ماده و انرژی تاریک

تألیف و ترجمه:
محمدرضا خوش‌بین‌خوش‌نظر
کارشناس گروه فیزیک
دفتر برنامه‌ریزی و تألیف کتب درسی

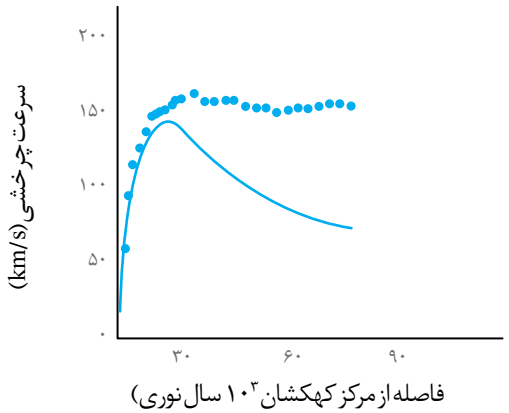
مقدمه

گرچه ماده و انرژی تاریک[1] ارتباطی مفهومی با یکدیگر ندارند، اما همواره در مباحث کیهان‌شناسی به‌عنوان دو معضل مهم که هنوز پاسخی برای آن‌ها پیدا نشده است در پی یکدیگر می‌آیند. از این‌رو در این مقاله کوشش شده است این دو مبحث به‌طور مجزا (و البته به اختصار) توضیح داده شود. پس از آن نیز گفت‌وگوهایی که در سال‌های اخیر با دو تن از متخصصان این حوزه‌ها انجام شده است، تقدیم خواهد شد.

کلیدواژه‌ها: مادهٔ تاریک، انرژی تاریک، اَبَرنواَختر، انبساط عالم، ذرات سنگین، برهم‌کنش کنندهٔ ضعیف، شتاب عالم

مادهٔ تاریک و سرعت چرخش ستارگان

گرچه برخی معتقدند این *فرتیز زوئیکی*[2] بود که برای نخستین‌بار در سال ۱۹۳۳ با نگاشتن مقاله‌ای وجود مادهٔ تاریک را پیشگویی کرد، اما از لحاظ تجربی دانشمندی به نام *ورا روبین*[3] و همکارش *کنت فورد*[4]، نخستین کسانی بودند که به‌وجود چنین مادهٔ ناشناخته‌ای پی بردند. آن‌ها در *رصدخانهٔ ملی کیت پیک*[5] واقع در آریزونا سرعت چرخش تعدادی از ستارگان دوردست را با اندازه‌گیری انتقال‌های دوپلری خوشه‌های تابناک ستارگانی که در داخل هر کهکشان در فاصله‌های مختلفی از مرکز آن‌ها قرار داشتند، اندازه گرفتند. همان‌طور که شکل ۱ نشان می‌دهد، نتایج کار آن‌ها واقعاً شگفت‌آور بود. آن‌ها دریافتند که سرعت چرخش مداری ستاره‌های واقع در بیرون لبهٔ مرئی هر کهکشان تقریباً با سرعت چرخش مداری ستاره‌های نزدیک به مرکز کهکشان یکسان است. در حالی که اگر یک کهکشان فقط جرم مرئی را در برداشته باشد، سرعت چرخش مشاهده شده باید طبق قانون دوم نیوتن که به $v = \sqrt{\frac{Gm}{r}}$



شکل ۱
سرعت چرخش ستارگان در یک کهکشان، برحسب تابعی از فاصلهٔ آن‌ها تا مرکز کهکشان. منحنی نقطه‌چین حاصل داده‌های تجربی است که نیمهٔ دوم آن منطبق بر منحنی توپُری نیست که از محاسبات نظری به دست می‌آمد.

می‌انجامد، با افزایش فاصله در مسافت‌های دور، افت می‌کرد. برای مثال در منظومهٔ شمسی خودمان، سرعت چرخش‌مداری پلاتو (دورترین سیاره از خورشید) حدود ۰/۱ سرعت‌مداری عطارد (نزدیک‌ترین سیاره به خورشید) است.

تنها توضیح برای یافته‌های روبین و فورد که بتواند با مکانیک نیوتنی سازگار باشد این است که یک کهکشانِ نوعی، حاوی ماده‌ای است بسیار بیشتر از آنچه که به ظاهر دیده می‌شود. درواقع بخش مرئی یک کهکشان فقط در حدود ۵ تا ۱۰ درصد جرم کل کهکشان است. بنابراین عالم مملو از ماده‌ای است که نمی‌توانیم آن را ببینیم و از این رو مادهٔ تاریک نامیده می‌شود. این نام‌گذاری بدان دلیل است که مادهٔ تاریک یا به کلی یا نوری گسیل نمی‌کند و یا گسیل نور آن، چنان ضعیف است که قابل آشکار کردن نیست. احتمالاً برخی از مواد طبیعی، مانند ستارگان سوخته و گازهای بین ستاره‌ای کم‌سو، بخشی از مادهٔ تاریک را تشکیل می‌دهند، ولی این فقط بخش کوچکی از کل مادهٔ تاریک است.

بخش عمدهٔ مادهٔ تاریک اصطلاحاً غیرباریونی است، یعنی شامل پروتون‌ها و نوترون‌ها نیست. یکی از کاندیداهای همیشگی مادهٔ تاریک نوترینوها بوده است. گرچه جرم نوترینوها نسبت به جرم پروتون یا نوترون بسیار کوچک است، ولی با توجه به تعداد فوق‌العاده زیاد نوترینوها در یک کهکشان، جرم کل آن‌ها بزرگ است. با این همه، محاسبه‌ها نشان داده‌اند که حتی جرم کل نوترینوها هم برای توضیح جرم کل مادهٔ غیرباریونی کافی نیست. بنابراین سایر ذره‌هایی که مادهٔ تاریک را تشکیل می‌دهند هنوز آشکارناپذیرند و سرشت آن‌ها هنوز ناشناخته است.

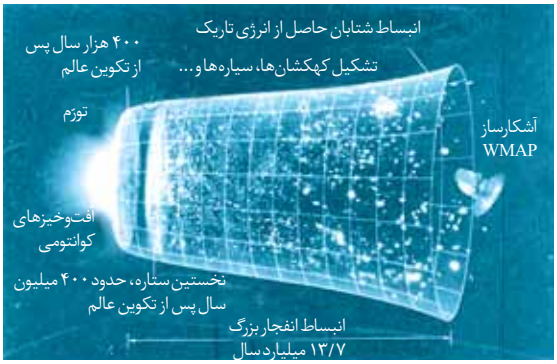
النا آپریل[6] یکی از کوشندگان اصلیِ کشف این ذرات است؛ ذراتی که به‌دلیل برهم‌کنش بسیار ضعیفشان با سایر مواد اصطلاحاً WIMP[7] خوانده می‌شوند (واژه‌ای که مخفف عبارتی انگلیسی به معنای ذرات سنگین برهم‌کنش‌کنندهٔ ضعیف است). آپریل سرپرست گروهی تحقیقاتی به نام *گزنون*[8] است، که درواقع آزمایشگاهی برای کشف WIMPها در اعماق ۵۰۰۰ فوتی زیرزمین در جایی در ایتالیاست. در ادامه، ترجمهٔ مصاحبه‌ای که اخیراً با وی انجام شده است، خواهد آمد.

انرژی تاریک و انبساط سریع عالم

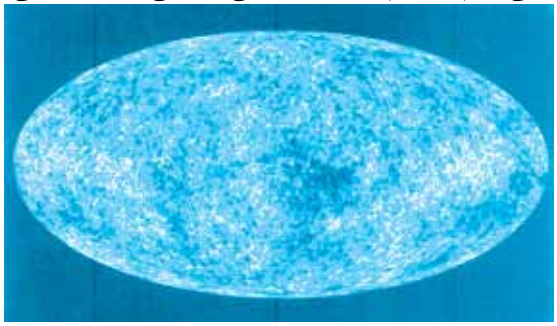
می‌دانیم که جرم موجب خمیدگی فضا می‌شود و از طرفی، چون طبق معادلهٔ انیشتین، جرم و انرژی هم‌ارزند، می‌توانیم این عبارت را تعمیم بخشیم و بگوییم که انرژی موجب خمیدگی فضا می‌شود. این امر به یقین برای فضای اطراف یک سیاه‌چاله و به‌گونه‌ای ضعیف‌تر برای اطراف هر جسم نجومی دیگر رخ می‌دهد. ولی آیا فضای کل عالم نیز بر اثر انرژی موجود در آن خمیده می‌شود؟ این پرسش نخستین‌بار به کمک اندازه‌گیری‌های ماهوارهٔ کاوشگر زمینهٔ کیهانی (COBE)[9] در سال ۱۹۹۲ و سپس به‌طور دقیق‌تر با اندازه‌گیری‌های کاوهٔ ناهمسانگردی میکروموج ویلکینسون (WMAP)[10] در سال ۲۰۰۳ پاسخ داده شد که تصویر ۲ مربوط به آن است.

لکه‌هایی که در این تصویر می‌بینیم ناشی از مجموعه‌ای اتم‌هاست که همان چشمه‌های اولیهٔ تابش زمینهٔ کیهانی هستند. تابش زمینهٔ کیهانی در واقع نوری است که از زمان کوتاهی پس از آغاز عالم (۳۷۹۰۰۰ سال پس از تکوین عالم) نشئت گرفته است. در واقع در این زمان دمای عالم به حدی کم شده بود که الکترون‌ها می‌توانستند به هسته‌ها بچسبند و اتم‌ها را تشکیل دهند. وقتی عالم جوان‌تر بود، اتم‌ها هنوز تشکیل نشده بودند و نور نمی‌توانست مسافت قابل توجهی را بپیماید، بی‌آنکه به وسیلهٔ ذره‌های واقع در مسیر خود پراکنده نشود. بنابراین نور در جهت‌های مختلفی پراکنده می‌شد و اگر مثلاً نور از نقطهٔ A شروع کرده بود، نمی‌توانستید در هنگام دریافت بخشی از نور با قطعیت بگویید که آن پرتو از A نشأت گرفته است. ولی پس از آنکه ذره‌ها شروع به تشکیل اتم‌ها کردند، نور با توجه به اینکه با اتم‌های خنثی برهم‌کنش قابل توجهی ندارد، می‌توانست تا فاصله‌های زیاد حرکت کند. آن‌گاه یک پرتوی نور تابشی از نقطهٔ A می‌توانست برای میلیون‌ها سال حرکت کند، بی‌آنکه پراکنده شود. این نور، همان تابش کیهانی است.

حال پرسشی که باقی می‌ماند این است که آیا می‌توانیم از این تابش برای تمیز دادن نقطه‌هایی استفاده کنیم که تابش از آن‌ها نشئت گرفته است و آن‌گاه تصویری از عالم قدیمی بسازیم، در زمانی که اتم‌ها برای نخستین‌بار تشکیل شدند و پراکندگی نور متوقف شد؟ پاسخ مثبت است و تصویر ۲ همان تصویر است. همان‌طور که گفتیم لکه‌های این تصویر، همان چشمه‌های اولیهٔ تابش زمینهٔ کیهانی هستند و توزیع زاویه‌ای این لکه‌ها،



شکل ۳ تصویری نمایشی از انبساط عالم از اُفت و خیزهای کوانتومی در $t=0$ تا وضعیت کنونی در $۱۳/۷\times۱۰^{۹}$ سال پس از آن. توجه کنید که این فقط یک نمایش است و در واقع عالم لبه‌ای خارجی ندارد.



شکل ۲ این تصویر رمزینه شدهٔ رنگی در واقع عکسی از عالم به هنگامی است که فقط ۳۷۹۰۰۰ سال عمر داشت. این تصویر، آن چیزی است که اگر در آن هنگام به همهٔ جهت‌ها می‌نگریستند، مشاهده می‌کردید.

خمیدگی عالم را در مسیری که نور باید بپیماید تا به ما برسد، نشان می‌دهد.

تحلیل توزیع این لکه‌ها نشان داده است که عالم، تخت (بدون خمیدگی) است. در حالی‌که پس از زمان $t=10^{-34}$ s از تکوین عالم، چنان جرم عظیمی گرد آمده بود که باید موجب چیرگی گرانش می‌شد. پس در واقع باید انرژی‌ای در برابر گرانش وجود می‌داشت که باعث ادامهٔ انبساط عالم می‌شد. شکل ۳ نمایشی فرضی از گسترش عالم تاکنون را نشان می‌دهد.

این موضوع، مسئلهٔ بسیار دشواری را پیش روی فیزیک‌دانان قرار می‌دهد، زیرا لازمهٔ آن وجود تعداد معینی از انرژی (به‌صورت جرم یا صورتی دیگر) است. مشکل از آنجا ناشی می‌شود که همهٔ برآوردها از مقدار انرژی موجود در عالم (هم به شکل‌های شناخته شده و هم به شکل نوع ناشناختهٔ مادهٔ تاریک) به میزان فاحشی از این مقدار مورد نیاز، کمتر است. در واقع حدود $\frac{2}{3}$ از این انرژی مورد نیاز گم شده است.

مهم‌ترین نظریه‌ای که برای این انرژی گم‌شده ارائه شده است، انرژی تاریک خوانده می‌شود. همان‌طور که گفتیم این انرژی به گونه‌ای است که با گرانش مخالفت می‌کند و موجب انبساط عالم می‌شود تا سال ۱۹۹۸ پاسخ به اینکه آیا این انبساط واقعاً سریع بوده است بسیار دشوار بود، زیرا لازمهٔ آن اندازه‌گیری مسافت‌های اجسام نجومی بسیار دور، در جایی است که انبساط سریع ممکن است رخ داده باشد.

در سال ۱۹۹۸ پیشرفت‌های فناوری نجومی اخترشناسان را قادر ساخت تا نوع معینی از اَبَرنواَخترها موسوم به نوع Ia را در فاصله‌های بسیار دور آشکار کنند. مهم‌تر آنکه اخترشناسان توانستند مدت انفجار نور از چنین اَبَرنواَخترهایی را اندازه‌گیری کنند. در طی این مدت، تابناکی اَبَرنواَخترها توسط ناظری بر روی زمین آشکار می‌شود با اندازه‌گیری مدت تابناکی اَبَرنواَخترها، اخترشناسان توانستند فاصلهٔ آن اَبَرنواَختر را تعیین کنند. با توجه به انتقال به سرخ نور حاصل از کهکشانی که آن اَبَرنواَختر را شامل می‌شود، اخترشناسان توانستند تعیین کنند که آن کهکشان با چه سرعتی از ما دور می‌شود. از ترکیب همهٔ این اطلاعات، آن‌ها توانستند آهنگ انبساط عالم را تعیین کنند.

نتیجه، تأییدی بر نظریهٔ انرژی تاریک بود و اینکه انبساط عالم واقعاً سریع است، ولی هنوز نشانه‌ای از اینکه این انرژی تاریک چیست، نداریم. در انتهای مقاله، ترجمهٔ مصاحبه‌ای با *سول پرلماتر*، یکی از کوشندگان این نظریه خواهد آمد.

***

گفت‌وگو با اِلنا آپریل

النا آپریل لیسانس فیزیک خود را در سال ۱۹۷۷ از دانشگاه ناپل ایتالیا و دکترای خود را در سال ۱۹۸۳ از دانشگاه ژنو سوئیس گرفت. او هم‌اکنون سرپرست گروه تحقیقاتی گزنون در ایتالیا و استاد دانشگاه معتبر کلمبیا در ایالات متحدهٔ آمریکاست.

در جست‌وجوی تاریکی

*** واقعاً مادهٔ تاریک چیست؟**

* بهترین پاسخ این است که هیچ نظری نداریم؛ فقط می‌دانیم که وجود دارد. بیش از ۷۰ سال است که آن را می‌شناسیم. *فریتزوئیکی*، اخترشناس سوئیسی در مقاله‌ای به سال ۱۹۳۳ نشان می‌دهد که مادهٔ مرئی تنها کسر کوچکی از عالم را تشکیل داده است. فقط ۱۸ درصد مواد عالم از ماده‌ای است که می‌شناسیم. بقیهٔ ۸۲ درصد چیزی است که مادهٔ تاریک خوانده می‌شود سایر کشفیات در اخترشناسی بر این نظر صحه گذاشته‌اند که چیزی گم شده است. می‌دانیم مادهٔ تاریک وجود دارد، ولی تنها از روی اثرهای گرانشی آن. برای مثال، وجود مادهٔ تاریک به ما در توضیح اینکه چرا کهکشان‌ها پایدارند، کمک می‌کند. کهکشان راه شیری قرصی است که مثل یک چرخ و فلک افقی می‌چرخد. پرسش این است که چه عاملی مانع از هم‌پاشی آن می‌شود؟ البته گرانی، اما مادهٔ مرئی موجود در کهکشان آن‌قدر نیست که مقدار گرانی مورد نیاز برای در کنار هم نگه داشتن همهٔ سیاره‌ها و ستاره‌های این کهکشان را تأمین کند. به همین دلیل است که معتقدیم باید مادهٔ دیگری وجود داشته باشد که نمی‌توانیم آن را ببینیم.

*** مادهٔ تاریک از چه تشکیل شده است؟**

* فکر می‌کنیم از نوعی ذره ساخته شده است که اغلب تمایلی برای برهم‌کنش با مادهٔ معمولی [پروتون‌ها، نوترون‌ها و سایر انواع ذرات] ندارد و خیلی سنگین است؛ شاید به سنگینی یک اتم سرب یا حتی سنگین‌تر. احتمالاً ذره‌ای است خیلی قدیمی که از انفجار بزرگ (مه بانگ) بر جای مانده است؛ عضوی از خانواده‌ای از ذرات که ذرات سنگین برهم‌کنش‌کنندهٔ ضعیف (WIMP) خوانده می‌شوند.

*** چطور می‌دانیم که مادهٔ تاریک از نوع جدیدی ذره ساخته شده است؟**

* شاید واقعاً در اشتباه باشیم که می‌اندیشیم مادهٔ تاریک از ذره‌ای جدید ساخته شده است. مدل استاندارد فیزیک ذرات که فیزیک‌دانان معتقدند عالم بر مبنای آن کار می‌کنند، نقایصی دارد. خیلی از چیزها و خیلی از داده‌های آن با هم نمی‌خوانند. نظریه‌هایی مانند اَبَرتقارن و ابعاد اضافی برای توضیح چیزهایی ارائه شده‌اند که یا در مدل استاندارد یافت

نمی‌شوند یا با داده‌هایی که به‌دست آورده‌ایم، نمی‌خوانند. برخی ذرات پیشگویی شده در این نظریه‌ها کاندیداهای بالقوه‌ای برای مادهٔ تاریک هستند، زیرا همهٔ مشخصه‌های لازم را دارند. برای مثال، ذره‌ای به نام نوترالینو[11] نوعی از WIMP است که کاندیدای مناسبی برای مادهٔ تاریک به‌حساب می‌آید، زیرا با ذرات دیگر برهم‌کنش زیادی انجام نمی‌دهد. این پدیده توضیح می‌دهد که چرا هیچ‌کس آن را آشکار نساخته است.

❊ اگر WIMP ها با ذرات دیگر برهم‌کنش چندانی ندارند، پس چگونه می‌توان آن‌ها را یافت؟

❊ راهی که برای این تحقیق در پیش گرفته‌ایم، انتظار برای ذره‌ای از مادهٔ تاریک است تا با وسیلهٔ ما برهم‌کنش کند. این وسیله ظرفی بزرگ از مایع گزنون است [عنصری که به شکل گازی در چراغ‌های جلوی بسیار تابان بسیاری از اتومبیل‌های جدید استفاده می‌شود] که بین دو آشکارساز ساندویچ شده است. ما از گزنون به این دلیل استفاده می‌کنیم که یکی از سنگین‌ترین عناصر است، یعنی هر اتم آن شامل تعداد زیادی پروتون و نوترون است که احتمال برهم‌کنش مادهٔ تاریک با آن را افزایش می‌دهد.

هرگاه چنین شود، یعنی هر گاه یک WIMP در آنجا به دام افتد، گزنون ویژگی‌های جالب توجهی از خود بروز می‌دهد و درخش یا جرقه‌ای از نور فرابنش ساطع خواهد شد. شما آن را با چشم غیرمسلح نخواهید دید. بنابراین برای آشکار ساختن این نور، ما ۱۷۸ دوربین فوق‌العاده حساس تک‌پیکسلی موسوم به فوتومولتی‌پلیر[12] را در بالا و پایین این آشکارساز گزنونی نصب کرده‌ایم.

ما همچنین در پی سیگنالی یونشی هستیم. اگر یک ذرهٔ مادهٔ تاریک بر یک اتم گزنون سایش یابد، الکترون‌ها جدا می‌شوند و یک [جریان] بار تولید می‌شود. این الکترون‌ها از طریق گزنون مایع به سمت آند [پایانهٔ الکتریکی] که باردار مثبت است سوق می‌یابند و این جرقه نور دیگری را ایجاد می‌کند که دوربین‌ها آن را آشکار خواهند ساخت.

❊ و آن سیگنال خبر از آن می‌دهد که بالاخره یک WIMP تماس پیدا کرده است؟

❊ خب، ما می‌توانیم اطلاعات ارزشمندی از این دو سیگنال حاصل کنیم، که از آن جمله سرعت ذره، محل برهم‌کنش و نوع ذره‌ای است که تماس پیدا کرده است؛ یک الکترون، یک نوترون، یا مادهٔ تاریک. هرچه ذره با ملایمت بیشتری با گزنون تماس پیدا کند، احتمال اینکه یک WIMP باشد بیشتر است.

❊ چقدر به کشف مادهٔ تاریک نزدیک شده‌ایم؟ آیا دیگران موفقیت‌هایی داشته‌اند یا ممکن است به دستاوردی برسند؟

❊ در دسامبر ۲۰۱۰ خبرهایی از گروه تحقیقاتی دیگری به نام CDMS[13] رسید که مادهٔ تاریک را در معدنی واقع در مینسوتا کشف کرده‌اند، ولی آن‌ها سیگنال بسیار ضعیفی را دریافت کرده بودند. آن‌ها دو رویداد را ثبت کردند که نمی‌شود کاملاً به‌عنوان نوفهٔ [نویز] زمینه توضیح داده شوند. یکی از آن دو بسیار به آستانهٔ نوفه نزدیک است. این، آشکارسازی مادهٔ تاریک نیست و خودِ گروه هم این ادعا را نکرده است، بلکه سرنخی از یک کشف است. خبرهای هیجان‌انگیز فراوانی بوده که بعدها ادامه نیافته است.

در مورد گروه خود ما، ما از چند ماه پیش تاکنون داده‌هایی را جمع‌آوری کرده‌ایم و به این کار ادامه خواهیم داد. آشکارساز پرقدرت ما کمترین نوفهٔ زمینه‌ای را دارد که تاکنون با هر آشکارساز مادهٔ تاریکی اندازه گرفته شده است و بزرگ‌ترین آشکارساز در حال کار است. اگر سیگنالی که CDMS یافته است واقعاً از مادهٔ تاریک باشد، ما به آسانی می‌توانیم آن را تأیید کنیم. در همین زمان، فیزیک‌دانان ذرات، با برخورددهندهٔ بزرگ هادرونی (LHC) واقع در ژنو در پی مادهٔ تاریک هستند. ما امیدواریم آن‌ها بتوانند چیزهای بیشتری دربارهٔ این ذرات در چند سال آینده بگویند.

❊ جست‌وجوی چیزی که ممکن است هرگز نیابید، به چه می‌ماند؟

❊ احساس بسیار جالبی است و تقریباً مثل یک وظیفه می‌ماند. این حقیقت که نمی‌دانیم آیا مادهٔ تاریک را کشف می‌کنیم یا نه، مانع از لزوم تلاش ما نمی‌شود. فیزیک‌دان ایتالیایی *کارلو رابیا*[14] که استاد پایان‌نامهٔ دکترای من در دانشگاه ژنو بود، به‌تازگی در کنفرانس راجع به مادهٔ تاریک گفته‌ای از گالیله را نقل کرده است: «Provando et reprovando»، یعنی «سعی کن و دوباره سعی کن». این مبنای علوم آزمایشگاهی است. ما باید برای یافتن حقیقت سعی کنیم و دوباره سعی کنیم. اگر به این دلیل بازایستیم که هیچ تضمینی برای یافتن چیزی وجود ندارد، آن‌گاه دیگر هیچ چیز نخواهیم یافت. درواقع، به زبان مادهٔ تاریک، نیافتن هیچ چیز اهمیتی فوق‌العاده دارد، زیرا به ما دریافتن مسیرهای تازه‌ای برای کشف کمک می‌کند. ما باید با بهترین ابزاری که در اختیار داریم به جست‌وجوی خود ادامه دهیم.

مرجع

Discover, Pub lished online November 17, 2010.

***

گفت‌وگو با سول پرلماتر

سول پرلماتر در سال ۱۹۵۹ در کمپین اوربانای ایالت ایلنوی آمریکا در خانواده‌ای یهودی به دنیا آمد. لیسانس خود را در سال ۱۹۸۱ از دانشگاه هاروارد و دکترای خود را در سال ۱۹۸۶ از دانشگاه برکلی[15] گرفت. او هم‌اکنون استاد دانشگاه برکلی و عضو ارشد آزمایشگاه لاورنس برکلی و سرپرست پروژهٔ کیهان‌شناسی اَبَرنواَختری است. پرلماتر جوایز متعددی را کسب کرده که آخرین و معتبرترین آن‌ها نوبل فیزیک سال ۲۰۱۱ بوده است.

فضا بزرگ‌تر و بزرگ‌تر می‌شود

❋ انگیزهٔ اصلی دانشمندان، در ورای تحقیقی که به کشف انرژی تاریک در سال ۱۹۹۸ انجامید، چه بود؟

❋ در دههٔ ۲۰، *ادوین هابل*[۱۶] نشان داد که عالم در حال انبساط است. اما بی‌درنگ پرسش‌های دیگری مطرح شد: آیا این انبساط همیشگی است؟ آیا ممکن است پایان گیرد؟ شاید هم سوی آن برگردد و عالم سرانجام متلاشی شود. از کجا معلوم که عالم تا همیشه وجود خواهد داشت؟ این‌ها پرسش‌هایی بدیهی است که می‌خواهید پاسخ‌شان را بدانید، وقتی می‌گویند شما در عالمی متغیر و در حال انبساط زندگی می‌کنید. راه پاسخ‌گویی به این پرسش‌ها دربارهٔ فرجام عالم، چشم دوختن به گذشته است.

❋ چگونه مسئلهٔ پیچیده‌ای همچون تاریخچهٔ انبساط عالم را بررسی می‌کنید؟

❋ ایدهٔ اصلی آن است که هرچه به مسافت‌های دورتر و دورتر چشم بدوزید، دارید به زمان‌های دورتر و دورتر نگاه می‌کنید. مقالاتی بسیار قدیمی از دههٔ ۳۰ وجود دارد که در آن‌ها پیشنهاد شده است انبساط عالم با استفاده از اَبَرنواَخترها (ستارگان در حال انفجاری که تابناکی بسیاری دارند) اندازه‌گیری شود، زیرا به نظر می‌رسید که میزان تابناکی آن‌ها یکنواخت می‌ماند.

اگر هر اَبَرنواَختر، تابناکی تقریباً یکنواختی داشته باشد، آن‌گاه شما می‌توانید با استفاده از تابناکی رصد شدهٔ آن‌ها در زمین، فاصله‌شان را اندازه بگیرید. اما با نگاه بیشتر به اَبَرنواَخترها گسترهٔ تغییری در تابناکی آن‌ها مشاهده شد و آن یکنواختی از بین رفت، تا اینکه در دههٔ ۸۰ دانشمندان دریافتند اَبَرنواَخترها زیرگروه‌هایی دارند و یکی از آن‌ها موسوم به نوع Ia تابناکی بسیار پایداری از خود نشان می‌دهد. خوشبختانه این نوع، روشن‌ترین آن‌ها نیز هست و بنابراین همان است که با آن می‌توانید تا دوردست‌ترین نقاط عالم بروید.

❋ چگونه چنین اَبَرنواَخترهایی نحوهٔ انبساط عالم را مشخص می‌کنند؟

❋ ما از اَبَرنواَخترهای نوع Ia به‌عنوان شاخص‌های فاصلهٔ خود استفاده می‌کنیم. بنابراین شما می‌خواهید بدانید پس از هر انفجاری که رخ داده عالم چقدر انبساط یافته است. راه مناسبی برای آن وجود دارد. این اَبَرنواَخترها تقریباً همهٔ نور خود را در طول موج آبی معینی گسیل می‌دارند. اما با حرکت نور آبی، این نور نیز درست مانند انبساط عالم، کشیده می‌شود و بنابراین هنگامی که به شما می‌رسد، قرمز [با طول موجی بلندتر] به‌نظر خواهد رسید.

چگونه قرمز شدنِ نور دقیقاً به شما می‌گوید عالم از لحظهٔ انفجار اَبَرنواَختر چطور انبساط یافته است؟ با نگاه کردن به اَبَرنواَخترهای مختلف، شما باید بتوانید تعیین کنید که عالم از لحظهٔ آن انفجار به بعد، مثلاً پنج میلیارد، سه میلیارد و سپس یک میلیارد سال پیش چقدر انبساط یافته و از آنجا درخواهید یافت که عالم چگونه در کل زمان تغییر کرده است. انتظار می‌رفت که با گذشت زمان، انبساط عالم بر اثر جاذبهٔ گرانشی همهٔ جرم‌های موجود در آن کُند شود، ولی ما دریافتیم که سرعت انبساط عالم افزایش می‌یابد.

❋ چرا این موضوع که عالم سریع‌تر و سریع‌تر می‌شود، این‌قدر مهم است؟

❋ این نشان می‌دهد که سرگذشت عالم حکایتی نبوده است که در آن فقط یک پارامتر نقش داشته باشد. جرم به تنهایی نمی‌توانست باعث تغییر انبساط عالم شود؛ تنها کاری که جرم می‌توانست انجام دهد کُند کردن سرعت انبساط بود. بنابراین، بی‌درنگ دریافتیم که باید چیز دیگری نیز در میان باشد و به این نتیجه رسیدیم که بیشتر جرم عالم به شکل نوعی انرژی در خلأ است که ویژگی دافعهٔ عجیبی دارد. این انرژی باعث شتاب گرفتن انبساط عالم و افزایش سرعت آن می‌شود. ما واقعاً ماهیت آن را نمی‌دانیم، ولی امروزه از آن با واژهٔ انرژی تاریک یاد می‌شود تا راز و رمز آن را نشان دهد.

❋ آیا لحظه‌ای وجود داشت که مفاهیم عظیم و شگفت‌آور تحقیقتان شما را تحت تأثیر قرار دهد؟

❋ خب، کمی خنده‌دار است. این باید کندترین احساس پیروزی در تاریخ باشد؛ احساسی که در طول چندین ماه گسترش یافت. دلیل آن این است که پیش از رسیدن به آن نقطهٔ زیبای پایانی، تحلیل‌های عددی بسیار پیچیده‌ای انجام شد و برای سنجش آن داده‌ها و سر و سامان بخشیدن به آن‌ها باید مراحل زیادی صورت می‌گرفت. از سوی دیگر، باید به لحظه‌ای اشاره کنم که برای نخستین‌بار داده‌هایم را در یک سخنرانی ارائه کردم. پس از سخنرانی، یک کیهان‌شناس مشهور به نام جول پریماک[۱۷] بلند شد و گفت فقط می‌خواهد به فیزیک‌دانان شرکت‌کننده در جلسه این نکته را خاطرنشان سازد که نتیجهٔ تحقیقات پرلماتر دستاوردی خیره‌کننده و کاملاً بُهت‌آور است. به گمانم در آن لحظه احساس سرمستی فوق‌العاده‌ای کردم. لحظه‌ای واقعاً تکان‌دهنده بود.

تنها توضیح برای یافته‌های روبین و فورد که بتواند با مکانیک نیوتنی سازگار باشد این است که یک کهکشان نوعی، حاوی ماده‌ای است بسیار بیشتر از آنچه به ظاهر دیده می‌شود، درواقع بخش مرئی یک کهکشان فقط در حدود ۵ تا ۱۰ درصد جرم کل کهکشان است. بنابراین عالم مملو از ماده‌ای است که نمی‌توانیم آن را ببینیم و از این رو مادهٔ تاریک نامیده می‌شود

❋ دانشمندان اکنون چگونه در پی توضیح انرژی تاریک هستند؟

❋ اینشتین در ابتدا جمله‌ای موسوم به لاندا (Λ) را در معادلهٔ نسبیّت عام خود گذاشت تا با آثار گرانشی مقابله کند و عالمی ایستا را به‌وجود آورد. کشف ادوین هابل دربارهٔ انبساط عالم، انیشتین را متقاعد ساخت که حضور لاندا غیرضروری است. اما چندی بعد دانشمندان دریافتند که در مکانیک کوانتومی لاندا را می‌توان به‌آسانی با آثار ذراتی که به‌طور خودبه‌خود در کل فضای تهی ظاهر و ناپدید می‌شوند، یکی پنداشت. آن‌ها ذرات مجازی خوانده می‌شوند و انرژی وابسته به فعالیت زمینهٔ خلق و نابودی ثابت آن‌ها ما را به درک منبع انرژی رانشی خلأ رهنمون می‌سازد. متأسفانه اگر شما محاسبات لازم برای مقدار این انرژی را انجام دهید به تفاوتی از مرتبهٔ 10^{120} (۱ با ۱۲۰ تا صفر در جلوی آن) می‌رسید. وقتی اختلاف پاسخ شما چنین زیاد است با مسئلهٔ بزرگی مواجهید. بنابراین فرض می‌شود که باید چیز کاملی از قلم افتاده باشد که این اختلاف را برابر صفر می‌کند. اما اکنون می‌دانیم که پاسخ دقیقاً برابر صفر نیست. به گمانم نظریه‌پردازان فیزیک ذرات قبول دارند که ما به توضیحات جدیدی نیاز داریم.

❋ مثلاً چه توضیحاتی؟

❋ یک توضیح این است که انرژی تاریک میدانی نرده‌ای است که ویژگی‌های آن در هر نقطه از فضا، از مقداری به مقدار دیگر تغییر می‌کند. مادامی که چنین تغییری داریم، اثر انرژی تاریک برای شتاب دادن عالم کافی است، یا شاید معادلات نسبیت عالم انیشتین کاملاً درست نیست و باید آن‌ها را کمی اصلاح کنیم. توضیح جالب دیگر در مورد احتمال وجود ابعاد اضافی است و اینکه گرانی ممکن است به این ابعاد اضافی نامرئی درز کند. در ۱۰ سال اخیر، هفته‌ای دو یا سه مقاله در مورد توضیح انرژی تاریک چاپ شده است. ولی اگر از این نظریه‌پردازان بپرسید که آیا به مدل خود باور دارند، حدس می‌زنم که تقریباً همهٔ آن‌ها پاسخ دهند: «نه، من صرفاً در پی ایده‌های متفاوت هستم و امیدوارم که بتوانیم به سرنخ‌هایی برسم.» بنابراین آن‌ها برای داده‌های بیشتر دوباره رو به سمت ما آزمایشگران می‌آورند.

❋ چطور می‌توانیم دربارهٔ سرشت انرژی تاریک بیشتر بدانیم؟

❋ یک مثال خوب Nearby Supernova Factory است؛ آزمایشی که بیش از ۵۰۰ نوع اَبَرنواَختر نوع Ia را برای کمک به کشف سرشت انرژی تاریک یافته است. من همچنین در طرح Joint Dark Energy Mission مشارکت دارم که در ناسا و دپارتمان انرژی ایالات متحده راه افتاده است. برنامه، پرتاب یک ماهواره به فضا برای جست‌وجوی اَبَرنواَخترها و نیز یافتن تکنیک‌های دیگر برای کشف نفوذ انرژی تاریک است. اگر بتوانیم پروژه‌ای واقعاً خوب را به انجام برسانیم، من کاملاً خوش‌بینم که نظریه‌پردازها بتوانند لحظهٔ شگفت‌انگیز دیگری را برای ما رقم بزنند که سال‌هاست منتظر آنیم.

همهٔ چیزی که می‌خواهیم یافتن سرنخ‌هایی است که دانشمندان را در مسیر درستی قرار دهد. به گمان من نظریه‌پردازان بسیار خلاق‌اند و خواهند توانست این مهم را به انجام برسانند، اما در حال حاضر برای انرژی تاریک گسترهٔ بسیار وسیعی از گزینه‌ها وجود دارد. انرژی تاریک می‌تواند هر چیزی باشد.

بخش عمدهٔ مادهٔ تاریک اصطلاحاً غیرباریونی است، یعنی شامل پروتون‌ها و نوترون‌ها نیست

❋ انبساط عالم و در نتیجه نفوذ انرژی تاریک از لحظهٔ انفجار بزرگ (مِه بانگ) چگونه تغییر یافته است؟

❋ برای کیهان‌شناسان لحظهٔ جالبی در جهان بسیار بسیار اولیه وجود دارد (تقریباً 10^{-35} ثانیه پس از انفجار بزرگ) که دورهٔ تورمی خوانده می‌شود. تورم، دورهٔ دیگری از شتاب عالم بوده است و ما دلیل آن شتاب را نیز نمی‌دانیم. ممکن است نوع دیگری از انرژی تاریک پیش از آن لحظه وجود داشته است.

پس از تورّم، چنان جرم زیادی گرد هم وجود داشت که باعث چیرگی گرانی و کُند شدن انبساط عالم شد. این وضعیت تا حدود نصف عمر [فعلی] عالم طول کشید. این پدیده حدود ۷ میلیارد سال پیش از زمانی بود که عالم به نقطه‌ای انبساط یافت که در آن مواد چنان پراکنده بودند که دیگر نمی‌توانستند کُند شدن انبساط عالم را حفظ کنند. در این زمان، قدرت انرژی تاریک محسوس شد و عالم دوباره شتاب گرفت.

❋ این کشف برای سرنوشت عالم به چه معناست؟ آیا هیچ‌وقت انرژی تاریک بازخواهد ایستاد؟

❋ خب، شما می‌توانید راهی ساده پیش بگیرید و بگویید چون اکنون عالم شتابان است، بدان معناست که برای همیشه نیز شتاب خواهد گرفت که این به پایانی بسیار تاریک، تهی و سرد می‌انجامد. این، همهٔ آن چیزی است که در انتظار ماست. ولی باید خاطرنشان سازم که ما نمی‌دانیم چه چیزی باعث شتاب کنونی عالم شده است و نیز نمی‌دانیم چه عاملی باعث شتاب عالم در دورهٔ تورمی خود در جهان بسیار اولیه شد. این تورم روی برگرداند، بازایستاد و عالم رو به کُند شدن گذاشت. چه کسی می‌داند آیا چیزی که امروز می‌بینیم، ممکن است روزی برعکس شود و عالم سرانجام فروپاشد؟ بنابراین باید تأکید کنم که سرنوشت عالم جزء مجهولات باقی خواهد ماند، تا زمانی که سرنخ‌هایی برای توجیه شتاب فعلی عالم پیدا نشود.

پی‌نوشت‌ها

1. Dark matter and Dark energy
2. Fritz zwicky 3. Vera Rubin
4. Kent Ford 5. Kitt Peak National Obseravation 6. Elena Aprile
7. Weakly Interacting Massive Particles 8. Xenon
9. Cosmic Backgrond Explorer
10. Wilkinson Microwave Anistropy Probe 11. neutralino
12. Photomultiplier
13. Cyrogenic Dark Matter Search به معنای جست‌وجوی مادهٔ تاریک زمایی
14. Carlo Rubbia 15. Berkly

۱۶. دقیقاً در سال ۱۹۲۹ (مترجم).

17. Joel Primack

مرجع

Discover, Published online February 22, 2010.