

ترجمه‌ی پیش رو از کتاب "The Music of the BigBang, The cosmic Microwave Background And The New Cosmology" نوشته دکتر آمدئو بالبی پژوهشگر گروه فیزیک دانشگاه رم ایتالیا انجام گرفته. بالبی مدتی در دانشگاه برکلی کالیفرنیا، با گروه جورج اسموت (برنده جایزه نوبل فیزیک ۲۰۰۶) در پروژه MAXIMA همکاری می‌کرد و دوره‌های تحقیقاتی مختلفی را در مهم‌ترین نهادهای بین‌المللی فیزیک دنیا از جمله Fermilab (آزمایشگاه فرمی) در شیکاگو، موسسه کیهان‌شناسی و گرانش دانشگاه پورت مورث و آزمایشگاه پیشران جت در پاسادانا گذرانده و اکنون نیز یکی از اعضای گروه ماموریت پلانک با همکاری آژانس فضایی اروپا، ESA، است. از جمله فعالیت‌های سال‌های اخیر وی انتشار کتاب‌هایی در زمینه اختر فیزیک و کیهان‌شناسی، اداره یکی از محبوب‌ترین سایت‌های علمی ایتالیا www.keplero.org و نیز سخنرانی‌های علمی در برنامه‌های تلویزیونی و رادیویی است.

کتاب‌های «جهان اخترشناسان» از سوی انتشارات اشپرینگر و برای ترویج دانش نجوم و کیهان‌شناسی میان نوجوانان دانش‌آموز دبیرستانی، دانشجویان دوره کارشناسی و هم‌چنین علاقمندان غیرحرفه‌ای آسمان و نیز دانشجویان رشته فیزیک منتشر شده و مخاطب این کتاب‌ها در مجموع مخاطب عام است. از این مجموعه کتاب‌ها، کتاب *منشاء کیهان* و این کتاب به همت انتشارات مازیار در ایران منتشر می‌شود. *آوای مهبانگ* با بررسی سیر تاریخی دانش کیهان‌شناسی و با تکیه بر آخرین دستاوردهای آزمایش‌ها و پژوهش‌های مهم دنیا در این زمینه به بیان چگونگی کشف تابش زمینه کیهانی و اطلاعات استخراج شده از آن به زبانی روان و زیبا پرداخته است.

کتاب *آوای مهبانگ* در سال ۲۰۰۷ از سوی انتشارات اشپرینگر به زبان ایتالیایی و یک سال بعد به زبان انگلیسی ترجمه و منتشر شد. این کتاب با بیانی غیرتخصصی و ساده و وضوح بسیار به معرفی یکی از پیچیده‌ترین موضوعات دانش کیهان‌شناسی می‌پردازد و خواندن آن نه تنها به علاقمندان آماتور بلکه به منجمان حرفه‌ای و دانشجویان و پژوهشگران جوان توصیه می‌شود.

تابش زمینه کیهانی (CMB) باقی‌مانده از گرمای مهبانگ است. سیگنالی ضعیف با قدمتی بیش از سیزده میلیارد سال که پاسخ بسیاری از پرسش‌های ما

درباره ماهیت جهان را در خود دارد. این تابش در سال ۱۹۶۴، کاملاً تصادفی، کشف شد. فسیلی که آثاری از ریشه جهان هستی را داراست و تحقیقات در این زمینه تاکنون دو جایزه نوبل را برای محققین آن به ارمغان آورده است. بخش عمده‌ای از این اطلاعات در تابش طول موج کوتاه زمین کیهانی کدگذاری و به صورت امواج صوتی که آن را نوعی «موسیقی» کیهانی می‌شناسیم کشف شده است. این کتاب به زبانی غیرتخصصی به بیان نظریه‌ها، مشاهدات و اکتشافات از ابتدا تا کنون پرداخته است. تحقیقاتی که هنوز به پایان نرسیده و ارزش علمی آن‌ها به طور کامل ارزیابی نشده است. نسخه‌های ایتالیایی و انگلیسی این کتاب، هر دو، برنده چندین جایزه ادبی و علمی شده‌اند.

بر خود واجب می‌دانم از راهنمایی‌ها و از زحمات کلیه استادان و بزرگوارانی که در این کار یاریم کردند تشکر کنم. از زحمات و تلاش‌های آقایان حسن فتاحی و آرمان محمد باقر سپاسگزارم.

خوانندگان محترمی نظر یا پیشنهادی جهت بهبود اثر دارند می‌توانند با نشانی samane.noroozi@gmail.com تماس بگیرند.

سمانه نوروزی

فهرست مطالب

۹	مقدمه
۱۵	۱. چشم انداز
۱۶	فرار بزرگ
۲۲	گرانش نهایی (حداکثری)
۲۷	وزن همه چیز
۳۱	ماده‌ای از ساختار
۳۵	یک مشت پر از اعداد
۴۱	۲. نور باستانی
۴۱	بعضی‌ها داغش رو دوست دارند!
۴۳	دریایی از نور
۴۷	از ستاره‌ها و کوره‌ها
۵۱	دست پخت عالی!
۵۴	خدا حافظی آخر
۵۹	صداهای خاموش
۶۰	پرده‌های برانداخته
۶۴	تولد یک علم
۶۷	۳. دانه‌های کیهانی
۶۸	ناپایداری
۷۱	نه کاملاً صاف
۷۴	غول‌های کیهانی

۷۹	سریع تر از نور
۸۶	آشفته‌گی آغازین (اولیه)
۹۰	قلمرو تاریکی
۹۵	بقایای تابش CMB

۴. موسیقی افلاک

۱۰۳	صداهای و اعداد
۱۰۵	سمفونی‌های کیهانی
۱۱۱	شنیدن با چشم
۱۱۴	از میان قله‌ها و دره‌ها

۵. یافتن هماهنگی

۱۲۷	گشتن به دنبال الدورادو
۱۲۷	جهان از دید یک بالون
۱۳۰	یک جهان تخت
۱۳۴	فرار
۱۴۲	انبساط کیهانی
۱۴۴	آوای مهبانگ

۶. کشور کشف نشده

۱۵۵	سمت تاریک کیهان
۱۵۷	جهان و توپ فوتبال
۱۶۲	یک مرز جدید
۱۶۹	نزدیک به آغاز
۱۷۴	فهرست ثوابت فیزیکی و نجومی
۱۸۱	

مقدمه

از زمان کودکی، نوع بشر به دنبال یافتن پاسخ برای برخی سوالات اساسی و عمیق بوده است. آیا جهان آغازی داشته است؟ اگر آری، چقدر عمر دارد و از کجا آمده، و چه شکلی دارد؟ از چه چیزی ساخته شده؟ افسانه‌های فریبنده و بصیرتی درخشان در جهت تلاش برای حل چنین معماهایی در تمام تاریخ فکری بشر دیده می‌شود. هر فرهنگی افسانه‌های خاص خود را دارد، داستان‌های ویژه آغاز جهان، تفکرات فلسفی خود و ... هر چند دانش جدید نمی‌تواند خود را در این توصیفات خیالی جای دهد. اهمیتی ندارد که آن‌ها چگونه هستند. امروزه نظریه‌های ما درباره جهان بر اساس استنتاج منطقی بنا شده و باید آزمون‌های تجربی و رصدی سختی را پشت سر بگذارد.

کیهان‌شناسی علمی است که منشاء و تحولات جهان را مورد مطالعه قرار می‌دهد و قبل از آن‌که بتواند به سطحی مشابه دیگر شاخه‌های فیزیک دست یابد، باید بر مشکلات ناشناخته‌ای غلبه کند. کیهان‌شناسی در ابتدا مدل فیزیکی مهمی نداشت و ابزارهای ریاضی که برای حل پیچیدگی‌های آن می‌توانست مورد استفاده قرار گیرد، مشخص بود. پس از آن یک سری یافته‌های تجربی بسیار ناقص که آزمودن تفکرات نظری را ناممکن‌تر می‌ساخت، را از سر گذراند. در چنین شرایطی پاسخ دقیق به بسیاری از سوالات درباره ماهیت جهان چیزی بیش از یک توهم به نظر نمی‌رسید.

هر چند امروزه چیزهای زیادی تغییر کرده‌اند. ما در دوره طلایی کیهان‌شناسی زندگی می‌کنیم: لحظه‌ای هیجان‌انگیز، وقتی که برای اولین بار قادر به درک علمی جهانمان شدیم. جیمز پیبلز، یکی از بزرگ‌ترین کیهان‌شناسان در قید حیات، موقعیت یک کیهان‌شناس را با افسانه تانتالوس مقایسه کرده است. بر اساس افسانه‌ها، تانتالوس توسط زئوس و به دلیل فهمیدن راز مانده بهشتی، غذایی که خدایان را جاودان می‌کند، تنبیه شد. وی محکوم به تحمل گرسنگی و تشنگی شد، در آب غوطه‌ور می‌شد اما نمی‌توانست آن را بنوشد زیرا وقتی برای نوشیدن تلاش می‌کرد، آب به عقب می‌رفت؛ میوه‌های آب‌دار بالای سر

او آویزان بودند اما وقتی دستش را برای چیدن آن‌ها دراز می‌کرد، شاخه‌ها از دسترس او دور می‌شدند.

به همین ترتیب، کیهان‌شناسان می‌توانند تا هر وقت که بخواهند به اجرام سماوی نگاه کنند اما نمی‌توانند آن‌ها را «لمس» کنند. این حقیقتی است که کیهان‌شناسی را نسبت به جنبه‌های دیگر فیزیک، در موقعیتی سخت قرار داده است. اگر بخواهیم خواص ماده را مطالعه کنیم، می‌توانیم کمیت‌های خاصی از آن را در آزمایشگاه و تحت شرایط کنترل شده‌ای، بررسی کنیم. همچنین می‌توانیم آزمایش‌ها را هر چند بار که بخواهیم تکرار کنیم. اما کیهان‌شناسان نمی‌توانند چنین چیزهایی را پشت سر هم ردیف کنند. آن‌ها فقط یک جهان برای مطالعه دارند و نمی‌توانند برای چگونگی تنظیم شرایط آن تصمیم بگیرند. علاوه بر آن به چنگ آوردن موضوع تحقیق، ماهیتاً، بسیار مشکل است. کاوش در دوربردترین نواحی کیهان و رصد نور بسیار ضعیف رسیده به ما از غیرقابل تصورترین فاصله‌ها نیازمند ابزارهای پیچیده‌ای است که تا همین زمان‌های اخیر در دسترس ما نبودند. فراتر از آن، برای هر علم دیگری تاریخ کیهان‌شناسی، تاریخچه ابزارهایی است که برای رصد جهان از آن‌ها استفاده کرده‌ایم. اندیشه ما درباره‌ی جهان با وسعت آن‌چه می‌توانیم رصد کنیم شکل گرفته که با تلسکوپ گالیله آغاز شده است. جهان بزرگ‌تر و شگفت‌تر از آن چیزی است که ما قادر به مشاهده آن از این دریچه بودیم.

نوع عجیبی از تعادل در پهنه کیهان، ابزار غیرقابل انتظاری است که ما می‌توانیم برای تحقیق ویژگی‌ها از آن استفاده کنیم. جهان آنقدر بزرگ است که نور زمان بسیار زیادی برای گذشتن از میان آن لازم دارد (حتی با حداکثر سرعتی که قوانین فیزیکی به نور اجازه می‌دهند، حدود ۳۰۰ هزار کیلومتر بر ثانیه). وقتی به خورشید نگاه می‌کنیم، آن را در شرایط ۸ دقیقه قبل می‌بینیم؛ وقتی به نزدیک‌ترین ستاره به خورشید، آلفا قنطورس، می‌نگریم، آن را در شرایط چهار سال قبل مشاهده می‌کنیم؛ نزدیک‌ترین کهکشان به ما، M31 در آندرومدا، در شرایطی دیده می‌شود که دو و نیم میلیون سال قبل بوده است؛ و مانند آن. کیهان‌شناسان چنین فاصله‌های عظیمی را بر اساس سال نوری—فاصله‌ای که نور در یک سال می‌پیماید، اندازه‌گیری می‌کنند. یک سال نوری

برابر فاصله‌ای در حدود ۹۴۶۰ میلیارد کیلومتر است.

این حقیقت برای کیهان‌شناسان نوعی ماشین زمان فراهم می‌کند. آن‌ها می‌توانند با نگاه کردن به جهان در فازهای مختلف تحول آن مثل یک باستان‌شناس که به فسیل‌های دوره‌های مختلف می‌نگرد، تاریخ آن را بازسازی کنند. با استفاده از این فرصت فوق‌العاده و تکمیل آن طی سالیان متوالی، کیهان‌شناسی به آرامی وضعیت یک دانش ناتمام را رها کرده و در ابتدای قرن بیستم مسیری دشوار را آغاز نمود که در سال‌های اخیر منجر به یکی از موفق‌ترین و پیشرفته‌ترین زمینه‌های علمی دستاوردهای بشری شد.

اکنون می‌دانیم که مثلاً جهان انبساط می‌یابد و رشد می‌کند و این که شرایط حال حاضر آن از حالتی بسیار ساده که بسیار کوچک‌تر و چگال‌تر از اکنون بوده، آغاز شده است. برای توصیفات فیزیکی خود به زمان‌های اولیه برمی‌گردیم، در نهایت به دما و چگالی عملاً بینهایت می‌رسیم که حدود چهارده میلیارد سال قبل اتفاق افتاده است و عموماً با نام «مهبانگ» معروف است. مدل مبتنی بر مهبانگ در شرح تحولات کل جهان فوق‌العاده کارا و هم‌زمان به شکل شگفت‌انگیزی ساده بوده و تنها به یک مشت پارامتر برای توصیف حالت فیزیکی کیهان از ابتدا تا کنون نیاز دارد. ویژگی‌های اصلی مدل کیهان‌شناسی مهبانگ در فصل اول این کتاب شرح داده شده است.

در همان زمان و طی تحقیقات بی‌پایان آن‌ها درباره منشأ جهان، کیهان‌شناسان به این پرسش پرداختند که با رصدهای آن‌ها چقدر در فضا — و سپس در زمان، می‌توان به عقب برگشت. آیا می‌توان دقیقاً به لحظه آغاز جهان نگریست؟ همه جهان در فازهای اولیه آن فوق‌العاده داغ و نورانی بوده است. در ابتدا همه‌ی این نور قادر به طی مسافت زیادی نبوده است زیرا مه غلیظی از ماده، کیهان را در بر گرفته بود. اما بعد از چند صد هزار سال، جهان شفاف شد. نهایتاً نور توانست بدون مانع در کل فضا ساطع شود. امروزه بیش از سیزده میلیارد سال پس از آن، اثر کم نوری از تابش بیکران اولیه از دورترین نقطه فضا و زمان به ما می‌رسد. هرچند تنها خاکستر سردی از آن التهاب عظیم اولیه باقی‌مانده است که هنوز می‌توانیم وجود آن را اندازه‌گیری کنیم و در تمام فضای اطراف ما نفوذ کرده است. اگر رادیو را روی یک شبکه خالی تنظیم کنیم، یک درصد پارازیت‌هایی

که می‌شنویم حاصل این پرتو کیهانی، دورترین و قدیمی‌ترین پرتوها، است. این فسیل باستانی مهبانگ، تابش زمینه کیهانی (یا به اختصار CMB)^۱ نامیده می‌شود و نقش اول این کتاب را هم دارا است. با رصد آن، کیهان‌شناسان نشانه‌های بسیار مهم زیادی درباره‌ی حالت اولیه جهان در فازهای ابتدایی آن یافته‌اند. فصل دوم به بررسی و تفسیر منشاء آن می‌پردازد و داستان جالب کشف آن را می‌گوید.

کیهان اولیه، ناحیه‌ای بسیار ساده بود. نوعی یکنواختی، مه غلیظی که همه‌ی فضا را پر کرده بود، و همه نقاط جهان دارای دما و چگالی یکسان بودند. اما این موقعیت تقریباً یکنواخت با توده شدن کوچک به آرامی دگرگون شد. پس از آن، ماده طی یک فرآیند آرام ولی سخت، شروع به رمبش در اطراف توده‌ها کرد. این ساختار کیهانی غول‌پیکر که امروزه در کیهان می‌بینیم — کهکشان‌ها، خوشه‌های کهکشانی، خوشه‌هایی از خوشه‌ها و ابرخوشه‌ها و مانند آن — با فرآیند تدریجی توده شدن در اطراف این دانه‌های کیهانی، شکل گرفته‌اند. علاوه بر همه اینها، وجود خود ما، به علت وجود نقایص بسیار کوچک در جهان اولیه است. در فصل سه، درباره منشاء این دانه‌های کیهانی بیشتر خواهیم گفت و در مورد اینکه ما چگونه بالاخره وجود آن‌ها را از روی نشانه‌هایی که در CMB به جا گذاشته بودند، تشخیص دادیم.

تشکیل ساختار کیهانی حاصل جنگ بین نیروهای مخالف است. نواحی چگال به دلیل وجود خودگرانشی، میل به چگال‌تر شدن دارند اما فشار درونی با این روند مخالفت می‌کند — درست مثل مقاومت گاز در برابر تراکم — و ماده را وادار به انبساط دوباره می‌کند. بعد از آن رقص عجیبی اتفاق می‌افتد، یک سری متناوب از افزایش و کاهش فشار شاره کیهانی. نوسانات متناوب معادل گذشتن از میان هوا در هنگام انتشار صوت بوده است. به عبارت دیگر، امواج صوتی در جهان اولیه، از سراسر فضا عبور کرده‌اند. با تجزیه و تحلیل موجک‌هایی که این امواج در CMB از خود به جا گذاشته‌اند، امروزه کیهان‌شناسان توانسته‌اند این همپوشانی پیچیده آن‌ها را بازسازی کنند که اطلاعات تعیین‌کننده‌ی زیادی از حالات کیهان اولیه در آن قرار دارد. همان‌طور که هر ابزار موسیقایی، طیف ویژه بسامدی ایجاد می‌کند، پارامترهای فیزیکی که ماهیت جهان ما را تعیین

1. Cosmic Microwave Background radiation.

می‌کنند، خود را از خلال طنین خاص این امواج صوتی اولیه، نشان می‌دهند. جستجو برای این موسیقی مهبانگ، دهه‌های زیادی کیهان‌شناسان را مشغول کرده بود. فصل چهار و پنج داستان این تلاش سحرآمیز را بازگو می‌کند که نهایتاً در سال‌های اخیر به موفقیت رسید.

سپس در تمام این کتاب نشان داده خواهد شد که چگونه تحقیقات دقیق در CMB به بسیاری از سوال‌های اساسی ما درباره‌ی کیهان پاسخ می‌دهد. اکنون می‌دانیم که جهان حدود چهارده میلیارد سال انبساط یافته و شاید این انبساط تا ابد ادامه یابد. می‌دانیم که ساختار باشکوه کهکشان‌ها در دوره‌ای بیش از میلیاردها سال از دانه‌های کیهانی کوچک اولیه شروع به شکل‌گیری کرده‌اند. همچنین می‌دانیم که بیشتر ماده جهان از انواع کاملاً مختلفی ساخته شده است و اینکه ما احتمالاً مجبوریم نوع بسیار عجیبی از انرژی [تاریک] را هم به حساب آوریم. اما حتی اگر بتوانیم برخی برنامه‌های بزرگ را برای شناخت جهانمان داشته باشیم، نمی‌توانیم ادعا کنیم که همه جواب‌ها را یافته‌ایم. هر یافته‌ی جدیدی، سوالات جدیدی بوجود می‌آورد. در فصل ۶ با برخی مشکلات بدون جواب کیهان‌شناسی نوین سر و کار خواهیم داشت.

آمدئو بالبی

۱. چشم انداز

طبعاً همه اینجا هستیم. *Qfwfq*^۱ پیر می گوید: چه جای دیگری می توانیم باشیم؟ کسی نمی دانست بعد از فضا چیست. یا حتی زمان. برای زمان از چه چیزی استفاده می کنیم. بسته بندی هایی مثل ساردین!

من اعتقاد دارم «بسته بندی مثل ساردین» تصویری کلاسیک در ذهن ایجاد می کند: در واقع حتی فضا برای متراکم کردن ما وجود ندارد. هر نقطه وجود ما منطبق با هر نقطه ای از دیگران است در یک نقطه تنها، جایی بود همه ما بودیم.

ایتالو کالوینو، همه چیز در یک نقطه

در سال های اخیر کاوش در جهان با روش های عملی شروع شده است. نخستین نظریات علمی از مفاهیم درباره ماهیت هستی جهان به قرن ۱۶ میلادی برمی گردد، وقتی که نیکلا کوپرنیک، تیکو براهه و یوهانس کپلر مدل منظومه شمسی را پیدا کردند که همچنان برای حرکت سیارات به کار می رود. عقیده وجود زمین ثابت در مرکز عالم با مفهوم همسانی زمین ما با دیگر سیارات چرخنده به دور خورشید، جایگزین شد. در خلال قرن ۱۷، مشاهدات گالیله (گالیئو گالیلی) دیدگاه جدید نسبت به جهان را تقویت و تایید کرد و نظریه آیزاک نیوتون پایه های مفهومی عمیقی به آن داد. در سده های بعد از آن این تعبیر نیوتون از فضای ثابت و مطلق، رواج کامل یافت؛ و پس از آن مفهوم پیوستگی جهان بین محققان طرفداران زیادی داشت. — مفهوم جدید پیوستگی جهان (ازلی بودن) از هرگونه پرسشی درباره منشاء و چگالی جهان، خودداری می کند: جهان هست چون همیشه بوده است — و همیشه هم خواهد بود. در ابتدای قرن بیستم تغییری در نگرش به کیهان شناسی نوین ایجاد شد.

امروزه، چشم انداز علمی جهان متکی بر نظریه مهبانگ است. طبق این نظریه، تحول جهان در لحظه ای بسیار کوتاه در گذشته آغاز شده و با گذار از

۱. موجودی ازلی و راوی داستان کمادی های کیهانی اثر ایتالو کالوینو.

میان حالت‌های فیزیکی بسیار متفاوتی، طی میلیاردها سال به نقطه‌ای که اکنون قرار دارد، رسیده است. اصطلاح Big Bang را فرد هویل یکی از بزرگترین ستاره‌شناسان انگلیسی به عنوان یکی از جدی‌ترین مخالفین نظریه، به کار برده و ثبت نمود. مهم نیست چطور عبارت کنایه آمیز او در مقاله‌اش، Big Bang به سرعت فراگیر شد. تاکید این نکته مهم است که اگر چه، این کلمه تصویر گمراه کننده‌ای را به ذهن القا می‌کند، در واقع تولد جهان، با یک انفجار همراه نبوده است. در فصل بعد خواهیم دید که نظریه‌ی مهبانگ، بعدها، آزمون‌های رصدی زیادی را از سر گذراند و کیهان‌شناسان معتقدند این نظریه بهترین توصیف در دسترس جهت توضیح چگونگی تحول ساختار جهان— حداقل با توجه به محدوده کاربردش، است. بعداً در مورد نظریه مهبانگ صحبت خواهیم کرد.

فرار بزرگ

وقتی به آسمان شب می‌نگریم، اگر به قدر کفایت خوش‌شانس باشیم که از نور شهرها دور باشیم، مثلاً در کوه یا دریا، چشمان ما صحنه‌ی حیرت‌انگیزی خواهد دید. ستاره‌ها همچون غبار در همه جهات هستند. از ورای سوسوزدنی که قدما آن را راه شیری نامیده‌اند، ستارگان آنقدر انبوه دیده می‌شوند که شاید نتوان آن‌ها را تکی در نظر گرفت، مگر اینکه با تلسکوپ نگاه کنیم. در اواخر قرن ۱۸، ویلیام هرشل، ستاره‌شناس، برای نخستین بار نشان داد که ستارگان در آسمان، و البته خورشید خودمان، در چنان گستره وسیعی پخش شده‌اند که می‌توان آن‌ها را همچون یک صفحه نازک یا یک پنکیک در نظر گرفت.

ستاره‌شناسان چنین مجموعه‌هایی از ستارگان را کهکشان می‌نامند. وقتی به راه شیری می‌نگریم، تعداد بسیار زیادی ستاره می‌بینیم، چرا که به بخش بسیار پیر تعداد و چگال کهکشان خودی نگاه می‌کنیم.

اکنون می‌دانیم کهکشان ما— که همچنان راه شیری می‌خوانیمش— عظیم است: قطر آن حدود ۱۰۰ هزار سال نوری است، ضخامتی حدود ۱۰ هزار سال نوری و شامل صدها میلیارد ستاره است. و نیز می‌دانیم که کیهان بسیار بسیار عظیم‌تر از راه شیری ماست، و شامل صدها میلیارد کهکشان مانند کهکشان ماست. اما همچنان در ابتدای قرن ۱۹ تعداد بسیار کمی از مردم فکر می‌کردند که جهان می‌تواند

بزرگتر از جزیره کیهانی ما باشد. راه شیری همه آن چیزی بود که وجود داشت. از زمان هرشل به بعد، ستاره شناسان اجرام بسیاری را رصد کردند که ستارگان منفرد نبودند. بخارات مبهم نور برخی از آن‌ها امتداد یافته است. چنین اجرامی *سحابی نامیده می‌شوند* (نام لاتین ابر clouds) کسی قادر به تعیین فاصله آن‌ها نبود چرا که ماهیت آن‌ها دقیق مشخص نبود. برای اخترشناسان قرن ۱۸، احتمالاً سحابی چیزی متعلق به راه شیری بود، که چیزی بیش از ستونی از ماده‌ی میان ستاره‌ای نبود. امانوئل کانت، فیلسوف آلمانی، فکر می‌کرد که جهان لزوماً ابدی و ازلی و نامحدود است و جزو اولین کسانی بود که ادعا کرد سحابی واقعا باید گستره وسیعی شامل بی‌شمار ستاره باشد که خارج از راه شیری ما قرار دارد. سؤال در مورد طبیعت سحابی‌ها تا مدت‌های طولانی بدون جواب باقی ماند. ستاره شناسان به دو دسته تقسیم می‌شدند: کسانی که معتقد بودند سحابی در کهکشان خودی است، و گروهی که آن‌ها را کهکشان‌های دیگری در نظر داشتند که در جهانی بسیار بزرگتر از کهکشان ما گسترده شده است. این منازعات که تا سال ۱۹۲۴ ادامه داشت، توسط ادوین هابل ستاره شناس آمریکایی، پایان یافت. وی کاربرد مناسبی برای کار هنریتا لویت یافت که کمی پیش از آن راهی برای اندازه‌گیری فاصله نوع خاصی از ستاره‌ها به نام *متغیرهای قیفاووسی* یافته بود. با استفاده از قدرتمندترین ابزار نجومی در دسترس آن زمان، تلسکوپ ۱۰۰ اینچی مونت ویلسون در کالیفرنیا، هابل توانست فاصله‌ی یکی از درخشان‌ترین سحابی‌ها: M31^۱ در آندرومدا که با چشم غیر مسلح در یک شب بدون ابر قابل رؤیت است را اندازه‌گیری کند. هابل نشان داد که M31 حدود ۹۰۰ سال نوری از زمین فاصله دارد. فاصله‌ای که بسیار بزرگتر از اندازه راه شیری است. (امروزه می‌دانیم که فاصله M31 حتی بیش از آن چیزی است که هابل تخمین زد، فاصله‌ای در حدود بیش از دو میلیون سال نوری.) با این فاصله مشخص شده، M31 فقط در صورتی قابل دیدن است که شامل تعداد بسیار زیادی ستاره باشد، که قابل مقایسه با تعداد ستاره‌های راه شیری هستند. M31 بدون تردید یک کهکشان دیگر است. یافته‌های هابل یک‌بارہ جهان را وسعت زیادی بخشید،

۱. کهکشانی مارپیچی در صورت فلکی آندرومدا است که حدود ۲/۵ سال نوری از راه شیری فاصله دارد و نزدیک‌ترین کهکشان مارپیچی به ما است.

بسیار بزرگ‌تر از آنچه با دلایل انتظار می‌رفت. گستره بسیار وحشتناکی از فضا. این نتیجه فوق العاده که منجر به حل مباحثات طولانی مدتی شد، هابل را بسیار مشهور کرد؛ اما او آرام ننشست. وی با کمک دستیارش میلتون هوماسون (که با سرایداری در مونت ویلسون شروع کرده و خیلی زود به یکی از دقیق‌ترین و ماهرترین رصدگران عصر خود بدل شد) تصمیم به اندازه‌گیری فاصله سحابی‌های دیگر گرفت، و ثابت کرد که آن‌ها کهکشانشان را از هم جدا می‌کنند. در ۱۹۲۹ بعد از آنکه آن‌ها بیش از ده‌ها کهکشان را رصد کرده و مورد بررسی قرار داده بودند، هابل و هوماسون نتیجه دیگری را اعلام نمودند که بسیار مهیج‌تر از اولی بود. آن‌ها نه تنها قادر به تعیین فاصله کهکشانشان بودند، بلکه سرعت آن‌ها را هم تعیین می‌کردند. به طور میانگین انتظار می‌رفت هر کهکشان با سرعتی تصادفی، بدون هیچ رابطه‌ای با سرعت دیگر کهکشانشان، در حال حرکت باشد. اما هابل نشان داد که به نظر می‌رسد همه کهکشانشان در حال دور شدن از راه شیری هستند. نتیجه مشابهی چند سال قبل توسط وستو اسلیفر / اسلایفر بدست آمده بود اما هابل داده‌های دقیق‌تر و بیشتری برای اثبات این یافته در اختیار داشت. چیزهای عجیب‌تری هم در راه بود وقتی که هابل تصمیم گرفت سرعت‌ها و فاصله‌های کهکشانشان را در یک نمودار، به تصویر بکشد (شکل ۱.۱). طبق داده‌های هابل، دو کمیت با یکدیگر تقریباً رابطه خطی داشتند. به عبارت دیگر به نظر می‌رسید که کهکشانشان دورتر با سرعت بیشتری از راه شیری دور می‌شوند. کهکشانی با فاصله دو برابر بیشتر از راه شیری نسبت به کهکشان دیگر با سرعت دو برابر دور می‌شد. این حقیقت که در داده‌های اولیه هابل، آشکار نبود، بعداً در سال ۱۹۳۱ با مشاهدات بیشتر و دقیق‌تری اثبات شد. بعدها این حرکت دور شونده از یکدیگر همه کهکشانشان، بارها و بارها با رصدهای بسیاری اثبات شد و به عنوان یکی از پایه‌های کیهان‌شناسی مدرن در نظر گرفته شد. قانون رابطه بین سرعت کهکشانشان و فاصله آن‌ها که به احترام یافته‌های هابل، *قانون هابل* نامیده می‌شود.

۱. حقیقت امر این است که در طبیعت سحابی‌هایی وجود دارند که متعلق به کهکشان خودی یعنی راه شیری هستند: آن‌ها با دیگر کهکشانشان کاری ندارند و در واقع ابرهایی از ماده میان ستاره‌ای هستند. ما همچنان آن‌ها را سحابی می‌نامیم.