فصل دوم

ایده‌ها و مدل‌های کیهان‌شناسی

۱ـ۲ مقدمه

کیهان‌شناسی شاخه‌ای از علم ستاره‌شناسی است که به مطالعهٔ آغاز ساختار کلی و تکاملی جهان می پردازد. ستاره‌شناسان، با استفاده از علم ریاضی، الگوهایی فرضی از جهان ساخته‌اند و مشخصات این الگوها را با جهان شناخته‌شده مقایسه می کنند. کیهان‌شناسی گذشته، حال، و آیندهٔ کائنات را بررسی می کند. هدف کیهان‌شناسی آن است که همهٔ پدیده‌های فیزیکی شناخته‌شده را در یک چهارچوب سازگار جای دهد. این هدف بلندپروازانه است و هنوز هم شکاف‌های چشمگیری در دانش ما باقی است. با این حال، پیشرفت به اندازه‌ای سریع بوده است که خیلی از کیهان‌شناسان آن را نوعی «عصر طلایی» می‌پندارند (کولس، ۱۳۹۱).

۲ـ۲ نظریهٔ انفجار بزرگ[1]

بنابر این نظریه، روزگاری آتش گویی وسیع از گازهای بی‌نهایت سوزان و چگال که بیشتر متشکل از هیدروژن با اندکی هلیوم بود، وجود داشته است. در حدود ۱۰ تا ۱۵ میلیارد سال پیش این گوی آتشین منفجر شد (انفجار بزرگ) و انبساط آن هنوز ادامه دارد. با گذشت زمان، «تراکم ماده» در بسیاری از نقاط این تودهٔ منبسط‌شوندهٔ گاز پدید آمد. این توده‌های متراکم با جذب ماده از محیط اطراف رشد کردند و به

1. Big Bang

این ترتیب جهان به توده‌های عظیمی از گاز، که هریک می‌رفت تا کهکشانی شود، تقسیم شد (Abell, 1987).

توضیحی که این نظریه برای پیدایش توده‌های نامتجانس ارائه کرد این بود که نیروی جاذبه امواج ضعیف و کوچک در ماده‌ای ایجاد می‌کرد که همراه انرژی اولیه به همه جای عالم پراکنده می‌شد. این امواج ضعیف به‌تدریج قسمت‌هایی از مادهٔ اولیه را به سمت قسمت‌های دیگر راند و به این ترتیب، میدان‌های عظیمی از پلاسما یا ماده در دمای بسیار بالا به وجود آمد. این میدان‌ها یا حوزه‌های پلاسما اندک اندک سرد شدند و گازهای کیهانی را به وجود آوردند که از دل آن‌ها نخستین کهکشان‌ها بعد از منظومه‌ها، ستارگان، و سیارات پدیدار شدند (گریبین، ۱۳۶۶).

نظریهٔ انفجار بزرگ عمدتاً مرهون دو کشف بزرگ فیزیک قرن بیستم است: نسبیت عام و تئوری کوانتا. پژوهندگانی همچون جایانت نارلیکا[1] در هند، جیم هارتل[2] در کالیفرنیا، و بسیاری از کارشناسان روسیه نقش عمده‌ای در این امر داشته‌اند، اما کسی که نامش عمیقاً به این کشف پیوسته است، استیون هاوکینگ از دانشگاه کمبریج انگلیس است (شکل ۱ـ۲).

شکل ۱ـ۲ استیون هاوکینگ

1. Narlica
2. Hartel

طی بیست سال کارهای هاوکینگ متمرکز بر مطالعهٔ معمایی بود که برای مادهٔ در حال تکینگی[1] (نقطه‌ای از چگالی بی‌نهایت که بر طبق نظریهٔ نسبیت عام، در کانون سیاه‌چاله یا در نقطهٔ ابتدایی عالم وجود داشته است) رخ می‌دهد (گریبین، ۱۳۶۶).

درواقع عالم را می‌توان به کمک همان معادلاتی تبیین کرد که یک سیاه‌چاله را توصیف می‌کنند. سیاه‌چاله منطقه‌ای است در فضا که در آن ماده بی‌نهایت غلیظ و یک نیروی جاذبهٔ بسیار قوی بر آن حاکم است که نمی‌گذارد حتی نور از سطح آن دور شود. اشیاء خارجی ممکن است در سیاه‌چاله فرو بروند، اما هیچ چیز از آنچه در آن است از بیرون به طور مستقیم دیده نمی‌شود. سیاه‌چاله زمانی تشکیل می‌شود که ستارهٔ بزرگ‌تر از خورشید، با نزدیک شدن به پایان زندگی، در خود نابود می‌شود. معادلات نسبیت عام نشان می‌دهد که هر ستاره که درون یک سیاه‌چاله فرو می‌ریزد باید چندان غلظت یابد که به حالت نهایی تکینگی برسد. به همین دلیل، هاوکینگ اظهار می‌دارد که تولد عالم هم از طریق یک تکینگی صورت گرفته است.

می‌دانیم که عالم در حال گسترش است، زیرا کهکشان‌های دور با سرعت‌های فزاینده، متناسب با فاصله‌ای که از ما دارند، از زمین دور می‌شوند. این کشف، که در سال‌های ۱۹۲۰ صورت گرفت، یکی از مبانی تصور «جهش بزرگ» است که بر اساس آن عالم در یک حالت بی‌نهایت غلیظ و بی‌نهایت داغ وجود داشته و در حدود ۱۵ میلیارد سال پیش منبسط شده است. اگر تحقق این پدیده را معکوس بنگریم، هر اندازه که در زمان به عقب می‌رویم به همان نسبت باید کهکشان‌ها به یکدیگر نزدیک‌تر بوده باشند.

هر اندازه بیشتر دور برویم، همهٔ ستارگان و کهکشان‌ها را در یک‌جا به صورت یک تودهٔ بسیار داغ خواهیم یافت، اما هیچکس به طور جدی تصور نمی‌کرد که این حرکت به قهقرا بتواند به فرضیهٔ یک تکینگی اصیل بینجامد. و این کاری بود که هاوکینگ انجام داد. او با معکوس کردن مفهوم زمان معادلاتی که ثابت می‌کرد که

1. Singularity

ستارگان از هم فرو می‌پاشند تا تکینگی‌ها را تشکیل دهند، به معادلاتی دست یافت که ثابت می‌کنند نقطهٔ آغاز عالمِ در حال گسترش لزوماً یک تکینگی بوده است.

۳ـ۲ نظریهٔ جهان نوسان کننده

طبق این نظریه، حرکت انبساطی عالم، که با انفجار بزرگ آغاز شد تا نقطه‌ای که نیروی جاذبهٔ میان اجرام موجود در عالم بر نیروی گریز از مرکز غلبه می‌کند و دوباره آن‌ها را به سمت یکدیگر می‌راند، ادامه پیدا می‌کند و به این ترتیب، اجزاء عالم سیر انقباضی خود را آغاز می‌کنند. این سیر انقباضی، که تا حدود ۲۰ میلیارد سال طول خواهد کشید، در نهایت به برخورد همهٔ این اجرام و یک مه‌بانگ یا انفجار بزرگ دیگر منجر می‌شود (دگانی، ۱۳۶۳).

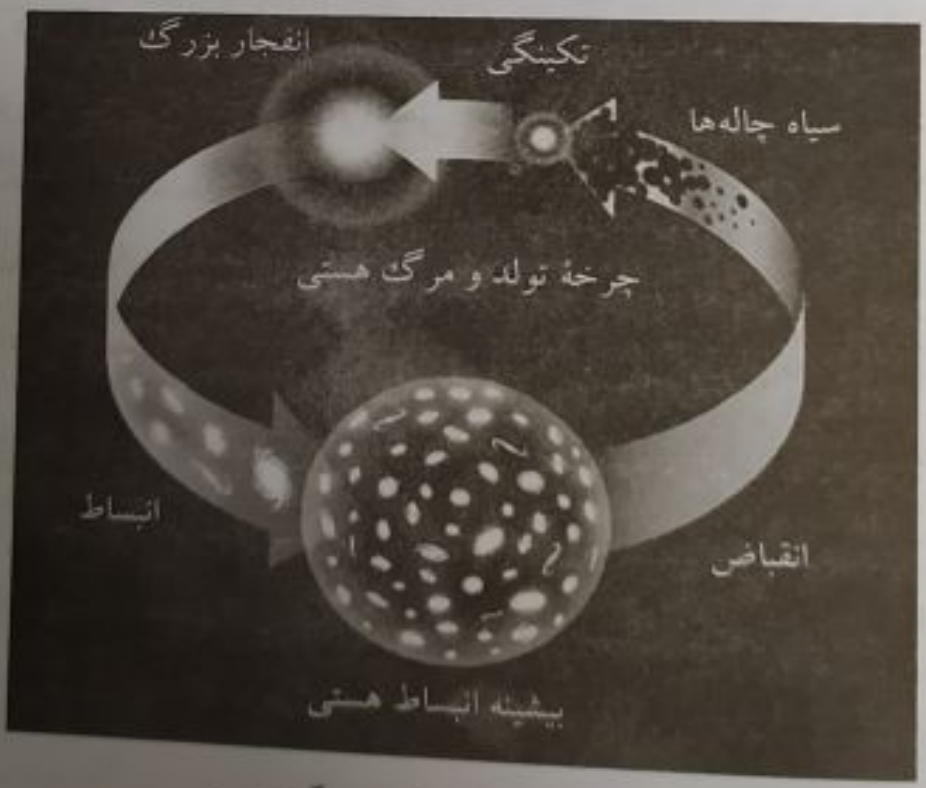
نظریهٔ جهان نوسان‌کننده را می‌توان به عبارتی «تولد و مرگ ققنوس‌وار جهان» تعبیر نمود. در افسانه‌ها، اسطوره‌ها، و ادبیات عرفانی جهان از وجود پرنده‌ای اسرارآمیز به نام «ققنوس» خبر داده شده است که سرنوشت شگفت‌انگیزی دارد. این پرنده، در انتهای عمر، خودش را به آتش می‌کشد و می‌سوزاند، اما دقیقاً در واپسین لحظه و از درون آخرین شعله‌های آتش ناگهان ققنوس دیگری متولد می‌شود. حکایت عجیبی است، اما از آن عجیب‌تر اینکه ممکن است کل جهان هم دقیقاً چنین حکایتی داشته باشد.

آبهای آشتکار[۱] فیزیک‌دانی است که به تازگی به این حکایت شگفت‌انگیز پی برده است. او لحظه‌ای که به این کشف عجیب دست یافت را به خوبی به یاد دارد. در آن زمان او مشغول تماشای نتایج یک شبیه‌سازی رایانه‌ای از تحولات جهان بر روی صفحهٔ نمایش ابررایانهٔ خود بود. این شبیه‌سازی، وضعیت جهان را به طور لحظه به لحظه از زمان مه‌بانگ تا زمان کنونی نشان می‌داد. هنگامی که آشتکار به کمک این شبیه‌سازی در زمان به عقب بازگشت تا شرایط جهان را در آستانهٔ مه‌بانگ مورد مطالعه قرار دهد، در ابتدا با نکتهٔ جدیدی مواجه نشد. با پیش‌رفتن به

۱. پروفسور آبهای آشتکار (abhay ashtekar) استاد فیزیک دانشگاه پنسیلوانیاست.

سوی مه‌بانگ، همان‌طور که انتظار می‌رفت، ابعاد جهان کوچک‌تر و کوچک‌تر و چگالی مادهٔ موجود در آن نیز بیشتر و بیشتر می‌شد، اما در همین لحظه بود که او با واقعه‌ای غیرمنتظره روبه‌رو شد؛ چرا که شبیه‌سازی نشان می‌داد به جای آنکه انقباض و فروپاشی جهان تا رسیدن به یک نقطهٔ تکینگی و نهایتاً محو شدن کامل جهان هم‌چنان ادامه یابد، این انقباض در آخرین لحظه ناگهان معکوس شده و با یک جهش کیهانی، جهانی دیگر از درون آن متولد شده و شروع به انبساط می‌کند.

چنانچه مدل کیهان‌شناسی کوانتومی حلقوی صحیح باشد، باید گفت که جهان ما از دل جهان دیگری، که پیش از جهان ما وجود داشته است، پدید آمده است. این جهان پیشین که به نوبهٔ خود از درون جهان ماقبل آن پدید آمده بود، در ابتدا، در حال انبساط بوده است، اما، در نهایت، به واسطهٔ گرانش خود از انبساط باز ایستاده و شروع به انقباض کرده است. با این انقباض، حجم جهان مزبور کوچک‌تر و کوچک‌تر، و چگالی مادهٔ موجود در آن بیشتر و بیشتر شد تا سرانجام این چگالی به حد چگالی پلانک، یعنی $۵/۱\times۱۰^{۹۶}$ کیلوگرم بر متر مکعب، رسیده است. در همین هنگام بود که انقباض جهان مزبور ناگهان متوقف و معکوس شد و با یک جهش ناگهانی به بیرون، جهان ما از دل آن متولد شد و شروع به گسترش و انبساط کرد (شکل ۲ـ۲). از حدود



شکل ۲ـ۲ چرخهٔ تولد و مرگ هستی

سال ۲۰۰۳ میلادی فیزیک‌دانان روی این مدل کار می‌کنند؛ در صورت دست‌یافتن به نتایج مناسب، مدل انفجار بزرگ باید میدان را خالی کرده، جای خود را به مدل «جهش بزرگ[1]» بدهد (آنیل، ۱۳۸۷).

۴ـ۲ نظریهٔ حالت پایدار

تصویری که طرف‌داران این نظریه رسم می‌کنند به‌طور خلاصه این‌گونه مطرح می‌شود: الف) جهان آغاز و انجام ندارد و همیشه به همان شکل است و خواهد بود که اکنون به نظر می‌آید. ب) با دور شدن کهکشان‌ها از هم، کهکشان‌های جدیدی در فضاهای تهی به‌جا مانده تکوین می‌یابند. پ) گازها، غبار، و انرژی (مطابق با فرمول اینشتین) نوعی جرم‌اند که ستارگان در پیری دفع می‌کنند و مواد خامی هستند که ستارگان جدید از آن به وجود می‌آیند. قابل ذکر است که، با توجه به تحقیقات انجام‌شده، در حال حاضر نظریهٔ انفجار بزرگ پذیرش بیشتری دارد.

۵ـ۲ نظریهٔ جهان‌های موازی[2] از طریق ریسمان

نظریهٔ ریسمان را فیزیک‌دان ژاپنی ـ امریکایی، میچیو کاکو[3] (۲۰۰۴) مطرح کرد. این نظریه بیان می‌کند که بلوک‌های بنیادی همهٔ مواد مثل همهٔ نیروهای بنیادی مانند گرانش بر روی یک سطح زیرکوانتمی هستند. این بلوک‌های بنیادی شبیه به نوارهای لاستیکی یا ریسمان‌های کوچکی هستند که کوارک‌ها را می‌سازند که خود الکترون‌ها، اتم‌ها، سلول‌ها و غیره را درست می‌کنند. درواقع، نوع ماده به وسیلهٔ ریسمان‌ها ایجاد می‌شود و چگونگی رفتارهای ماده به ارتعاش این ریسمان‌ها بستگی دارد. این روشی است که همهٔ جهان ما را تشکیل داده است. طبق نظریهٔ ریسمان، این ساختار ۱۱ بُعد دارد. نظریهٔ ریسمان، مانند نظریهٔ چندجهانی، وجود دنیاهای موازی را اثبات می‌کند. بر اساس این نظریه، جهانی که ما در آن هستیم

1. Big Bounce
2. Parallel Worlds
3. Michio Kaku

مانند حبابی است که در کنار جهان‌های موازی مشابه قرار دارد. برخلاف نظریهٔ چندجهانی، ریسمان فرض می‌کند که این جهان‌ها می‌توانند با هم در تماس باشند. میدان‌های گرانشی می‌توانند بینابین دنیاهای موازی جریان یابند. در اثر کنش متقابل این دنیاها یک مه‌بانگ، همانند آنچه جهان ما را پدید آورده، رخ می‌دهد. این ریسمان‌های زیراتمی اکنون قابل مشاهده نیستند؛ به همین دلیل عده‌ای، برخلاف نظر اکثر فیزیک‌دانان، آن را صحیح نمی‌دانند. بنابراین، آیا واقعاً دنیاهای موازی وجود دارند؟ از صحت نظریهٔ چندجهانی نمی‌توانیم به‌راستی مطمئن باشیم، چراکه آن را نمی‌توانیم مشاهده کنیم. ریسمان هم یک بار به طور ناموفقی آزموده شده است. اینشتین زنده نماند تا ببیند فیزیک‌دانان از تلاش‌هایش برای نظریهٔ همه چیز، چه برداشت‌هایی کرده‌اند. پس اگر وجود جهان‌های موازی صحیح باشد، اینشتین هنوز در یک دنیای موازی زنده است.

۶ـ۲ مدل‌های کیهان‌شناسی

کائنات شامل تمام چیزهای موجود در عالم است، چه دیدنی باشد چه نادیدنی، چه کشف‌شده باشد چه کشف‌نشده؛ لذا کلمهٔ عالم یا کیهان، که برای مشخص کردن کل فضا و تمام محتوای آن به کار می‌رود، عبارت از انبوههٔ کهکشان‌ها، مواد میان کهکشان‌ها، و نور است.

در مطالعات کیهان‌شناسی، فقط ریاضیات زبان مناسب برای بیان ماهیت بسیار بغرنج جهان است (پاول، ۱۳۷۷). ستاره‌شناسان با استفاده از علم ریاضی الگوهایی فرضی از جهان ساخته‌اند و مشخصات این الگوها را با جهان شناخته‌شده مقایسه می‌کنند. به همین دلیل، اکثر کیهان‌شناسان درواقع ریاضی‌دان یا ریاضی - فیزیک‌دانان برجسته‌ای هستند و بدیهی است که برخوردشان با مسئله کاملاً تئوریک است. آن‌ها تمام واقعیت‌های معلوم و جزئیات پدیده‌های شناخته‌شده را وارد مسئله نمی‌کنند، بلکه سعی دارند که با ساده‌سازی ویژگی‌های جهان، پارامترهایی به دست آورند تا به طور مناسب با ریاضیات بررسی شود. در همین رابطه تاکنون مدل‌های بسیار گوناگون کیهان‌شناختی عرضه شده‌اند که در تمام آن‌ها مسائل مربوط به

هندسهٔ کیهان، موضوع اصلی را دربرمی گیرد.

برخورد مدل‌های مختلف کیهان‌شناختی با مسئلهٔ هندسه، متفاوت است. در برخی از آن‌ها مسئله همچنان قابل بحث باقی مانده و رأی قاطع صادر نشده است. در موارد دیگر، مدل کیهان‌شناختی بر مبنای هندسهٔ مشخصی وضع می‌شود؛ با این شرط که اگر درستی مدل تأیید شود، هندسهٔ آن نیز درست است. در اینجا مدل‌هایی که بر مبنای قوانین نیوتنی، نظریهٔ نسبیت عام اینشتین، و دیگر قوانین طبیعت پی‌ریزی شده‌اند به طور اجمالی بررسی خواهد شد. اگرچه تاکنون هیچ‌یک از این مدل‌ها به عنوان کامل‌ترین مدل انتخاب نشده است، لیکن باید تأکید شود که هریک از مدل‌های کیهان‌شناختی پایه‌های بسیار استوار و پیچیدهٔ فیزیک ـ ریاضی دارند و توصیف کیفی و مختصر در این نوشتار نمی‌تواند تصور کاملی از ماهیت آن‌ها عرضه کند.

۱ـ۶ـ۲ مدل کیهان‌شناسی نیوتن

نیوتن[1] (۱۶۴۳ـ۱۷۲۷) با فرض اقلیدسی بودن هندسهٔ جهان (اقلیدس، ریاضی‌دان یونانی، حدود ۳۰۰ سال قبل از میلاد با استفاده از سه بعد طول، عرض، و ارتفاع فضا را تعریف کرد) می‌خواست نظریهٔ گرانش خود را در مورد کل جهان به‌کار گیرد، اما در این خصوص دچار اشتباهاتی شد. مهم‌ترین اشتباه او در حل مسئله این بود که امتداد فضای شامل مادّه، نامحدود تلقی می‌شد، زیرا در غیر این صورت، طبق قوانین گرانش، جهان بلافاصله به یک نقطهٔ مرکزی انقباض می‌یافت و نمی‌توانست حالت پایدار داشته باشد. از دیگر ایرادهای مدل نیوتنی این بود که جهان را ایستا بررسی می‌کرد و انبساط را در نظر نمی‌گرفت. البته در زمان نیوتن انبساط جهان ناشناخته بود.

۲ـ۶ـ۲ مدل کیهان‌شناسی اینشتین

نظریهٔ جاذبه، که نیوتن آن را مطرح کرد، خیلی زود و تقریباً بدون پرسش‌های جدی مورد پذیرش دانشمندان قرار گرفت. تا اینکه در اوایل قرن بیستم آلبرت اینشتین[2]

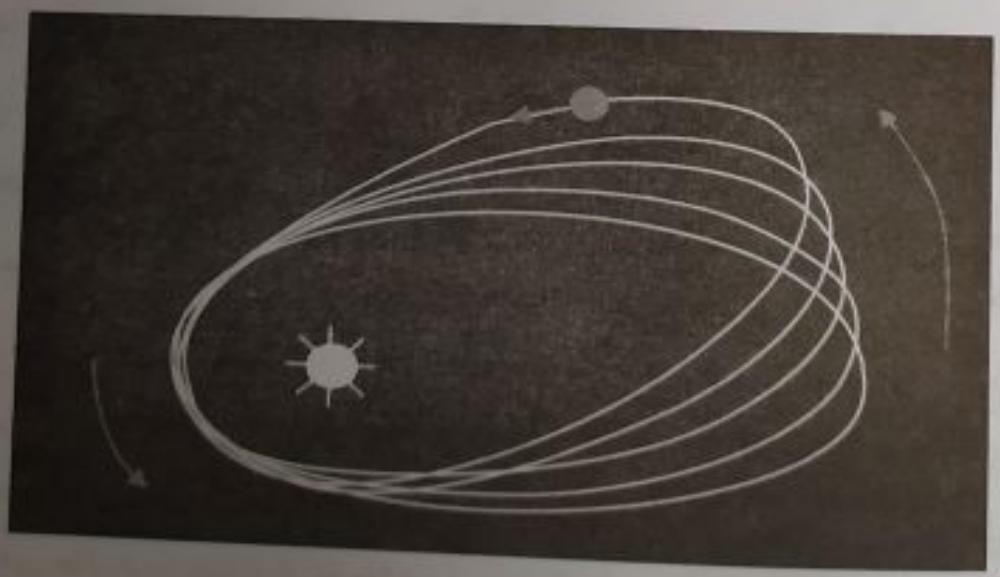
1. Sir Isaac Newton
2. Albert Einstein

(۱۸۷۹ـ۱۹۵۵) با طرح نظریهٔ نسبیت خاص در سال ۱۹۰۵ و نظریهٔ نسبیت عام در سال ۱۹۱۵ نه تنها قوانین فیزیک و جاذبهٔ عمومی نیوتن، بلکه پایه‌های فیزیک عصر خود را لرزاند.

نظریه نسبیت خاص و عام

اینشتین با نظریهٔ نسبیت خاص خود نشان داد که سه قانون فیزیک نیوتن فقط در شرایط خاصی، آن هم به صورت تقریبی، صحت دارند و هنگامی که سرعت اجسام زیاد شده، با سرعت نور مقایسه شوند به هیچ وجه نمی‌توان قوانین نیوتن را در مورد اجسام، حتی با تقریب بالا، به‌کار برد. همچنین نظریهٔ نسبیت عام او نشان داد که باز نظریهٔ نیوتن راجع به قانون جاذبهٔ عمومی دقیق نمی‌باشد و فرمول نیوتن در میدان‌های جاذبهٔ بسیار قوی جای بحث دارد.

مطالعهٔ حرکت عطارد به دور خورشید از دیرباز مورد علاقهٔ ستاره‌شناسان و فیزیک‌دانان بوده است. مشکل وقتی به وجود آمد که مشاهده شد صفحه‌ای که عطارد در آن به دور خورشید می‌چرخد، خود حرکت می‌کند. این حرکت در شکل ۳ـ۲ به وضوح نشان داده شده است. اندازه‌گیری‌ها نشان داد که این حرکت در هر ۱۰۰ سال معادل ۴۳ ثانیه (در اینجا منظور از ثانیه واحد اندازه‌گیری کمان معادل ۱/۳۶۰۰ درجه است) می‌باشد. با وجود آنکه این مقدار حرکت برای هر سال بسیار کم می‌باشد، اما قانون جاذبهٔ عمومی نیوتن از توجیه آن عاجز است.



شکل ۳ـ۲ جابه‌جایی صفحهٔ حرکت عطارد به دور خورشید

نیوتن معتقد بود که نور در یک مسیر مستقیم حرکت می‌کند، اما اینشتین نشان داد که اگر جسمی دارای یک میدان جاذبهٔ بزرگ باشد و نور از کنار آن عبور کند، دچار انحراف از مسیر مستقیم خود می‌شود.

نتیجه‌ای که از قانون نسبیت عام گرفته می‌شود این است که نور ستارگانی که میدان‌های مغناطیسی قوی دارند در راه رسیدن به زمین تغییر طول موج می‌دهند. این اثر، که به «جابه‌جایی قرمز»[1] مشهور است، باعث می‌شود طول موج نور این ستاره‌ها بزرگ‌تر شود. این مسئله، که باز با قوانین نیوتن تحلیل نمی‌شود، با معادلات تئوری نسبیت عام به سادگی مدل می‌شود. [حتی زمان هم نسبی می‌باشد!] از نتایج جالب تئوری نسبیت خاص می‌توان به بیان ارتباط میان زمان و فضا (فاصله) و اینکه تمام موجودات در دنیا با یکدیگر مرتبط‌اند و بر یکدیگر اثر می‌گذارند اشاره کرد. نیوتن معتقد بود که زمان ثابت است و در تمام نقاط به یک صورت عمل می‌کند، اما اینشتین نشان داد که این گونه نیست. مثال جالب در این باره آن است که دو برادر دوقلو را در نظر بگیرید که یکی روی زمین می‌ماند و دیگری با یک فضاپیما با سرعت نزدیک به سرعت نور به سمت فضا حرکت می‌کند. پس از آنکه برادرِ روی زمین ۱۰۰ سال از عمرش بگذرد، برادر داخل فضاپیما فقط یک سال از عمرش گذشته است!

در سال ۱۹۱۷ آلبرت اینشتین اولین مدل کیهان‌شناختی خود را، که بر مبنای نسبیت عام بود، عرضه کرد. در آن تاریخ، هنوز جابه‌جایی قرمز کهکشان‌ها کشف نشده بود و، به همین دلیل، مدل اینشتین جهان ایستا و بدون انبساط را شامل می‌شد. اینشتین به این نکته پی برد که جهان نه همانند مدل نیوتن نامحدود است و نه می‌تواند محدود و احاطه‌شده با یک جهان تهی باشد. از این رو، در مدل پیشنهادی او، ماهیت هندسه فضا اقلیدسی نیست و در آن فضا با انحنای مثبت و

---

۱. جابه‌جایی قرمز (Red Shift): بر اساس قانون دوپلر، چنانچه جرم سماوی در حال نزدیک شدن به ما باشد، خطوط تیرهٔ موجود در طیف الکترومغناطیسی آن به سوی انتهای بنفش (امواج کوتاه) و اگر در حال دور شدن از ما باشد، این خطوط به طرف انتهای قرمز (امواج بلند) تغییر مکان می‌دهند.

جهان محدود در نظر گرفته می‌شود. در حال حاضر، با استفاده از نتایج محاسبات چگالی در معادلات اینشتین، شعاع جهان حدود ۲۰ میلیارد (۲×۱۰^{۱۰}) پارسک به دست می‌آید.

بعد از پی بردن به واقعیت انبساط جهان، اینشتین و بسیاری دیگر از دانشمندان به تکمیل یک مدل کیهان‌شناختی نسبیتی بر مبنای انبساط همت گماشتند. تفاوت اکثر این مدل‌ها اساساً در انحنایی است که به فضای جهان قائل می‌شوند. بنابراین اگر فرضیات بنیادی آن‌ها درست باشد، اساسی‌ترین وظیفهٔ رصد و مشاهدات، تعیین هندسهٔ جهان است. به بیان دیگر، امروزه بسیاری از کیهان‌شناسان به احتمال درستی یکی از مدل‌های انبساط جهان، که بر مبنای نسبیت عام وضع شده است، اعتقاد دارند و تنها کمیت نامعلوم، انحنای جهان است.

۳ـ۶ـ۲ مدل‌های فریدمان

از میان مدل‌های موفق دیگر می‌توان به مدل‌های فریدمان، دانشمند روسی، اشاره کرد؛ این مدل‌ها درواقع بر اساس همان معادلات اینشتین استوار است، منتها فریدمان ثابت کیهان‌شناختی و نیروی پادگرانش را در معادلات و نظریات خویش وارد نکرده است. در این باره به توضیحات استیون هاوکینگ می‌پردازیم: هرچند فریدمان فقط یک مدل عرضه کرد، اما سه نوع مدل مختلف وجود دارد که بر دو فرض اساسی فریدمان مبتنی هستند. در نوع اول (که فریدمان عرضه کرد) جهان با سرعت نسبتاً کمی در حال گسترش است و جاذبهٔ گرانشی بین کهکشان‌های مختلف باعث کندی گسترش شده، سرانجام آن را متوقف می‌سازد. آنگاه کهکشان‌ها به سوی یکدیگر شروع به حرکت می‌کنند و جهان انقباض می‌یابد. در دومین مدل، جهان چنان با آهنگ تند گسترش می‌یابد که جاذبهٔ گرانشی هرگز قادر به بازداشتن آن از انبساط نیست، هرچند اندکی از سرعت آن می‌کاهد. در مدل سوم، سرعت گسترش جهان به اندازه‌ای است که گیتی از فروپاشی بپرهیزد.

مشخصهٔ بارز اولین مدل آن است که جهان در پهنهٔ فضا بیکرانه نیست، اما فضا خود حد و مرزی ندارد. گرانش چنان نیرومند است که فضا را به دور خود خم

می کند و کم‌وبیش چیزی مثل سطح زمین به وجود آورده است. اگر روی سطح زمین در جهت معینی راه بیفتیم، هرگز به مانعی غیرقابل عبور یا پرتگاهی بر کرانهٔ آن بر نخواهیم خورد، اما عاقبت به همان نقطهٔ شروع خواهیم رسید. در نخستین مدل فریدمان فضا همچون مثال بالاست، اما به جای آنکه مثل سطح زمین دو بعد داشته باشد، سه بعدی است.

بعد چهارم آن یعنی زمان نیز در امتداد خود محدود و معین است، اما همچون پاره خطی است که آغاز و انجامی دارد. اگر نسبیت عمومی را با اصل عدم قطعیت مکانیک کوانتومی درهم آمیزیم، فضا و زمان هر دو می‌توانند معین باشند و در عین حال هیچ انتها و مرزی نداشته باشند. در نخستین نوع از مدل‌های فریدمان، که جهان منبسط می‌شود و فرو می‌پاشد، فضا مثل سطح کرهٔ زمین بر روی خود خمیده است و بنابراین در امتداد خود متناهی است. در دومین نوع از مدل‌ها، که برای همیشه گسترش می‌یابد، فضا به گونه‌ای دیگر و همانند سطح یک زین خمیده است. بنابراین، در این حالت فضا نامتناهی است. سرانجام، در سومین نوع از مدل‌های فریدمان، گسترش جهان با سرعتی بحرانی انجام می‌پذیرد و فضا تخت و مسطح و، در نتیجه نامتناهی است.

کدام‌یک از مدل‌های فریدمان تصویر واقعی جهان ماست؟

آیا سرانجام جهان از انبساط باز خواهد ایستاد و منقبض خواهد شد یا آنکه برای همیشه منبسط خواهد شد؟ برای پاسخ دادن به این سؤال باید نرخ کنونی انبساط جهان و چگالی متوسط فعلی اش را بدانیم. اگر چگالی از مقدار بحرانی معینی که به وسیلهٔ نرخ انبساط تعیین می‌شود کمتر باشد، جاذبهٔ گرانش ضعیف‌تر از آن است که بتواند گسترش عالم را متوقف کند. اگر چگالی از آن مقدار بحرانی بیشتر باشد، گرانش روزی جهان را از گسترش باز خواهد داشت و باعث فروپاشی آن خواهد گردید. البته در حال حاضر برای تعیین مقدار دقیق دو پارامتر، نرخ کنونی انبساط جهان و چگالی متوسط جهان، با مشکلاتی مواجه هستیم. اگر فرض کنیم که جهان در حال گسترش است و سرعت گسترش آن به طور نسبی پایین باشد، سرانجام

نیروی گرانش موجب توقف و سپس انقباض آن خواهد گردید. یا به عبارت دیگر، اگر نیروی گرانش از انبساط جهان به‌تدریج بکاهد، سرانجام روزی انبساط متوقف و انقباض و فروریختگی آغاز می‌شود. در صورتی که جهان با سرعتی بیش از یک سرعت بحرانی در حال گسترش باشد، گرانش هرگز نخواهد توانست آن را متوقف کند و جهان تا ابد به گسترش خود ادامه خواهد داد. جهان همیشه در حال انبساط، که در نهایت به جهانی سرد و بی‌رمق منجر می‌شود، به نام «مدل باز» هم خوانده می‌شود و کسانی مثل لیف شیتز و حالا تنیکوف هم از این «مدل باز» جانبداری کرده‌اند؛ عکس نظریهٔ «مدل باز» به نام «مدل بسته» خوانده می‌شود. در این مدل بسته جهان روزی دچار انقباض و فروریختگی می‌گردد. به عبارت دیگر، مدل باز را می‌توان همان انفجار بزرگ و مدل بسته را انقباض بزرگ دانست.

در کتاب آسمانی قرآن نیز تأکید می‌شود که ساعت، یعنی حادثهٔ نابودی جهان، یک امر ناگهانی است و به هیچ وجه برای انسان قابل پیش‌بینی نیست، این مطلب از بسیاری از آیات استنباط می‌گردد، از جمله آیهٔ ۱۸۷ سورهٔ اعراف: «یسئلونک عن الساعه ایان مرساها ـ قل انما علمها عند ربی لایجلیها لوقتها الا هو ثقلت فی السموات والارض ـ لاتاتیکم الا بغته ...» (سورهٔ اعراف، آیهٔ ۱۸۷). قیامت یک حادثهٔ وعده داده شده از جانب خداست و وعدهٔ خدا حق است؛ زمان وقوع قیامت را تنها خدا می‌داند. محل وقوع این حادثه کجاست و از کجا آغاز خواهد شد؟ این سؤالی است که برای پاسخ دادن به آن باید در آیات قرآن[1] به دقت تأمل کرد.

---

۱. «بل الساعه موعدهم و الساعه ادهی و امر» (سورهٔ القمر، آیهٔ ۴۶).
«والیوم الموعود» (سورهٔ بروج، آیهٔ ۲).
«بل لهم موعد لن یجدوا من دونه موئلا» (سورهٔ الکهف، آیهٔ ۵۸).
«حتی اذا راوا ما یوعدون فسیعلمون من اضعف ناصرا و اقل عددا» (سورهٔ جن، آیهٔ ۲۴).
«قل ان ادری اقریب ما توعدون ام یجعل له ربی امدا» (سورهٔ جن، آیهٔ ۲۵).
«فذرهم یخوضوا و یلعبوا حتی یلاقوا یومهم الذی یوعدون» (سورهٔ معارج، آیهٔ ۴۲).
«خاشعه ابصارهم ترهقهم ذله ذلک الیوم الذی کانوا یوعدون» (سورهٔ معارج، آیهٔ ۴۴).
«انما توعدون لصادق» (سورهٔ ذاریات، آیهٔ ۵).

آنچه در مجموع از بعضی آیات قرآنی و پاره‌ای مفاهیم اسلامی دریافت می‌شود، موضوع‌های اساسی زیر است:

۱. جهان مادّه دارای پایانی است، یعنی عمر و سرآمدی معین دارد و روزی باید از بین برود.

۲. اصل بازگشت (معاد) را در دو بخش، یکی با عنوان اصل بازگشت عالم ماده به همان اصل نخستین که از آن به وجود آمده است و دیگری به عنوان اصل بازگشت (رستاخیر) انسان‌ها مورد بررسی قرار می‌دهد.

۳. اصل بازگشت عالم ماده با تمام وجود صورت می گیرد، بدین معنی که تمامی جهان ماده و اجزائش نابود می شوند. بعضی از افراد چنین گمان کرده‌اند که ویرانی و ریزش اجرام فقط شامل قسمت‌هایی از جهان می‌شود، ولی قسمت‌های دیگر جهان باقی می‌مانند یا تغییراتی اندک در آن‌ها پدیدار می‌شود؛ در حالی که چنین نیست. کل جهان و اجزائش، و از جمله سیارهٔ زمین، دچار فروریختگی و ویرانی و در نهایت دچار نابودی کامل می‌شوند و آثاری از جهان باقی نمی‌ماند. در تفسیر بعضی از آیات می گویند که جهان در هنگام ویرانی دوباره به همان اصل اولش، یعنی همان گاز سوزان، مبدل می شود. بعضی دیگر معتقدند که جهان در هنگام ویرانی تا مرحلهٔ تبدیل شدن به گردی پراکنده پیش می‌رود و خواه ناخواه اصل پیدایش آغازین جهان را همان گردی پراکنده می‌دانند.

۷ـ۲ سیاه‌چاله‌ها در جهان

بر اساس نظریهٔ نسبیت عام اینشتین، نیروی گرانش از خواص فضاست. در فضا هر جسمی موجودیتی منفرد نیست، بلکه نقش تعیین کننده‌ای در هندسهٔ فضای پیرامون خود نیز دارد. یکی از خبرنگاران در مصاحبه‌ای که با اینشتین داشت از او خواست که نظریهٔ خود را به عبارت ساده‌ای بیان کند که برای همه قابل فهم باشد. اینشتین در پاسخ به او گفت: «همواره فرض بر این بوده است که اگر تمامی ماده از جهان حذف شود، زمان و فضا پابرجا خواهند ماند، اما نظریهٔ نسبیت می گوید که در صورت حذف ماده از جهان، زمان و فضا نیز به همراه آن‌ها ناپدید خواهند شد.

بنابراین، جرم رابطهٔ نزدیکی با فضا دارد و هر جرمی موجب انحنای فضای پیرامون خود می‌شود. ما در زندگی روزمره چندان توجهی به این انحنا نمی‌کنیم؛ زیرا عموماً با اجرام نسبتاً کوچک سر و کار داریم، اما در میدان‌های مغناطیسی بسیار قوی، انحنای فضا اهمیت اساسی پیدا می‌کند».

حوادث چندی که اخیراً در فضا مشاهده شده حاکی از امکان فشردگی بسیار عظیم جرم در مناطق کوچکی از فضاست. اگر مقدار معینی از ماده چندان فشرده شود که به صورت حجم کوچکی درآید، تحت تأثیر نیروی گرانشی خود شروع به انقباض خواهد کرد. با پیشرفت انقباض ماده فاجعهٔ گرانشی روی می‌دهد و فروریختن گرانشی[1] پدید می‌آید. به بیان دیگر، با پیشرفت فرایند انقباض، فضای پیرامون مادهٔ در حال انقباض هم، مطابق با نظریهٔ نسبیت، انحنای بیشتری می‌یابد و سرانجام لحظه‌ای فرا می‌رسد که دیگر هیچ شعاع نوری‌ای، هیچ ذره‌ای، و هیچ پیام فیزیکی‌ای نمی‌تواند از محدودهٔ جرم فروریخته بگریزد. چنین حالتی از ماده را سیاه‌چاله نامیده‌اند.

برای ناظر بیرونی، چنین جسمی از وجود ساقط می‌شود و هیچ اطلاعاتی از آن دریافت نمی‌شود، زیرا برای ابراز آثاری از وجود خود، نیازمند به نوعی حامل مادی است. شعاع جسم فروریخته در نقطهٔ تبدیل به سیاه‌چاله «شعاع گرانشی» نامیده می‌شود) برای جرم خورشید این شعاع برابر ۳ کیلومتر و برای جرم زمین برابر ۰/۹ سانتی‌متر است؛ یعنی اگر خورشید تا حد کره‌ای به شعاع ۳ کیلومتر منقبض شود، به سیاه‌چاله تبدیل می‌شود. گرانش در سطح جسمی که تا حد شعاع گرانشی منقبض شده باشد بی‌نهایت قوی است. برای غلبه بر این گرانش سطحی، سرعت فرار باید بیشتر از سرعت نور باشد. بر اساس نظریهٔ نسبیت خاص، هیچ چیزی در جهان نمی‌تواند سرعتی بیشتر از سرعت نور داشته باشد. به همین دلیل است که سیاه‌چاله نیز اجازهٔ فرار هیچ‌یک از اجزاء خود را نمی‌دهد، اما می‌تواند با جذب ماده از فضای پیرامون خود بزرگ‌تر شود.

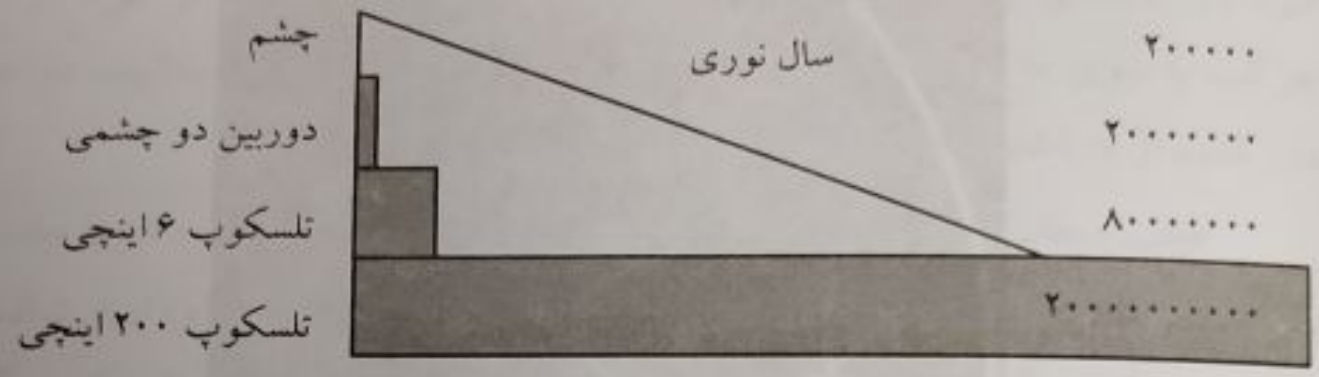
1. Gravitational Collapse

طبق نظریه‌های مطرح‌شده در اختر فیزیک جدید، ممکن است سیاه‌چاله‌ها مرحلهٔ نهایی عمر ستارگانی باشند که جرم زیادی دارند. تا زمانی که منبع انرژی مرکزی ستاره فعال باشد، دمای بسیار بالا موجب انبساط گاز و حرکت دادن لایه‌های مزبور به طرف مرکز جذب می‌شود. با پایان گرفتن واکنش‌های هسته‌ای دمای مرکز ستاره افت تدریجی پیدا می کند؛ آنگاه ناپایداری پدید می‌آید و ستاره، در اثر نیروی گرانشی خود، شروع به انقباض می کند. از آن پس روند تحول ستاره کاملاً بستگی به جرم آن خواهد داشت. محاسبات نشان می‌دهند که اگر جرم ستاره ۳ تا ۵ برابر جرم خورشید باشد، مرحلهٔ نهایی انقباض آن ممکن است به فروریختن گرانشی و تشکیل یک سیاه‌چاله منجر شود.

۸ـ۲ مرزهای عالم

یکی از پرسش‌های کلیدی در کیهان‌شناسی این است که آیا می‌توان مرزی برای جهان قائل شد؟ یعنی آیا جهان لبه یا کرانه‌ای دارد که در آن به انتها برسد؟ در اینجا باید دو نوع مرز متفاوت را از هم بازشناخت؛ مرز مشاهده‌ای و مرز هندسی. مرز مشاهده‌ای وابسته به کارایی ابزارهای نجومی است؛ این مرز حالت پایدار ندارد، چون هر سال که می گذرد، تلسکوپ‌ها و دیگر ابزارهای نجومی پیشرفته‌تر می‌شوند و گسترهٔ مشاهدات انسان بسط می‌یابد. تلسکوپ ۲۰۰ اینچی مونت پالومار از ابزارهایی است که برای کاوش حوزه‌های بسیار دور طراحی شده است. علاوه بر آن، تلسکوپ‌های رادیویی غول‌پیکر و نیز روش‌های مطالعهٔ جهان هر لحظه دیدگاه‌های جدیدی می گشایند و به کشف اجرام بسیار دور منجر می‌شوند. حدود هر پنج سال پیشرفت تکنولوژی افق دید ما را دو برابر می کند. شکل ۴ـ۲ اندازهٔ جهان قابل مشاهده نسبت به چشم و تلسکوپ‌های با قدرت متفاوت را نمایش می‌دهد. مرز هندسی با مرز مشاهده‌ای تفاوتی کیفی دارد و آن به دلیل محدودیت توانایی بشر در کاوش جهان و محدودیت فیزیکی نیست، بلکه هندسهٔ جهان به نحوی است که خود به خود باعث پیدایش این مرز می‌شود. منظور از «هندسهٔ

جهان» آن است که کدامین نحوهٔ نگرش هندسی می‌تواند با شکل واقعی فضای جهان مطابق باشد؟ برای مثال، دیدگاه نیوتنی، که بر مبنای هندسهٔ اقلیدسی شکل گرفته است، جهان را نامحدود و بی‌مرز می‌داند. اندازه‌گیری‌هایی که از سرعت و درخشندگی بسیاری از کهکشان‌ها به عمل آمده است، بی‌دقتی فرضیهٔ جهان نامحدود نیوتن را نشان می‌دهند.

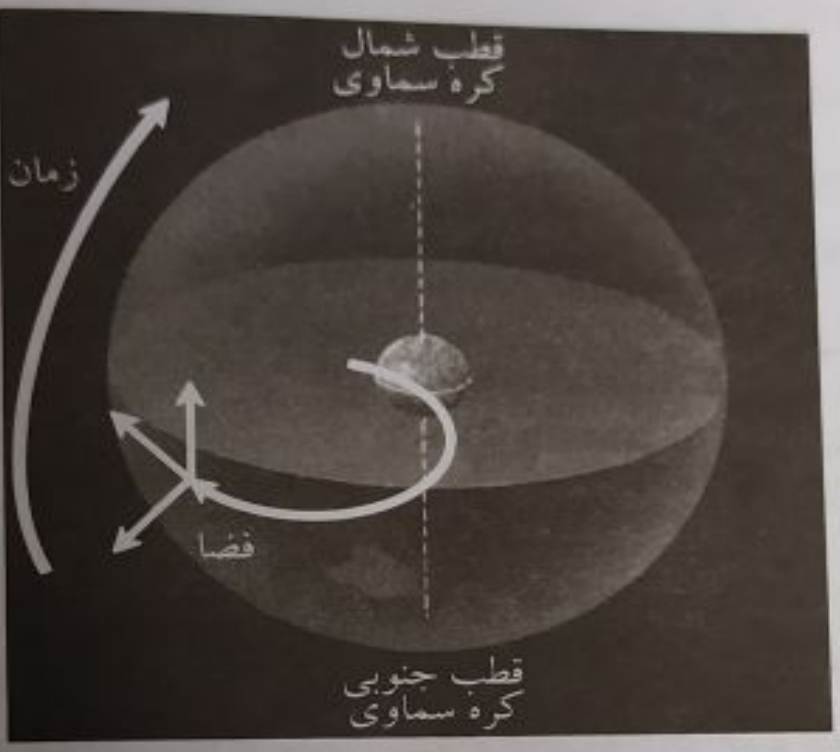


شکل ۴ـ۲ مرزهای مشاهده‌ای عالم

بنابر اصل پنجم اقلیدس، دو خط موازی و مستقیم اگر تا بی‌نهایت هم امتداد یابند هیچ گاه همدیگر را قطع نمی‌کنند و فاصله‌شان همواره ثابت می‌ماند. لباچوسکی، ریاضی‌دان روسی، با رد این اصل، اصل بسیار انعطاف‌پذیری را پیش کشید؛ دو خط موازی می‌توانند هم‌گرا یا واگرا باشند. این اصل شالودهٔ هندسهٔ جدیدی را پی‌ریزی می‌کند که، درست همانند هندسهٔ اقلیدسی، منطقی و برخوردار از ثبات و استواری است. کیهان‌شناسی اینشتین بر پایهٔ این هندسهٔ غیراقلیدسی است و در آن حجم جهان محدود تلقی می‌شود. تصور این هندسه و هندسه‌های مشابه آن، که ویژگی‌های مخصوصی دارند، بسیار مشکل و حتی غیرقابل حصول است. همان‌گونه که به گرد بودن زمین اعتقاد داریم و می‌دانیم که در سطح آن انتها و لبه‌ای وجود ندارد و مساحت آن محدود است، در نظر اینشتین نیز جهان کروی و فاقد لبه و انتهاست و جرم محدودی دارد.

استیون هاوکینگ نیز، همانند دو بُعد سطح زمین، برای عالم چهار بُعد (سه بُعد برای فضا و یک بُعد برای زمان) تصور می‌کند. سطح زمین به این معنی است که

حدی وجود ندارد که آدم از آن بیفتد. اگر بخواهیم مقایسه کنیم کافی است بیندیشیم که سه بعد فضا با یک خط موازی نشان داده شده و از شرق به غرب زمین کشیده شده است، اما زمان را می‌توان با دوایر نصف‌النهاری که از یک قطب به قطب دیگر می‌روند تصور کرد (شکل ۵ـ۲).



شکل ۵ـ۲ چهار بعد عالم

در این تعریف، قطب شمال همان «لحظهٔ صفر» است که عالم در «جهش بزرگ» در آن شکل می گیرد. خط موازی با قطب یک نقطهٔ بدون بعد است. برای تصورِ عالمی که از رهگذر «جهش بزرگ» منبسط می‌شود مدارهایی را تصور کنید که از قطب شروع و به خط استوا نزدیک می‌شوند. به همان نسبت که زمان می گذرد (یعنی فاصلهٔ مدار نسبت به قطب شمال افزایش می‌یابد)، مدارها بزرگ‌تر می‌شوند و این نشانهٔ گسترش عالم است، اما در نقطهٔ قطب شمال نه زمان وجود دارد و نه ذره‌ای از عالم، بلکه در آغاز، زمان فقط به سمت آینده در حرکت است. در حرکت از قطب شمال به سمت استوا و با عبور از استوا مدارها کوچک‌تر می‌شوند، لذا عالم کوچک شده، به نحوی که در قطب جنوب عالم ناپدید می‌شود؛ و این همان معکوس «جهش بزرگی» است که عالم در آن زاده شده است (گریبین، ۱۳۶۶).

۹ـ۲ انبساط جهان

مدتی قبل از آنکه هابل و هوماسن از کهکشان‌ها عکس‌برداری کنند، ستاره‌شناس دیگری به نام وستوملوین اسلیفر (۱۸۷۵ـ۱۹۶۹) سحابی امراة المسلسله را با استفاده از طیف‌نما به تصویر کشید. او متوجه شد که خطوط تیرهٔ واقع در رنگ‌های مختلف به آرامی به یک سو تغییر مکان می‌دهند. ستاره‌شناسان در آن زمان می‌دانستند که یک شیء در حال حرکت در طیف‌نما چنین اثری را به وجود می‌آورد. اگر شیء در حال حرکت به سوی ما باشد، خطوط طیف‌نما به سوی انتهای بنفش و چنانچه در حال دور شدن از ما باشد به طرف انتهای قرمز تغییر مکان می‌دهند.

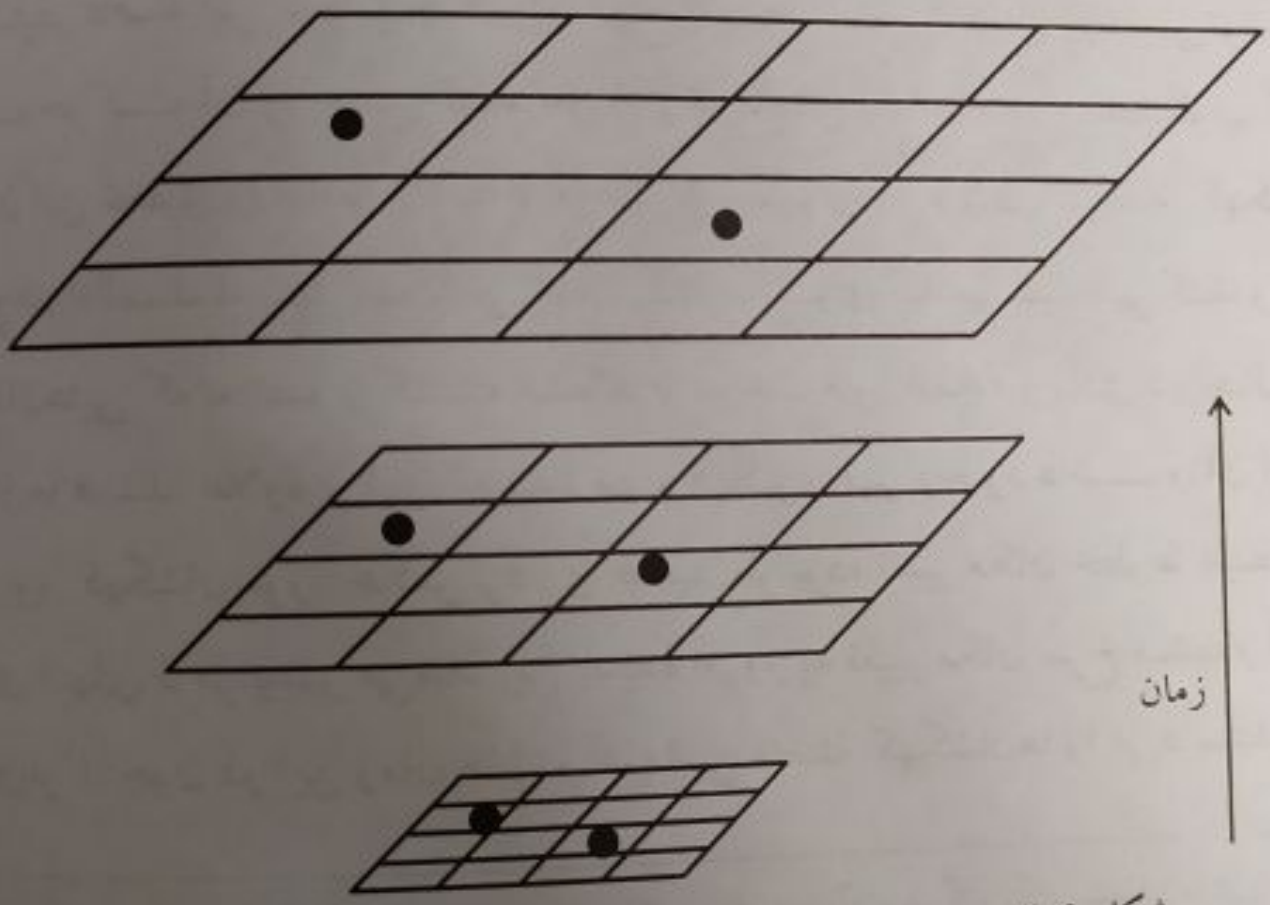
طیف سحابی امراة المسلسله نشان می‌داد که در حال حرکت به سوی ماست، ولی اسلیفر فاصلهٔ این سحابی را در آن موقع نمی‌دانست و از این رو، نمی‌توانست سرعت حرکت آن را تعیین کند. هابل و هوماسن با استفاده از تلسکوپ کوه ویلسون این تحقیق را ادامه دادند و موضوع خطیری را کشف کردند. کهکشان مارپیچ امراةالمسلسله تنها کهکشانی است که به سوی ما حرکت می‌کند و بقیهٔ کهکشان‌هایی که به تصویر کشیده شده‌اند با سرعت فوق‌العاده زیادی در حال دور شدن از ما هستند. علاوه بر این، پدیدهٔ مهم دیگری نیز وجود داشت و آن اینکه هرچه نور کهکشان مورد عکس‌برداری ضعیف‌تر بود، تغییر مکان خطوط طیف آن به سوی انتهای قرمز بیشتر می‌شد. این پدیده امروز به تغییر مکان سرخ مشهور است (اثر دوپلر[۱]). چون در این زمان هابل و هوماسن فاصلهٔ کهکشان‌ها را می‌دانستند، لذا

---

۱. در فیزیک پدیده‌ای به نام دوپلر وجود دارد که، بر اساس آن، هرگاه یک منبع ارتعاشی به طول موج λ و با سرعت V حرکت کند، طول موج آن تغییر خواهد کرد؛ به طوری که می‌توان آن را از رابطهٔ زیر به دست آورد. $\lambda' = \lambda\left(1 \pm \frac{V}{C}\right)$ که در آن C سرعت نور است. علامت منفی برای وقتی که منبع ارتعاشی نزدیک و علامت مثبت برای هنگامی است که دور می‌شود. این اثر در مورد صدا نیز به خوبی آشکار است. مثلاً، صدای سوت قطار هنگام نزدیک شدن و دور شدن از ما متفاوت است. وقتی قطار به ما نزدیک می‌شود، هر موجِ صدای سوت آن فاصلهٔ کمتری را طی می‌کند تا به گوش ما برسد؛ لذا ارتفاع صوت آن بالا می‌رود و درست برعکسِ آن موقعی است که از ما دور می‌شود.

قادر بودند که سرعت پس‌روی آن‌ها را محاسبه کنند و به این ترتیب معلوم شد که برخی از کهکشان‌ها با سرعتی بیش از ۴۰۰۰۰ km/s در حال دور شدن از ما هستند. این امر هابل را قادر ساخت تا عبارت جدیدی ابداع کند؛ «جهان در حال انبساط». از آن زمان تاکنون، سرعت‌های پس‌روی بزرگ‌تری از کهکشان‌های دوردست اندازه‌گیری شده است؛ امروزه اکثر ستاره‌شناسان نظریهٔ جهان در حال انبساط دائم را حمایت می‌کنند (لانکاستر برون، ۱۳۶۹).

نکتهٔ مهم در مورد گسترش جهان این است که سیستم مختصات عالم کارایی خود را حفظ می‌کند و مختصات یک جرم سماوی در اثر انبساط عالم تغییر نمی‌کند (Liddle, 2015). شکل ۶ـ۲ به درک این مطلب کمک می‌کند.



شکل ۶ـ۲ عدم تغییر در مختصات جرم سماوی حین گسترش عالم