \times m_{proton})^۲$ می‌باشد.

۳ ـ تعداد مکانهای گوناگون در جهان قابل مشاهده در حدود $(m_{plank} / m_{proton})^۹$ و تعداد زمانهای متفاوت نیز حدوداً $(m_{plank} / m_{proton})^۳$ است و تعداد رخدادهای گوناگون نیز از همین ارقام قابل محاسبه می‌شود.

چه چیزی غیر یکنواختی را خلق کرد؟

دیدیم که اگر انفجار بزرگ با کاستیها و نقایص کوچکی آغاز می‌شد، چگونه ممکن بود رخ دهد. گرانش کار کهکشانها را تکمیل می‌کرد. ولی سرچشمهٔ نخستین تغییر و تحوّلات کجا بود؟

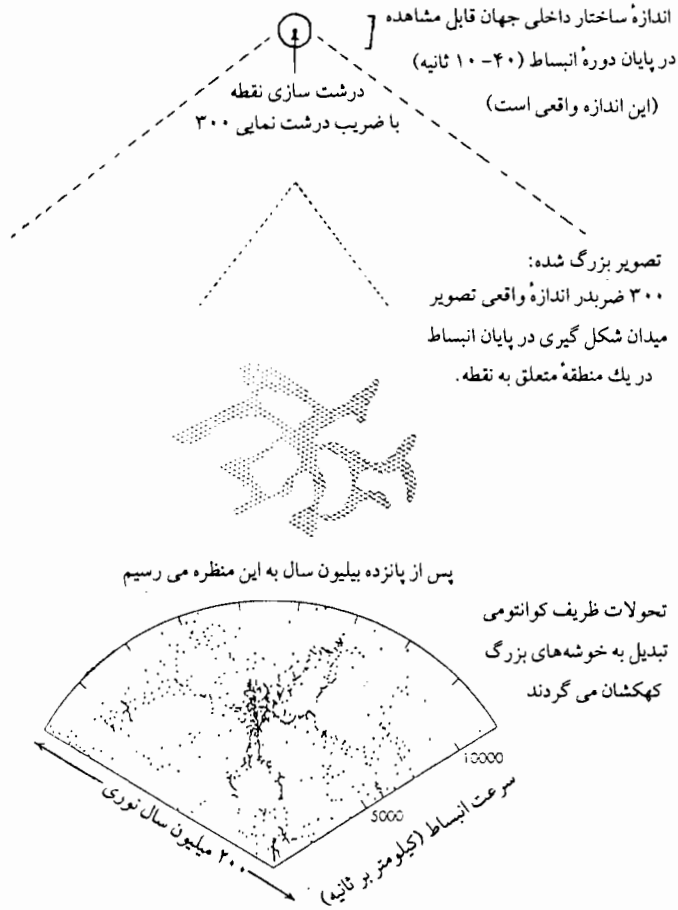
نخستین پس زنی گسترش انفجار بزرگ در نتیجهٔ گرانش دفعی حاصل از یك میدان فرضی تازه ایجاد گردید (البته شاید) که یك گونهٔ جدید از نیروست. یك عقیده در مورد سرچشمهٔ تحولات کیهانی این است که آنها به عنوان غیر یکنواختی‌ها در این زمینه به وجود آمدند که در طول انبساط خود صورت گرفته است. همان تحولات در برخی از سطوح مکانیك کوانتومی بدیهی و غیر قابل انکار هستند و در برخی از الگوهای موجود، تحولات کوانتومی می‌توانند به تغییرات سرعت انبساط تعمیم داده شوند.

چنانچه این عقیده درست باشد، پس ساختار جهان با این تولّد به وجود آمده است. انرژی که مصرف شده است تا خوشه‌های کهکشانی سر هم شوند و شکل بگیرند، یکی از آثار فیزیك ریزساختار است. تأکید بر این است که بزرگترین درجه بندی و مقیاس ساختاری ستاره‌شناسی، تصویری بی حرکت از تحولات گسترش یافتهٔ کوانتوم را از کوچکترین مقیاسهای فضا ـ زمان به طور مفصل نمایان می‌سازد[1] (شکل ۲۵).

احتمال دیگر بر این است که میدانهای ناشناختهٔ دیگر ـ حتی امروزه ـ تأثیرات مهمی را در جهان باعث می‌شوند. شاید دورهٔ اولیّهٔ تورّم و انبساط، در ورای خود، یك جهان نرم و هموار را باقی گذارده باشد و شاید به جای سنجش سنِ تورّمها و بازگشت به عقب، جهان امروزی با میدانهای غیر قابل مشاهده‌ای پر شده است که با سرعت زیاد در میان فضای‌بین

---

۱ ـ توجه داشته باشید که حتی کمترین صدای تقویت کننده‌های (آمپلی فایرهای) آزمایشگاهی می‌توانند این اثر را ایجاد کنند. انبساط در اصل به عنوان یك تقویت کنندهٔ صوتی عظیم و بسیار آرام عمل می‌کند. حتی آرامتر از هر نمونه‌ای که تا کنون ساخته شده است. به همین دلیل، پیشنهاد کردن یك جانشین آزمایشگاهی یا فیزیکی درست برای این فرآیند، غیر ممکن است. تقویت صوتی پیوسته، انبساطهای خلأ کوانتومی، هرگز ملاحظه نشده است.



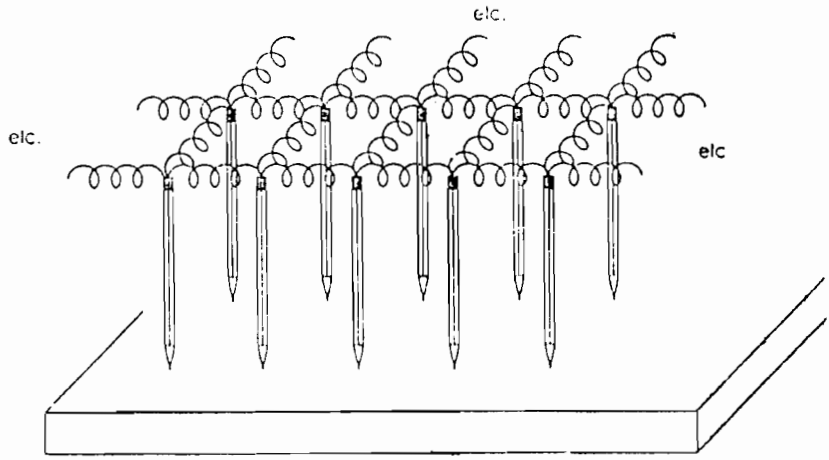
شکل ۲۵ ـ نمودار که شکل گیری ساختاری را از تحولات گسترش کوانتوم نشان می‌دهد. نقطهٔ بالا، اندازهٔ واقعی جهان را دقیقاً در پایان انبساط مواد موجود در دنیای قابل مشاهدهٔ امروزی نشان می‌دهد. سن جهان، در این زمان خیلی کمتر از زمانی بود که نور صرف می‌کرد تا آن نقطه را طی کند و از میان آن بگذرد (در واقع این کوچکتر از این است که با سازه مشخص شود. چرا که آن نقطه خیلی کوچکتر از دنیای امروز است). یك بزرگ سازی (ضربدر سیصد) از یك قطعه از جهان در این زمان (بخش میانی، حکایت از تغییر در میدانی دارد که انرژی موجود در حجم انبساط یافته را تحت کنترل دارد. این خیلی زود و توسط انبساط کوانتومی حجم، خلق گردید. به دلیل این تحول، این بخش از جهان ـ البته نه به طور دقیق ـ در حال گسترش است و خیلی آرام همیشه عقب می‌افتد. سرانجام نیز به صورت خوشه‌های غول پیکر کهکشانی فرو پاشیده می‌گردند (تصویر بالا).

کهکشانی در حال سیر هستند، ــ تحرك ماده به وسیلهٔ گرانش حاصل از اختلالات غیر قابل‌مشاهدهٔ خودشان ـ. اگر ساختار موجود در مقیاس بزرگ، همانند یك‌شنل سفید در روی‌سطح آب‌متلاطم باشد، پس این میدانهای نو ظهور همانند و مثل جریان غیر قابل مشاهدهٔ باد هستند که این تلاطم را سبب شده‌اند. همین فعالیّت درجه بندی میدانها می‌تواند پاسخگو و مسؤول سازماندهی ماده در ساختارهای گوناگون باشد. مثل شکل گیری کهکشانها و ساختارهای موجود در مقیاسهای بزرگ. در این مرحله، ساختار کیهانی واقعاً یك اثر ریزساختاری نیست، در عوض در آن جا، فیزیك نوینی وجود دارد که شامل میدانهای خارجی است و امروز در مقیاس بزرگ‌عمل می‌کند.

اختلافها و دگرگونیهای فضایی در میدانهای اسکالر، از یك عملکرد دنیای اولیه شکل گرفته است که مقادیر فوق العاده زیادی از مهره‌ها یا مدارهایی را که با فنر به هم متصل هستند و در حال سقوطند، به هم پیچیده و جمع کرده است (شکل ۲۶). در این جا مکان و موقعیت میدان، در هر نقطه‌ای توسط مداد نمایان گردیده است و فنرها نمایندهٔ نیروهای وارد از سوی میدانهایی هستند که سعی می‌کنند اجسام را هموار و یکنواخت کنند. در دمای بالا، هر چیزی به شدت می‌لرزد و میانگین موقعیّت مدارها راست و مستقیم است. زمانی که سیستم سرد می‌شود، مدارها می‌افتند. هنگامی که سیستم ناگهان سرد می‌شود، مدارها در راستای گوناگون سقوط می‌کنند. فقط مدارها تحت عمل فنرها قرار می‌گیرند. این اعمال خود به خودی در مقیاس بزرگ، زمان زیادی را صرف می‌کند. چرا که این می‌تواند فقط در سرعت ثابت و معین تکثیر شود که خیلی کمتر از زمانی است که یك مدار سقوط می‌کند[1].

اختلافها ودگرگونیهای‌فضایی‌درمیدانهای اسکالر، انرژی‌را مثل‌شبکهٔ نامتعادل‌و ممتد فنرها در خود ذخیره‌می‌کنند و همین که انرژی رها می‌گردد، توسط گرانش‌یك‌سری تحولات را پدید می آورد. سکون یا عملکرد خود به خودی این دگرگونیها همانند مدارهای عمود بر هم است که به سوی نوسانهای مقیاس بزرگ هدایت می‌کند و تغییرات‌موجود درماده و پرتو را سبب می‌گردد. این اعمال خودکار و حرکتهای ماده و انرژی در طبقه‌بندیهای بزرگ و در

۱ ـ کاستیهای جغرافیایی ویژه، همانند رشته‌های کیهانی یا تك قطبی‌ها زمانی به وقوع می‌پیوندند که در آن جا وجود دارد و قابل کنکاش نیست. یك مداد منفرد توسط تمام پوششهای پیرامون آن محاصره می‌گردد.



شکل ۲۶ـ یك نمونه از شکست تقارن که با یك میز و یك جدول متشکل از مدادهایی که روی نوکهایشان ایستاده‌اند، به تصویر کشیده شده است. پاك کن انتهای مدادها توسط فنر به هم وصل هستند. وضعیت یك میدان در یك نقطه به خصوص از فضای واقعی (به صورت دو بعدی در روی میز به تصویر کشیده شده است). با استفاده از برخورد مدادبا آن نقطه نمایش داده می‌شود. هر چند تصویر فوق متقارن است (تمامی راستاها مثل یکدیگرند)، ولی حالت حقیقی میدانها که در این جا نشان داده شده است، ناپایدار می‌باشد. لذا حتی اگر در ابتدا همگی به صورت عمودی ایستاده‌اند، در پایان در هر راستایی می‌افتند. اگر مدادها به طور سریع بیفتند، برای منظم شدن و در یك ردیف قرار گرفتن هیچ زمانی ندارند و در راستاهای گوناگون قرار می‌گیرند. این عمل پس از تکانها و ارتعاشات آهسته در فنرها رخ می‌دهد. این مورد باعث تغییرات در انرژی گرانشی می‌گردد که خود سبب یك سری تحولات در مواد معمولی می‌گردد.

مدتهای طولانی رخ می دهند. از این رو به‌مدت زمان فعالیت میدانهای اسکالر تلقی می‌گردد[1].

۱ ـ یکی از عجیب و غریب‌ترین رخدادها در این زمینه، رشته‌های کیهانی هستند. طبق این نظر برخی از انواع رشته‌های کیهانی همانند نوارهای پهن کشیده شدهٔ میان کهکشانی، امتداد پیدا می‌کنند. در حین این که با سرعتی نزدیك به سرعت نور پیرامون خود می‌چرخند، دو سوی مقابل هم نیز با سرعتی بر حسب کیلومتر بر ثانیه، به سوی هم حرکت می‌کنند. واکنش این چنینی می‌تواند به آثار قابل ملاحظه‌ای همچون لبه‌های تیز در ریزموجهای زمینه‌ای رهنمون کند. این بسیار با اهمیت است که ذهن خود را نسبت به وجود یا عدم وجود برخی از ساختارها بارور سازیم. اگر آنها وجود داشته باشند، پس رفتارهای قابل آشکار سازی را نمایش می‌دهند.

شاید این پهن‌ترین فاصلهٔ نادرست در عرصهٔ علم باشد: ما قطعاً نمی‌دانیم که آیا ساختار کیهانی بالاخره از رویداد چیزهایی در مقیاسهای خیلی کوچکتر از اتم به وجود آمده است یا در مقیاسهایی هم اندازهٔ کل جهان. تصویر رایج در توجه و طرفداری از این نظر، این است که تحولات از مکانیك کوانتوم انبساط جهان نشأت گرفته‌اند. این نظریه به زودی دو باره مورد آزمایش قرار خواهد گرفت. نقشه و طرح رویدادهای پرتوهای زمینه‌ای در حال آماده سازی هستند.

آینده

بیشتر تلاش ما در این کتاب بر روی گذشته ما متمرکز شده است. امّا زمان آن فرا رسیده است که بپرسیم آیا فیزیك و کیهان شناسی انفجار بزرگ چیزی در مورد آینده بویژه آیندهٔ دور دارند؟

انبساط کیهانی خود، دو عملکرد ساده و عادلانه دارد: انبساط بزرگ می‌تواند تا ابد نیز ادامه داشته باشد. یا سرانجام می‌تواند از انبساط بیشتر باز ایستد و سپس دو باره منقبض شود و در نهایت به چگالی فوق العاده زیاد و دمای بسیار بالا فرو پاشیده گردد. چنانچه منقبض گردد، **برای مدت زمان طولانی نخواهد چرخید و هنوز دهها بیلیون سال از «پاشیدگی بزرگ» می‌گذرد. وضعیت نهایی با حالت اولیه تفاوت بسیار زیادی خواهد داشت** که این به خاطر رشد ساختاری در خلال تکامل کیهانی می‌باشد. حالت نهایی مثل حالت اولیه نرم و هموار و ساده نخواهد بود. بلکه ناهموار و درهم و برهم و بی نظم و پر از آشوب و پیچیدگی است. شکستن و فروپاشیدگی کمتر از گذشته، به امروز شبیه است. همان گونه که تا کنون دیده‌ایم، مقایسهٔ سن جهان و آهنگ انبساط به طور تدریجی چیزهایی را می‌فهماند. بنابراین احتمالاً نیروی گرانشی خیلی ضعیف است که جهت پیشرفت و انبساط را معکوس کند. در طی این مرحله، اجسام سرتاسر سرد و رقیق می‌شوند. در این سناریو، گاز جمع آوری شدهٔ باقیمانده به تدریج به مصرف می رسد و یك سطح مادی را برای

ستارگان تازه فراهم می‌آورد. جهان به تدریج تاریکتر می‌شود و بیشتر از گذشته از عناصر سنگین غنی می‌گردد، شکل‌گیری ستارگان تازه متوقف می‌شود و باریونها در بقایای سرد سیاهچاله‌ها قفل می‌شوند و جهان در یك «زمستان کیهانی[1]» سرد می‌گردد.

همچنین ممکن است که در آیندهٔ بسیار دور، هنگامی که بتوانیم خیلی دورترها را مشاهده کنیم، کشف خواهیم کرد که تصویر سادهٔ انفجار بزرگ تنها یك توصیف تقریبی خوب از مسیر و موضع جهان است و اجسام در مقیاسهای خیلی بزرگ کاملاً متفاوت به نظر می‌رسند. شاید یك آشفتگی خیلی بزرگ یا یك عدم تقارن و یا دوران. آنچه که ما می‌توانیم فعلاً بخشی از جهان را مشاهده کنیم، به این معنی است که عقاید در مورد آیندهٔ بسیار دور آن فقط به همان صورت باقی خواهد ماند. هیچ کس نمی‌تواند در مورد نفوذ به افق ذرات مطمئن باشد.

آینده در خلال جهان

با توجه به این که به نظر می‌رسد جهان دست کم چندین ده بیلیون سال در حال چرخیدن باشد، سرنوشت حرکت ماده نمی‌تواند جالبترین و شگفت انگیزترین نکته در مورد آینده باشد. آن چیزی که واقعاً برای ما حائز اهمیت است (در مورد آیندهٔ حیات)، عبارت است از **پیچیدگی، هوشیاری** و اطلاعات و بالاخره فرهنگ و تمدن. مشاهدهٔ زمستان **کیهانی یك ندای مأیوس کننده و افسرده** است. ولی باید به خاطر داشته باشیم که زمان بسیار زیادی **طول** می‌کشد که جهان با یك آغاز هوشمندانه، شرایط نوینی را ایجاد کند و به وضعیت تازه‌ای تبدیل گردد. ما می‌توانیم همگام با تکامل تدریجی هوش و اطلاعات، آسوده خاطر و راحت باشیم. مهم نیست که چگونه سرد می‌شود و هیچ گونه توجیه فیزیکی برای متوقف کردن و حتی فکر کردن به آن نیز وجود ندارد. اجسام ممکن است آرام آرام متوقف شوند و حالتهایی را که ممکن است ما را از شناخت شکل آینده مان باز دارد، کاملاً می‌شناسیم ولی

1 - Cosmic Winter.

زمان و انرژی گرانشی فوق العاده زیادی می‌تواند برای تفکرات، ادراکات و احساسها در دسترس باشد.

ناامیدکننده‌ترین تصویر از آیندهٔ دور، این گونه آشکار می‌سازد که اگر ماده متلاشی شود، ـ مثل همان حالتی است که اگر نوترونها و پروتونها ناپایدار باشند و به ذرات سبکتر تلاقی کنند ـ چرا که پس از آن سرانجام خیلی کم از اتمها باقی می‌مانند تا یك آغاز هوشمندانه و مدبّرانه را پی ریزی کنند. حتی در طی این مرحله، اگر چه اطلاعات و حتی شاید هوش، می‌توانند تا مدّت مدیدی زنده باقی بمانند، ذرات ثابتی به منظور واکنش با نور ترك می‌شوند. به عنوان مثال، این گونه تصور می‌شود که الکترونها و پوزیترونها واقعاً ثابت هستند و اگر چنین باشد، زندگی با استفاده از تغییر فعالیتش در محیطهای متعادل که فقط از آن ذرات به وجود آمده است، راهی را برای طراحی مجدّد خود پیدا خواهد کرد[1].

بنابراین می‌توانیم در برخی از الگوها انتظار یك تعداد بی‌نهایت از اعتقادات و اندیشه‌ها در مورد آینده را داشته باشیم. آنها فعلاً یك گزینش به شمار می‌آیند و این درست نیست که فکر کنیم تمامی عقاید پذیرفتنی هستند. بعضی از نامحدودیتها از بقیه بزرگترند و دنیای نامحدودی که یك زمان نامحدود را تا کنون صرف کرده، هنوز به اندازهٔ کافی بزرگ یا دیر پا نشده که تمامی این احتمالها را درك کند. به همین دلیل ما به تعداد نامحدودی از دنیاهای بیکران نیاز داریم.

مقایسه و سنجش نامحدودیتها، یك سری مراقبت را می‌طلبد. همیشه تعداد نامحدودی عدد صحیح مثبت مثل دنبالهٔ .../ ۳/ ۲/ ۱ وجود دارند. حتی اگر روی اعداد متمرکز شویم، نامحدودیت بیشتری به چشم می‌خورد: تعدادبی‌شمار اعداد صحیح، ضامن تمام نامحدودیتهاست، اعشاریهای غیرتکراری که برخی از اعداد با اسامی ویژه‌ای را شامل می‌شوند (مثل $\pi = 3/14159265$، $e = 2/7282828$، $\sqrt{2} = 1/41421356$ و ...) و همچنین تمامی دنباله‌های ممکن. تعداد بی شمار دنباله‌ها خیلی بزرگتر از تعداد بی‌شمار اعداد صحیح است.

برای اثبات اینکه نامحدود بودن اعداد حقیقی بزرگتر از اعداد صحیح است، یك طرح‌بندی میان دو مکان را در نظر می‌گیریم (که در این زمینه به کنتور تنظیم کننده معروف

---

۱ ـ در الگوهایی با ثابت کیهان شناسی غیر صفر، حتی ذرات مادی پایدار آن قدر سریع از همدیگر پرت می‌شوند و دور می‌گردند که نمی‌توانند در یك جا اجتماع کنند و سرانجام در یك اصل و خاستگاه ابدی منجمد و ساکن می‌شوند.

است). اگـر دو محدودیت هم ارز بـاشند، پس ایجاد یـك تناظر یـك به یك میان آنهـا ممکن است. به عنوان مثال اعداد مثبت به صورت تناظر بی‌نهایتی با اعداد صحیح مثبت باشند. چرا که می‌توانیم طرحی بریزیم تا هر یك از اعداد را به یك عدد صحیح نسبت بدهیم.

۱ . ۲

۲ . ۴

۳ . ۶

اگر میان اعداد حقیقی و صحیح نیز این تناظـر و توازن وجود داشت، می‌توانستیم یك طرح مشابه را برای آنها پیدا کینم. مثل:

۱ . π=۳ / ۱۴۱۵۹۲۶۵

۲ . e=۲ /۷۱۸۲۸۱۸۲۸

۳ . $\sqrt{۲}$=۱ /۴۱۴۲۱۳۵۶۲

که هـر عدد مثبت، یـك عدد حقیقی ویـژه‌ای را مشخص می‌کنـد که این عـدد حقیقی توسط و الی آخر اعشار نمایش داده می‌شود.

اینك می‌توانیم‌نشان دهیم همان تناظر میان هرعدد حقیقی‌که به یك عدد صحیح نسبت داده می‌شود، وجود ندارد. بـرای هر یك از دستگاههایی که مورد کنکـاش قرار گرفته است، می‌توانیم همیشه یك عدد حقیقی پیدا کنیم که بـه حساب نمی‌آید. با گزینش نخستین عدد غیر اعشاری که هم ارز با عدد نخست نیسـت (مثلاً در این مثال، اولین رقم عدد π یا ۳) و دومین رقم موجـود در عدد دوم (در این مورد، دومیـن عدد e یا ۷) و الـی آخر. عددی که بـه عنوان نتیجه به دست می‌آیـد، در جدول به حساب نمی‌آید. چرا که همیشه با کـوچکترین عدد تغییر می‌کند. لذا این بیکران بودن اعداد حقیقی بیشتر از نامحدودیت خود اعداد صحیح است.

برای اطلاعات‌کیهانی، یك بحث‌مشابه‌می‌تواند عنوان شود. حالتهای اتمها، مولکولها و ذرات دیگر، می‌توانند توسط اعداد توضیح داده شونـد. یك پیکر بندی ویژه نیز می‌تواند به وسیلهٔ دنباله‌ای از اعـداد و دنباله‌ای از عملکردها در یك حجم نامحـدود از فضا نمایش داده شود. ولی امتداد بی نهایت زمان، می‌تواند توسط دنبالهٔ نامحدودی از ارقام نمایش داده شود. مثل یـك عدد اعشاری غیر تکـراری. ممکن است حجـم جهان در فضا و زمان نیـز بیکران و

نامحدود باشد. ولی آن قدر بیکران نیست که نتواند بیشتر از این رشد کند و بزرگتر شود یا آن قدر سریع حرکت کند که تمامی احتمالهای ترکیبی را شامل گردد. پویش وکنکاش‌بر روی تمامی احتمالها ـ حتی با قوانین ثابت‌فیزیکی ـ تعداد نامحدودی‌جهان را طلب می‌کند. استدلالهایی مشابه این بیان می‌کنند که دورتر از این که جهان خود گردان و «آدم واره» باشد، منحصر به فرد و غیر قابل پیش بینی است. حالت ساده و ابتدایی جهان نمی‌تواند اطلاعات کافی را در خود داشته باشد تا تکامل پیچیدهٔ آیندهٔ آن را از پیش تعیین کند.

جهان آنتروپی

یك زمینهٔ مستحکم و پایدار در علم کیهان شناسی، پرسش در مورد معنی و مفهومهاست. آیا ما مادّه‌ایم؟ آیا جهان چیزی در مورد ما و مراقبت از ما می‌داند؟ جهان از آنِ کیست؟ و اصلاً این همه برای چیست؟ پافشاری و اهمیت قائل بودن فیزیکدانان بر روی شیوه‌ها، کارکردها و قوانین، به فیزیك یك اعتبار تقریباً غیر انسانی و شاید بی فایده و تحقیقاً بی روح و بی عاطفه بخشیده است. بمبهای اتمی و سوانح هسته‌ای، هیچ گونه کمکی به شهرت و آبروی آن نکرده‌اند. این ازخود بیگانگی، بسیاری از غیر دانشمندان را به عقب نشینی از عرصهٔ فیزیك ــ به عنوان آن چیزی که یك دستگاه متحد و یکپارچه برای تشریح طبیعت است ـ سوق داده است. چرا که ناچاریم، بخشی از جهان باشیم و هیچ یك از ما غیر انسانی، بی‌فایده یا بی روح و بی عاطفه نیستیم.

سرگرم شدن با افکار و نظرات قوانین ریاضی، به طور عمومی ناراحت و نگران کننده است. هیچ کس نمی‌خواهد همانند یك آدم واره احساس کند. آیا ما این اندازه بی اهمیّت هستیم که حتی تفکرات ما به وسیلهٔ یك سری از فعالیّتهای فیزیکی در درون مغزمان بروز کنند؟ یك رابطهٔ عمیق عاطفی با خود و با آزادی وجود خواهد داشت[1].

۱ـ یك مباحثهٔ پر آشوب بر سر ارتباط میان فکر و مغز، امروز در عرصهٔ فلسفه جریان دارد. من قصد ندارم این نشریات را در حال حاضر و در این مبحث معرفی کنم و تنها بنا را بر این می‌گذارم که فیزیك یك تفسیر جامع و کاملی از پدیده‌های فیزیکی را در خود نهفته دارد که تقریباً همگی راستکویی خود را به اثبات رسانده‌اند.

این همیشه به صورت یك مشكل نبوده است. عقاید باستانی در مورد كیهان شناسی، یك سری ایده‌هایی را به طور محتاطانه پی ریزی كرده و بر دوش كشیده است كه شامل موضوعات و مباحثی از لاك پشتها تا گاوها و خیلی از دخالتهای سحرآمیز می‌باشد.

آنها شامل عناصر روحی و عرفانی بودند كه در كیهان شناسی نوین معمولاً به صورت «استثنا» درآمده‌اند. این اعتقاد از میان رفت، بدون این كه بگوید انسانها در مركز و كانون همه چیز [همهٔ دنیا] قرار دارند و جهان حقیقتاً در حال دورزدن در پیرامون ماست.

بینش فیزیكی كه با متفكرانی در نخستین دوران باستانی «آریستارخوس»[1] آغاز گردید و بعدها در دورهٔ بازنگری اولیّه به وسیلهٔ كوپرنیك احیا شد، خورشید را در مركز حركت كیهانی قرار دارد و انسان را به یك متحرك فضایی در یك مدار نامشخص سپرد. این تضاد با اصل روحی و روانی «انسان مركزی»[2] باستان به پیگرد گالیله از سوی واتیكان منجر گردید. امّا منطق محكم فیزیك ریاضی به تدریج خرافات و تعصب باستانی را در هم پیچید و شكست داد: قوانین كپلر در مورد حركت سیارات و سپس قوانین نیوتون در مورد فیزیك یك الگوی ریاضی دقیق را بنیان‌گذاری كرد. به عنوان نمونه علّت و چگونگی رویداد حوادث در دنیای فیزیكی. داروین،نگرش علمی را از طریق فراهم آوردن یك توضیح گویا و عقلانی در بارهٔ تاریخ طبیعی، بسط داد. امروزه می‌دانیم كه مبدأ و سرچشمهٔ گونه‌ها هیچ گونه دخالت آسمانی و خدایی را طلب نمی‌كند. همان گونه كه مبدأ عناصر یا ساختار كیهانی هستند. ما آن قدر با تقسیم بندی روانی و فیزیكی عناصر در كیهان شناسی امروزیمان احساس آرامش می‌كنیم كه بنیان گذاران واتیكان، كارگاهها و آزمایشگاههای تحقیقاتی در زمینهٔ كیهان شناسی را بهبود بخشیده‌اند و حتی از نظریهٔ تكامل تدریجی داروین نیز جانبداری كرده‌اند.

شگفتا كه با وجود این، كیهان شناسی فیزیكی نوین، توانست یك راه انحرافی را برای بازگردانیدن انسان **به وضعیت مركزی در كیهان پیشنهاد كند. كیهان شناسی احتمال شگفت‌انگیز** بسیاری از دنیاهای مشابه یكدیگر را با قوانین فیزیكی خاص خودشان **تأیید** و تصدیق می‌كند. این احتمال، فرض انسانی[3]، را به وجود آورده است. تمام گیتی به طور

1 - Aristarchus. 2 - Anthropocentric. 3 - Anthropic Hypothesis.

کامل برای ما بـه وجود نیامده است. ولی متشکل از چندین دنیای مختلـف متشابه است (که هر یك در جایی قرار دارند). ما نمی‌توانیم در هیچ یك از آنها مگر تنها یکی زندگی کنیم که از این‌رو مطابق با خواستها و نیازهایمان به نظـر می‌رسد. این یقیناً ما را در یك موقعیّت ممتاز و حائز اهمیت قرار مـی‌دهد که مرتبط با دنیای ویـژهٔ خود ماست: شرایط و نیازهـای ما قوانین فیزیکی را برای سراسر جهان انتخاب کرده است. ایـن نظر نمی‌تواند به راحتی رد شود. چرا که دنیاهای مشابه دیگر نمی‌توانند مشاهده شوند. حتی به صورت چهرهٔ ابتداییشان.

شاید یك نفر این گونه استدلال کند که نیازهای ما و شرایط ما، برای خودمان برگزیده شده‌اند که یـك سیارهٔ زیبا و راحت که حاصـل وسعت فضاست، برای زیستن وی مـی‌باشد. ولی البته این تمام ماجرا نیست. ما رشد کرده‌ایم تا به طور کامل مناسب و سازگار با وضعیت خود بـاشیم. بنابـراین طبیعـی است که خیلـی راحت به نظـر برسـد. به عبارت دیگـر، ما در شرایطی به سر می‌بـریم که در کیهان خیلی عجیب و غیر واقعی می‌نمایـد و این نمی‌تواند یك تصادف تلقی شود. زندگی نمی‌توانست در یـك محیط خشن شیمیایی واقع در میان ستارگان جریان داشته باشد. این مطلب یك محیط پویا و خلاّق را می‌طلبد.

نهایت تفسیر فرضیهٔ انسانی این است که این جهان (جهان قابل مشاهده‌ای که ما در آن زندگـی می‌کنیم)، تنهـا جهان ممکن مـی‌باشد. ویـژگیهای ایـن دنیا به طـور کامل بـه وسیلهٔ ضرورتهای ریاضی آشکار می‌شوند. حالتی که عقیدهٔ نیوتون را وادار به محدود بودن می‌کند. این دیدگـاه به واسطهٔ وجود ریـاضیاتی محکم و غیر قـابل انکار به آن چیـزی که امکان دارد، محدود می‌گردد. قوانین فیزیك شامل تقارنهای کاملی هستند که همیشه و در همه جا به طور مطلق صحیحند. حتی در جایی که هیچ گونه تـأثیری بر روی هستی ما ندارند. به عنوان مثال می‌توانیم میزان انتقال انرژی را از اتمهای بسیار دور دسـت با یك دقت بالا اندازه‌گیری کنیم (بـا استفاده از اطـلاعاتی شبیـه به اطلاعـات موجـود در شکل ۲۴) و آنهـا دقیقاً مثـل اتمهای موجود در خانه هستند. احتمالها، به ظاهر تـوسط قوانین بسیار دقیق محدود شده‌اند. پرسش این است که آیا آنها آن قدر محدودند که با وجود قوانین فیزیکی تنها یك احتمال وجود دارد.

به این نکته توجه داشته باشید که حتی اگـر دنیای ما منحصر به فرد باشد، تفسیر پیشین ما در مورد محاسبهٔ بیکـرانها نشان می دهد که ما «از پیش مقـدّر شده» نیستیم. حتی در بیشتر

موارد، فقط ویژگیهای آماری جهان و قوانین فیزیکی آن از پیش تعیین شده‌اند نه رویدادهایی که در نتیجهٔ اطلاعات ریزساختاری به شکل ستارگان، DNA، نورونها و غیره به وقوع پیوسته‌اند.

با شناخت از داخل قوانین دقیق و سخت، هنوز جای زیادی برای دنیاهایی با قوانین گوناگون وجود دارد. چرا که در آن جا متغیرهای دلخواه کوك شدنی مربوط به الگویی شاخص از فیزیك وجود دارند. به عنوان مثال تا آن جا که ما می‌دانیم بدون تغییر در هیچ قانونی و در حالی که ـ بسیاری از فیزیك هسته‌ای و شیمی ـ تغییر می‌کنند، جرم بسیاری از ذرات می‌تواند با هم فرق داشته باشد. یك ثابت کیهان شناسی ناچیز، بدون هر گونه تغییر بر **روی چیزهایی که ما به آنها می** اندیشیم، **تغییری** به وجود نمی‌آورد **مگر یك سری تغییرات اندك** بر **روی نحوهٔ انبساط کیهان**. ولی **سرانجام این متغیرها نیز در متن ریاضیات محض** توضیح داده می‌شوند: یك «نظریهٔ همه کاره» همانند آبَر ریسمانهای[1] **فوق** متقارن. این کمترین امید برای کسانی است که بر روی این نظریه‌ها کار می‌کنند. آنها انتظار دارند که جرم ذرات بیشتر از مقدار تنظیم شدهٔ η یا $\sqrt{۲}$ نباشد و ثابت کیهان شناسی واقعاً و به دلایلی که فعلاً از اثبات و بیان آن عاجزیم صفر مطلق باشد. اگر این برنامهٔ وحدت و یکسان سازی جاه طلبانه به موفقیت برسد، پس باید خودمان را با این واقعیّت که جهان برای مرتفع کردن نیازهای ما به وجود آمده آشتی دهیم و بپذیریم که ما صرفاً برای دوست داشتن آن به وجود آمده‌ایم. به این دلیل که ما در نتیجهٔ یك سری تحولات و فرآیندها به این مکان آمده‌ایم. ما در سازگاری با وضع کنونی با تجربه‌ای معادل سه بیلیون سال، حرفه‌ای هستیم.

در این جا یك وضعیت میانی هم وجود دارد: ممکن است که قوانین صرفاً به صورت کامل و با استفاده از تقارن ریاضی تشریح گردند و مشخص شوند و هنوز به برخی از دگرگونیها در محدوده‌ای از امکانات گوناگون جهان، اجازهٔ حضور می‌دهد. که این امر با توجه به ارزش ارقام کوچك و تصادفی انتخاب شدهٔ مرتبط با متغیرهای عامل شکست تقارن، صورت می‌گیرد. واقعیتی که حل نشدن همین جریانات را بیان می‌دارد، به این معنی

1 - Superstrings.

که ما باید در مورد کمك خواستن از مشاجراتی که بر پایهٔ «زیبایی» یا «فطرت» استوار هستند، محتاطانـه عمل کنیم. در این کـه چگونه طبیعت بـرای جلب توجه مـا به این جا چیـزهایی را انجام می‌دهد، یك چشم انداز فوق العاده محدود در دست داریم.

در هریك از این «فـراکیهان شناسی»[1]ها این تصـادفی نیست‌که ما در یـك فضا و زمان واقع در میـان یك تقـارن بی حـاصل و بیهـوده‌ای پدیدار شـده‌ایم کـه متعلق بـه بزرگتـرین و نخستین جهـان است. [یا بـه عبارت دیگر بـه دنیای ریز حسـاس و آشفته تعلق دارد]. مـا هم اکنون در جایـی به سر می‌بریم کـه بزرگترین فرصتهـا و عرصه‌های شیمیایی و فیـزیکی برای هوش و اطـلاعات وجود دارنـد. این نه تصـادف است و نه قـانون بنیادیـن ما در کل عـرصهٔ گیتی، فقط نشانه‌ای از این است که ما چه هستیم و چگـونه به وسیلهٔ به هم پیوستن فرصتها به این جـا رسیده‌ایم. جای شگفتـی نیست که مـا در یك مکان سـازگار و همخو با خـودمان در جهان ساکن شده‌ایم. حتی اگر این مکان در یك جای فوق العاده دوردست در یك مدت زمان بسیار کم پدیدار گردد.

بدون این که به این موضوع توجه کنیم کـه آیا ما برای ترتیب یکنواخت اجسام اهمیت قائل هستیم، ترجیح می‌دهیم که برای پیشرفت استعداد و قوهٔ اطلاعات در آینده بسیار اهمیت قائل باشیم. ما در منطقهٔ بومی خود در فضا، پیشتاز فعالیّت هوشی و اطلاعاتی هستیم و شاید این منطقه آن قدر توسعه و امتداد یابـد که قادر به مشاهدهٔ آن شویم[2]. مهمترین نکته در بارهٔ ما این است که وجود داریم: حواس و ادراکها و فن آوریهای ما، فرهنگ و جامعهٔ ما، هنر و علم ما. از هم اکنون تا یك بیلیون سال دیگر، اگر هـرگونه میراث فرهنگی در دست داشته باشیم، آنها قطعاً انسانهای زیستـی نیستند و اصلاً شاید بر روی زمین زندگی نخـواهند کرد. ولی آنها از خود مـا چیزهـایی را از محیط پیـرامون خودشـان و ما خـواهند آموخـت و آنها بـرخی از نسخه‌های داستانی در این کتاب را بازگو خواهند کرد.

---

1 - Meta-Cosmologies.

۲ ـ ما نمی‌دانیم که فاصلهٔ مان تا نزدیکترین تمدن فرازمینی چقدر است. ممکن است این تمدن در کهکشان خودمان باشد و یا در فاصله‌ای غیر قابل مشاهده قرار گرفته باشد.

پیشنهادهایی برای آینده

مطالعه و بررسی

اکتشافات و بینشهای دست‌یافته در این کتاب، حاصل کار چندهزار فیزیکدان، مهندس و ستاره‌شناس است. من با ذکر نام و از طریق دوری جستن از روایتهای تکراری منحرف‌کننده در مورد تاریخ پیشرفت علم کیهان‌شناسی، گوشه‌ای از آن دستاوردها را متذکر شده‌ام. این آغاز متعادل آن چنان میدان دید وسیعی دارد که هرگونه توقف در روند تحقیقاتی قابل استفاده را کنار می‌گذارد.

در عوض، من خوانندهٔ علاقه‌مند را به بسیاری از کتابهای سطح بالا در زمینهٔ اخترفیزیک و کیهان شناسی ارجاع می‌دهم که به معلومات تاریخی آنان می‌افزاید و برای آنها راهکارهایی به سوی متون فنی و صنعتی فراهم می‌آورد.

نخستین پیشرفتها به وسیلهٔ این اشخاص توضیح داده شدند: آرتور ادینگتون[1]، «انبساط جهان»، از دانشگاه کمبریج (۱۹۳۳)، جرج گاموف[2]، «پیدایش جهان» از وایکینگ (۱۹۵۲)، هرمان بوندی[3]، «کیهان شناسی» از دانشگاه کمبریج (۱۹۶۰) و کتاب «سه دقیقهٔ نخست» که کتابی از استیون واینبرگ[4] است، یك کتاب ابتدایی و نوشتهٔ سال ۱۹۷۷. این کتاب حاوی یك توضیح کلاسیك از فیزیك ریزساختار دنیای اولیه و در غالب دیدگاه نوینی می باشد. «تاریخ کوتاه جهان»، عنوان کتابی است از ژوزف سیلك[5] در سال ۱۹۹۴. کتاب

---

1 - Arthur Eddington.
2 - George Gamow.
3 - Hermann Bondi.
4 - Steven Weinberg.
5 - Joseph Silk.

مذکور، جامعتر و جدیدتر است و مطابق تاریخ روز می‌باشد. همچنین چندین اثر جدید و روایتهای معتبر در مورد بخشهای گوناگون تحقیقات کیهان شناسی در دست است. به عنوان مثال، «سفر به پیدایش جذابیّت» نوشتهٔ آلن رسلر[1]، «چین و چروك در زمان» از جرج اسموت[2] و کی‌دیویدسون[3] در سال ۱۹۹۳، «انبساط جهان» از آلن گوت[4] در سال ۱۹۹۷ و «نخستین نور» کاری از جان ماتر[5] و جان بوسلوگ[6] در سال ۱۹۹۷ که یك کتاب پایه و ابتدایی به حساب می‌آید.

«خلاصه‌ای از تاریخچهٔ زمان» از استیون‌هاوکینگ در سال ۱۹۸۸، که درمورد طبیعت زمان و مرزهای آن در سیاهچاله‌ها و کیهان‌شناسی بحث‌می‌کند و «فکر تازهٔ امپراتور» نوشتهٔ راجر پن روز[7] در سال ۱۹۹۱، شرح بلند و بالایی از مکانیك کوانتوم را در بر دارد. کتاب میشل بگلمن[8] و مارتین ریس یعنی «سیاهچاله‌های موجود در جهان و، کشش مهلك گرانشی» در سال ۱۹۹۶، اثرهای اختر فیزیکی سیاهچاله‌ها را در اختروشها و هر جای دیگری توضیح می‌دهد، «سیاهچاله‌ها و انحناهای زمان» اثر کیپ تورن[9] در سال ۱۹۹۴، توضیحات رویدادهای مربوط به امواج گرانشی و زمانی را که با استفاده از اشکال بیگانه ماده به آسانی در حال سپری شدن است توضیح می‌دهد. لی اسمولین[10] در کتاب «زندگی کیهان» از دانشگاه اکسفورد در سال ۱۹۹۷، یك الگو ویژهٔ محرك بر پایهٔ پیکرهٔ گیتی را که از سیاهچاله‌ها ایجاد گردیده است معرفی نموده است. یك ترکیب با شکوه و نوین از آن سوی خود ما، به وسیلهٔ مارتین ریس در کتاب «پیش از آغاز» در سال ۱۹۹۷ معرفی گردیده است.

برای کسانی که می‌خواهند تصاویر بیشتر (یا تصاویر رنگی) مربوط به کیهان را مشاهده کنند، یك شروع خوب و بجا برای تجسمهای فضایی، مؤسّسهٔ علمی تلسکوپ فضایی است:

نقشه‌های‌مربوط‌به‌پرتو زمینه‌ای‌آسمان‌نیز از http: //www. stsci. edu/top. html.

1 - Alan Dressler. 2 - George Smoot. 3 - Keay Davidson.
4 - Alan Goth. 5 - John Mather. 6 - John Boslough.
7 - Roger Penrose. 8 - Mitchell Begelman. 9 - Kip Thorne.
10 - Lee Smolin.

میان http: // www. gsfc. nasa. gov/astro/cobe/cobe home. html. یافته می‌شود. تصاویر و فیلمهای دنیای شبیه سازی شده نیز از طریق فروشگاه N-body پست‌می‌شوند: http: // www - hpce. astro. Washington. edu/. و امّا برای کسانی که می‌خواهند عمیق‌تر بیاموزند. (البته با اشراف و ارجاع بیشتر بر فیزیك و ریاضی) گام بعدی تهیهٔ «ستاره‌شناسی ۱۰۱، دانشجوی سال اول دانشکده» یا مطالعهٔ یکی‌از چندین متن طراحی شده برای همین منظور می باشد. برای نمونه، «ستاره شناسی، سیری در کیهان» نوشتهٔ هارتمن و ایمپی[1] در ۱۹۹۴ یا کتاب «کشف کیهان» که یك منبع دانشگاهی و محصول سال ۱۹۹۶ آر ـ سی ـ بلس[2] می‌باشد، از جملهٔ این کتابها هستند.

امیدبخش ترین متن در مورد فیزیك کلاسیك، سخنرانی فانیمن[3] در مورد فیزیك به سال ۱۹۸۹ است. اگر چه این متغیرها به خاطر روحیه و عمق سازش ناپذیریشان، گه گاه مورد انتقاد قرار می‌گیرند، این نسبت دادنها، آنها را به برترین چیز برای کسانی تبدیل می‌کند که بدون توجه به سن، از طریق فیزیك تحریك شده و به هیجان آمده‌اند. نویسندهٔ دیگر، «فرانك شو[4]» است. «جهان فیزیکی: آشنایی با ستاره شناسی» که یك کتاب دانشگاهی سال ۱۹۸۲ است و توضیحات فیزیکی مهمی را در زمینهٔ کشفیات در اختر فیزیك ارائه می‌دهد که شامل علم کیهان شناسی می باشد.

برای پیگیری این موضوع در سطوح بالاتر، متون کلاسیك کیهان شناسی عصر بازنگری هنوز هم خیلی قابل مطالعه‌اند: «کیهان شناسی نوین» از دانشگاه کمبریج در سال ۱۹۷۲ نوشتهٔ دنیس سیاما[5]، سخنان پ. ج. ای. پیبل[6] در زمینهٔ کیهان شناسی فیزیکی از دانشگاه پرینستون در سال ۱۹۷۲، دومین حجم تك فلزی زلدویچ[7] و نوویکوف موسوم به «اختر فیزیك نسبیتی» از دانشگاه شیکاگو به سال ۱۹۸۳ و همچنین کتاب «گرانش و کیهان شناسی» از استیون واینبرگ در سال ۱۹۷۲ و چاپ انتشارات ویلی. متون پیشرفته جدید بیشتر در این زمینه، موقعیت مهمی را در تعیین تکلیف متون علمی در دست دارند. به عنوان

1 - Hartmann & Impey. 2 - R. C. Bless. 3 - Feynman.
4 - Frank Shu. 5 - Dennis Sciama. 6 - P. J. E. Peeble.
7 - Zeldovich.

مثال «دنیای اولیّه» نوشتهٔ کولب[1] و ترنر[2] در سال ۱۹۹۰ و «سرچشمه‌های کیهان شناسی فیزیکی» اثر پیبل از دانشگاه پرینستون در سال ۱۹۹۳. امکان دارد که در «نخستین سرچشمه‌های کیهان شناسی» اثر اریك لیندر[3] که در سال ۱۹۹۷ از سوی انتشارات وسلی به چاپ رسیده نیز وابستگان و قیود دیگری یافته‌شوند. «مبانی کیهان‌شناسی‌نوین» اثر ه اولی[4] و هولکوم[5] در سال ۱۹۹۸. اکسفورد، «کیهان‌شناسی، مبدأ و گسترش ساختار کیهانی» اثر کولز و لوچین[6]، محصول ۱۹۹۵ انتشارات ویلی و «سرچشمه‌های کیهان شناسی و گرانش» از مایکل بری[7]، دانشگاه کمبریج در سال ۱۹۷۶.

پژوهشهای اساسی که در زمینهٔ کیهان شناسی صورت پذیرفته‌اند، بر خلاف کتابها، در سخنرانیها و مقالات گزارش شده‌اند. شاید در برخی از متون راهنما، بتوان نشانی این تحقیقات را یافت. به عنوان نمونه، در مجلهٔ مرور سالیانهٔ ستاره شناسی و اختر فیزیك، و «خلاصه‌ای از ذرات فیزیك» که به وسیلهٔ گزارشهای فیزیکی منتشر گردیده‌اند و همچنین «نقدهای فیزیك نوین» و گاه گاه در نشریات «طبیعت» و «علم». یك اطلاع رسانی پایه‌ای در زمینهٔ اختر فیزیك حرفه‌ای توسط ناسا معرفی گردیده است: http://ads www. harvard. edu و یك اطلاع رسانی آسانتر و در دسترستر (شامل گزارشهای آماده و پر خط) توسط گروه اطلاعاتی نمایش داده شده است. pdg. ldl. gov چنانچه قصد دارید در مورد نتایج تحقیقات اخیر و نویسندگان آنان بدون کمك دیگران، چیزی بیاموزید، سعی کنید به آرشیو الکترومغناطیسی http: //xxx. lanl. gor دسترسی پیدا کنید. [ولی به خاطر داشته باشید که: «به هر آنچه که می‌خوانید اعتماد نکنید.

O

O

o

و بدین ترتیب فضا و زمان خلق شدند.

---

1 - Kolb. 2 - Turner. 3 - Eric Linder.

4 - Hawley. 5 - Holcomb. 6 - Lucchin.

7 - Michael Berry.

تصاویر و منابع هر یک:

جلد: بایگانی تلسکوپ فضایی هابل

شکل ۸: ماهنامهٔ اختر فیزیك (پ. گارناویچ)

شکل ۱۰: طبیعت (م. بولت و س. هوگان)

شکل ۱۲: کاوشگر زمینه‌ای کیهانی / تیم DMR (جی اسموت، سی. بنت)

شکل ۱۴: کاوشگر زمینه‌ای کیهانی / تیم FIRAS (جی. مَتِر، دی. فیکس)

شکل ۱۷: بایگانی تلسکوپ فضایی هابل (وی. کوچ. آر. اِلیس)

شکل ۱۸: برآورد سرخ گرایی لاس کامپاناس (اس. شکتمن)

شکل ۲۰: ماهنامهٔ اختر فیزیکی (ن. کاتس)

شکل ۲۱: بایگانی تلسکوپ فضایی هابل (جی. هستر، پی. اسکوون)

شکل ۲۲: بایگانی تلسکوپ فضایی هابل (جی. تراگر)

شکل ۲۳: بایگانی تلسکوپ فضایی هابل (آر. ویلیامز)

شکل ۲۴: ماهنامهٔ ستاره شناسی (آ. سونگیلا، اِل. کووی)

«انفجار بزرگ» ـ کاری است از انتشارات کوپرنیک آمریکا در سال ۱۹۹۸ ـ و نظری عمیق و جدید به چگونگی آغاز، سیر انبساطی و آیندهٔ جهان که بی‌شک بسیاری از نکات مبهم را از بین خواهد برد.

کریگ هوگان ـ دارندهٔ درجهٔ پروفسوری و کرسی استادی در بخش اخترشناسی دانشگاه واشنگتن ـ در این کتاب هر چه بیشتر تلاش کرده تا بدون رد کردن سایر نظریه‌ها و فرضیات موجود در زمینهٔ شکل‌گیری جهان، راه را بر شناخت عمیقتر این موضوع هموار کند. و البته در این‌مورد خواننده را به معلومات قبلی نیز ارجاع داده و در عین حال مطالب را به گونه‌ای بیان نموده که از شکل تخصصی خود خارج گردد و برای بیشتر خوانندگان قابل درک و فهم باشد.

Graig J. Hogan

THE LITTLE BOOK OF THE BIG BANG

Translated by
Ali Faal Parsa

ISBN 964-02-0655-5

۱۱۰۰۰ ریال