دکتر حسن بلوری

برلین، ۲۰۲۴/۰۹/۲۹

مسائلِ بزرگِ جهانِ هستی

منشاءِ و چیستیِ مادّهِ تاریک

How do we know that dark matter isn't just normal matter exhibiting strange gravity? A new observation of gravitationally magnified faint galaxies far in the distance behind a massive cluster of galaxies is shedding new dark on the subject. This image from the Hubble Space Telescope indicates that a huge ring of dark matter likely exists surrounding.[1]

ما از بیش از ۹۵٪ جهان هستی اطلاع درستی نداریم. به‌نظر بخشی از این بی‌اطلاعی مربوط به چیزی نامرئی به اصطلاح "ماده تاریک" می‌شود. ماده‌ای که حرکت "نامتعارف" اجرامی از ماده مرئیِ کیهان به برهمکنشی با آن نسبت داده می‌شود. شواهد نجومی و اخترفیزیکی نشان از وجود "ماده تاریک" دارند. با این حال ما هیچ شناختی از منشاء و چیستی آن نداریم. آیا "ماده تاریک" واقعاً وجود دارد یا خطایی در نظریه‌ها نهفته است؟[2] یا چیزی اساسی از جهان هستی برایمان ناشناخته شده است؟

فشرده

مدل کنونیِ پذیرفته شده‌ی کیهان توان توضیح 'انبساط کیهان،[3] 'ماده قابل مشاهده'[4] و همچنین 'پرتو پس‌زمینه کیهانی'[5] را دارد. اما در این مدل به‌عنوان مثال توضیح سرعت حرکت ستاره‌های بیرونی کهکشان‌های مارپیچی[6] مانند کهکشان راه شیری دور مرکز کهکشان بدون مفروض داشتن یک ماده نامرئی ناممکن می‌نماید. این ماده فرضی که به آن ماده تاریک

گفته می‌شود بیشتر از طریق اثر گرانشی آن بر ماده مرئی (ماده معمولی) شناسایی می‌شود. بی‌آن‌که منشاء، چیستی و اصولن وجود آن مشخص و ثابت شده باشد. شواهد نجومی، اخترفیزیکی و کیهان‌شناسی[۷] گویای آنند که حدود ۲۷٪ کیهان از ماده تاریک تشکیل شده است، یعنی بیش از ۵ برابر ماده مرئی. با این وجود نمی‌توان این نتیجه را قطعی دانست. این یکی از مسائل بزرگ جهان هستی است. مسئله بزرگی که درک آن برای فهم ساختار کنونی کیهان و حضور ما در آن حیاتی است.

به‌نظر بدون ماده تاریک، کهکشان‌ها و خوشه‌های کهکشانی و ... آن‌گونه که ملاحظه می‌کنیم نمی‌توانستند شکل بگیرند. به این معنا که درغیاب ماده تاریک، کیهان نمی‌توانست به شکلی که هست باشد. به بیان دیگر، ماده مرئی به تنهایی توان کافی برای نگه‌داشتن اجزاء کیهان در کنارهم را نداشت و ندارد.

شواهد مختلفی که گویای وجود ماده تاریک هستند از جمله عبارتند از سرعت حرکت ستاره‌های بیرونی در کهکشان‌های مارپیچی دور مرکز کهکشان، انرژی جنبشی کهکشان‌ها در خوشه‌های کهکشانی، اثر لنزهای گرانشی اجرام آسمانی، پرتوهای ایکس در اطراف خوشه‌های کهکشانی، رابطه پارامترهای چگالی با انبساط کیهان و یا نوسانات دمای پرتو پس‌زمینه کیهانی.[۸]

در این مقاله می‌خواهیم پس از پیشگفتار، شواهدی را که به‌نظر نشان از وجود ماده تاریک دارند معرفی کنیم و در ادامه به مطالبی مانند ذراتِ ماده تاریک، دیدگاه‌های نظری در باره‌ی ماده تاریک و تردید در صحت قوانین گرانش بپردازیم.

پیشگفتار

در سال ۱۹۳۳ فریتس تسوئیکی (Fritz Zwicky) فیزیکدان و ستاره‌شناس سوئیسی ـ آمریکایی (۱۹۷۴ـ۱۸۹۸) اولین ستاره‌شناسی بود که با بهره‌جوئی از "قضیه ویرال، قضیه‌ای که میانگین انرژی جنبشی کل یک سیستم پایدار از ذرات گسسته را در طول زمان با انرژی پتانسیل کل سیستم مرتبط می‌کند"[۹] در حوزه خوشه‌های کهکشانی به این نتیجه رسید که جرم کل هر یک از آنها بسیار بزرگتر از جرم ماده قابل مشاهده در آنهاست. و این بدان معناست که سوای ماده قابل مشاهده می‌باید ماده دیگری نیز در خوشه‌های کهکشانی وجود داشته باشد، هرچند نامرئی. "بررسی‌های تسوئیکی از خوشه‌های کهکشانی نشان داد که کهکشان‌های درون خوشه‌های کهکشانی با چنان سرعتی حرکت می‌کنند که نیروی گرانش ترکیبی آنها برای نگه‌داشتن توده‌ها در کنار هم کافی نیست. او دریافت که باید مقدار زیادی ماده نامرئی وجود داشته باشد که خود را فقط از طریق نیروی گرانشی نشان می‌دهد."[۱۰] اما این یافته‌ها مدت زمان طولانی جدی گرفته نشد.

به‌طور معمول، اشیاء توسط امواج الکترومغناطیسم قابل شناسایی هستند. به این معنا که وقتی شیٔای نه در محدوده امواج مرئی و نه در محدوده امواج بلند و یا کوتاه پرتو الکترومغناطیسم قابل مشاهده نیست، یعنی نه نوری می‌افشاند، نه نوری را جذب می‌کند و نه آن را تغییر می‌دهد، از دو امکان خارج نیست: یا چیزی برای مشاهده وجود ندارد و یا نیاز به شیوه بررسی و ابزار دیگر دارد. در امکان دوم شاید شئ مربوطه خود را به‌عنوان مثال از طریق برهمکنشی گرانشی نشان دهد. به‌نظر این حالت در مورد ماده تاریک صدق می‌کند. چراکه برهمکنشی گرانشی به‌معنای حضور حداقل دو جرم است هرچند یکی از آنها نامرئی باشد.

"امروزه اکثر فیزیکدانانِ ذرات‌نجومی بر این نظر هستند که ماده تاریک از نوعی ذرات بنیادی ناسناخته شده (به احتمال بدون بارالکتریکی) تشکیل شده است ـ ذراتی فرضی با نام‌های فوتینو یا آکسیون با جرمی بسیار کوچکتر از جرم الکترون‌ها و یا ذراتی سنگین با برهمکنش ضعیف (WIMP) با جرمی بسیار بزرگتر از جرم پروتون‌ها. اما تاکنون هیچ‌یک از این ذرات کشف نشده است. به‌نظر چنان ذراتی با گردهمایی خود ابرهای بزرگی را تشکیل می‌دهند، کهکشان‌ها را احاطه می‌کنند و در منطقه بزرگی از خوشه‌های کهکشانی پراکنده‌اند."[۱۰]: تصویر ۱ و ویدیوی ۳ دقیقه‌ای زیر از ناسا (NASA)
https://www.youtube.com/watch?v=i5ucytz2C7I

مشاهدات نجومی، اخترفیزیکی و کیهان‌شناسی

سوای مشاهده نیروی گرانشِ ماده تاریک، شواهد نجومی، اخترفیزیکی و کیهان‌شناسی نیز نشان از وجود این ماده نامرئی دارند. در زیر به چندی از این شواهد می‌پردازیم.

۱. سرعت حرکت ستاره‌های بیرونی کهکشان‌های مارپیچی

اندازه‌گیری سرعت حرکت ستاره‌های بیرونی کهکشان‌های مارپیچی مانند کهکشان راه شیری دور مرکز کهکشان نشان می‌دهد که سرعت آنها بیشتر از اندازه‌ای است که قانون شناخته شده‌ی فیزیک، یعنی نیروی گریز از مرکز، مجاز می‌داند. طبق این قانون می‌باید این ستاره‌ها مدت‌ها پیش کهکشان‌ها را ترک می‌کردند. اما این چنین نشده است. به‌نظر علت این

امر می‌تواند وجود ماده تاریک، یعنی نیروی گرانش آن، باشد. مشابه این وضع در حرکت کهکشان‌ها در خوشه‌های کیهانی نیز مشاهده می‌شود. اما استدلال این چنینی برای وجود ماده تاریک در کهکشان‌های بیضی‌شکل به‌خاظر حرکت نابسامان ستاره‌ها دشوار است. به‌عوض در اینجا می‌توان از پرتوهای (ایکس، رنتگن) ساطع شده از این کهکشان‌ها به وجود ماده تاریک در آنها پی‌بُرد.[۱۱]

۲. سرعت حرکت کهکشان‌ها در خوشه‌های کهکشانی

"بر اثر نیروی گرانش متقابل، کهکشان‌ها در خوشه‌های کهکشانی نسبت به یکدیگر حرکت می‌کنند. سرعت حرکت آنها تابع کل جرم کهکشان‌ها در خوشه کهکشانی است. با اندازه‌گیری سرعت کهکشان‌ها می‌توان خوشه‌های کهکشانی را به اصطلاح "وزن" کرد.

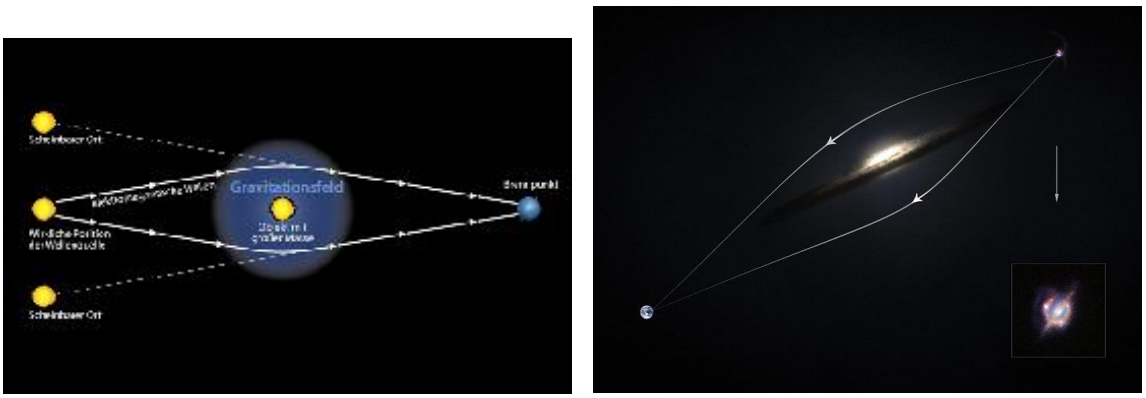
برای "وزن کردن" خوشه‌های کهکشانی از قضیه ذکر شده به نام قضیه ویرال بهره‌جسته می‌شود. این قضیه می‌گوید، کل انرژی جنبشی اجسام یک گروه گرانشیِ می‌باید برابر با نصف انرژی پتانسیل سیستم باشد. انرژی پتانسیل توسط جرم کل سیستم تعیین می‌شود، کل انرژی جنبشی را می‌توان از روی سرعت اجسام در سیستم محاسبه کرد."[۲]

این محاسبه نشان می‌دهد که جرم اغلب خوشه‌های کهکشانی حدود ۵ تا ۱۰برابر بیشتر از آنچه که به‌طور کلی در ستارگان و گازها هست، می‌باشد.[۱۱] این اختلاف بسیار بالا میان جمع جرم کهکشان‌ها در یک خوشه کهکشانی با جرم خوشه کهکشانی را می‌توان به وجود ماده تاریک نسبت داد.

(کهکشان راه شیری با کهکشان‌های همسایه یک گروه، یک خوشه کهکشانی تشکیل می‌دهد. این خوشه کهکشانی با سرعتی حدود ۱۲۰۰۰۰۰ کیلومتر در ساعت نسبت به پرتو پس‌زمینه کیهانی حرکت می‌کند؛ سامانه خورشیدی در بازوی کناری کهکشان راه شیری به نام Orion با سرعتی نزدیک به ۸۰۰۰۰۰ کیلومتر در ساعت دور مرکز کهکشان می‌چرخد؛ زمین با سرعت متوسط ۱۰۷۰۰۰ کیلومتر در ساعت دور خورشید و با حدود ۱۶۷۰ کیلومتر در ساعت دور خود می‌چرخد.)

۳. اثرِ لنزِ گرانشیِ اجرامِ آسمانی

وقتی نور برای مثال از کنارِ خورشید می‌گذرد نیروی گرانشِ جرمِ خورشید آن را بسوی خود می‌کشد، آن را منحرف می‌کند، مانند یک لنز یاعدسی. این پدیده در مورد اجرام آسمانی دیگر مانند کهکشان‌ها نیز صدق می‌کند. پدیده انحراف نور بر اثر اجرام آسمانی 'اثر لنز گرانشی' نامیده می‌شود (تصویر۲و۳). بررسی‌های نظری (از جمله بررسی مکان و فرم قوس‌ها) نشان می‌دهند، اندازه‌ی انحراف نور ساطع شده از اجرام آسمانی که از کنار کهکشان‌ها یا خوشه‌های کهکشانی می‌گذرد بیش از حدیست که جرم آنها قادر به آن است. به‌نظر انحراف بیش از حدِ نور در این رویدادها ناشی از وجود جرمی نامرئی در کهکشان‌ها، ماده تاریک، است.



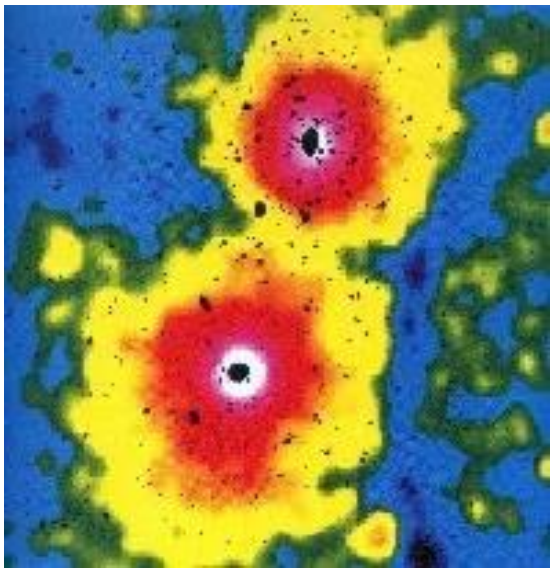
تصویر۲و۳: صورت کلی عدسی یا لنز گرانشی[۱۲و۱۳]

۴. پرتوهای ایکس در اطراف خوشه‌های کهکشانی

از توزیع و طیف انرژی پرتوهای ایکس، ساطع شده از گازهای داغ در کهکشان‌ها می‌توان دما و سرعت ذرات گازها را محاسبه کرد. سرعت این ذرات به قدری بالاست که ماده مرئی کهکشان به تنهایی توان نگهداری آنها در خود را ندارد.

"ماهواره‌های پرتو ایکس، مناطق گسترده‌ای از آسمانِ اطرافِ خوشه‌های کهکشانی را که آکنده از پرتوهای ایکس هستند رصد کرده‌اند (تصویر۴). گازی که پرتو ایکس ساطع می‌کند، باید بسیار گرم باشد، حدود ۱۰میلیون درجه. از آنجا که این گاز از یک طرف رقیق و بسیار پویاست و از طرف دیگر در خوشه‌های کهکشانی گرفتار است، باید که خوشه

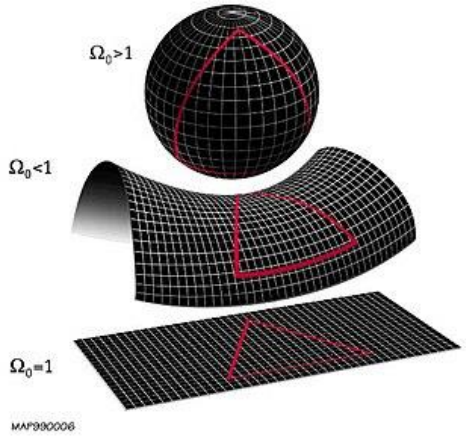
کهکشانی نیروی گرانشی بزرگی را بر آن اعمال کند. (این حالت امکان تخمین جرم، "وزن کردن"، کل خوشه کهکشانی را می‌دهد.) اما در کهکشان‌های مرئیِ خوشه کهکشانی نمی‌توان آن اندازه جرم را مشاهده کرد. به بیان دیگر، این بررسی‌ها نشان از ماده تاریک در خوشه‌های کهکشانی دارند."[۲]



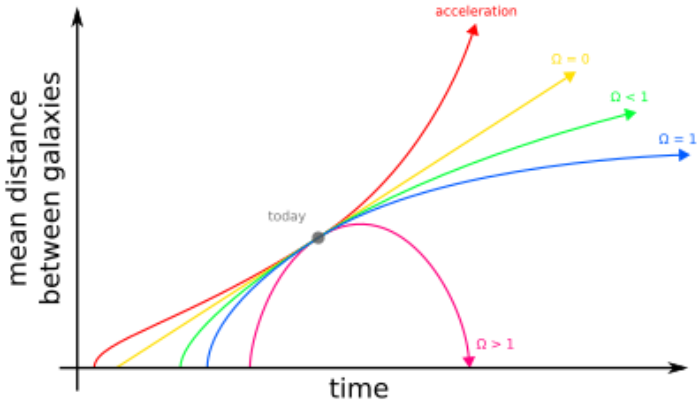
تصویر۴: اندازه‌گیری‌ها در محدوده پرتو ایکس از خوشه کهکشانی Abell 3528 منطقه درخشان بزرگی را نشان می‌دهد. رنگ‌های زرد و قرمز منطقه درخشان را نشان می‌دهند، کهکشان‌ها با رنگ سیاه روی ایزوفوت‌های پرتو ایکس نقاشی شده است.[۱] (ایزوفوت: نقاط برابر روشن)

۵. پارامترچگالی و انبساط کیهان

هندسه، توسعه و دینامیک کیهان تابع پارامترچگالی اجرام و انرژی‌های مختلف موجود در کیهان است. پارامترچگالی برابر است با نسبت ‘چگالی نسبی کیهان ρ’ به ‘چگالی بحرانی ρ_c’ ($\Omega = \frac{\rho}{\rho_c}$) - کمیتی است بدون بُعد. در واقع پارامترچگالی معیاری است برای سنجش ثبات کل کیهان. برای پارامترچگالی می‌توان ۳ حالت را تصور کرد: مساوی با ۱ ، بزرگتر از ۱ و کوچکتر از ۱. در حالت اول کیهان تخت و پایدار، در حالت دوم رو به انقباض و در حالت سوم رو به انبساط است (تصویر۵ و۶). پارامترچگالی را می‌توان برای مثال از طریق مشاهده نوسانات دمای پس‌زمینه کیهانی[۵] تعیین کرد. یافته‌ها بیان از مطابقت داشتن چگالی متوسط کیهان با چگالی بحرانی دارند (مسئله تخت بودن کیهان).



تصویر۶: هندسه کلی کیهان تابع پارامترچگالی Ω.[۱۵] است.



تصویر۵: انبساط کیهان بستگی به چگالی کیهان دارد.[۱۴]

(در کیهان‌شناسی ’چگالی بحرانی ρ_c‘ به چگالی‌ای از ماده گفته می‌شود که نیروی گرانشی حاکم در کیهان توان کافی برای به نزدیک به صفر رساندن سرعت انبساط کیهان را دارد. این چگالی برابر است با حدود $۱۰^{-۲۶}$ کیلوگرم در هر مترمکعب. به عبارت دیگر، چگالی بحرانی تقریبن برابر است با ۶ پرتون در هر مترمکعب فضای کیهان.)

"از نظریه‌های موجود در باره توسعه کیهان می‌توان برای یک کیهان تخت یک چگالی متوسط برای ثبات آن محاسبه کرد. در اینجا تنها حدود ۱٪ از این ماده را می‌توان به‌طور مستقیم مشاهده کرد. بقیه، ماده تاریک نامیده می‌شود.

بر اساس قانونِ گرانشِ نیوتن باید در کهکشان‌ها حدود ۲۰٪ از کل ماده تاریک را برای پایداری دینامیکی این سازه‌ها انتظار داشت. ماده‌ای که می‌تواند از نوع باریونی[۱۷] (باریون: ذره زیراتمی مرکب) باشد، بری مثال کوتوله‌های قهوه‌ای (ستاره‌های تاریک کوچکتر از خورشید)، کوتوله‌های سفید (ستاره‌های قدیمی بزرگتر از خورشید) و سیاه‌چاله‌ها.[۱۸و۱۹] با این حال هنوز حدود ۸۰٪ از ماده تاریک ناپیداست (مفقود است) که برای آن کاندیدهای عجیب و غریب ناشناخته شده لازم است. مهمترین کاندیداها باید ذراتی باشند سنگین با حرکت کند. اما هنوز شواهدی برای آنها وجود ندارد."[۱۶]

چنانچه نتایج پژوهش‌های جدید نجومی،اخترفیزیکی و کیهان‌شناسی تایید شوند، در این‌صورت نیاز به تجدیدنظر در مدل‌ها و نظریه‌های موجود خارج از تصور نیست.

۶. دمای پرتو پس‌زمینه کیهانی

گفتیم که پارامترچگالی را می‌توان برای مثال از طریق مشاهده نوسانات 'دمای پرتو پس‌زمینه کیهانی' مشخص کرد. در باره‌ی مفهوم 'پرتو پس‌زمینه کیهانی' در مقاله 'مهبانگ و پیدایش کیهان'[۳] می‌خوانیم:

"پس از گذشت حدود ۳۸۰ هزار سال از مهبانگ و تنزل دمای کیهان، امکان شکل‌گیری اتم‌های سبکِ باثبات از هسته‌ها و الکترون‌ها به وجود می‌آید. از گردهم‌آئی اتم‌ها بر اثر نیروی گرانش ابرهای گازی و از این‌ها کهکشان‌ها و ستارگان شکل می‌گیرند. اتم‌ها یا عناصر شیمیائی سنگین‌تر در زمان‌های بعدی در داخل ستارگان به وجود می‌آیند؛ از آن‌جمله عناصر لازم برای حیات.
همزمان با تشکیل اتم‌ها، ذرات نور، فوتون‌های موجود آزاد شده و امکان آن می‌یابند که فاصله‌های بیشتری را طی کنند، بی‌آنکه جذب ذرات دیگر شوند. در نتیجه کیهان از این طریق به 'روشنائی' دست می‌یابد. به عبارت دیگر، کیهان پیش از آن تاریک بوده است.
طول موج نور آزاد شده از همان زمان همسو با انبساط کیهان گسترش پیدا کرده و اکنون به طیف رادیوئی با دمای ۲/۷۳ کلوین رسیده است. برای مقایسه، دمای همین نور در گذشته چهارهزار کلوین بوده است. این نور، این سنگواره در سال ۱۹۶۴ بطور تصادفی کشف و به 'تابش یا پرتو پس‌زمینه‌ی کیهانی' معروف است. این کشف یکی از مهم‌ترین شواهد عینی برای فرضیه‌ی مهبانگ به شمار می‌رود."[۳]
از زمان جدا شدن پرتو از ماده، دمای آن همواره همسو با انبساط کیهان رو به افت داشته است. با این حال "ناهمگونی‌های از قبل موجود می‌باید امروزه در ناهمگونی‌های پرتو پس‌زمینه کیهانی قابل مشاهده باشد،"[۲] بررسی نوسانات پرتو پس‌زمینه‌ی کیهانی از اواخر قرن بیستم از جمله امکان توضیح چگونگی شکل‌گیری ساختارهای بزرگ در کیهان را فراهم کرده است. شواهدی برای وجود ماده تاریک در کهکشان‌ها و خوشه‌های کهکشانی وجود دارد. "اما استدلال از جانب کیهان‌شناسی (در ارتباط با ثابت کیهان‌شناسی) برای وجود ماده تاریک بستگی به مدلی دارد که برای کیهان انتخاب می‌شود. به این ترتیب، این سوال همچنان مطرح است که آیا ماده تاریک وجود دارد یا خطایی در نظریه‌ها نهفته است؟"[۲]

شکارِ ذراتِ ماده تاریک؟

پیش‌تر اشاره کردیم که فیزیکدانانِ ذرات‌نجومی بر این نظر هستند که ماده تاریک از ذرات بنیادی ناشناخته شده و احتمالن فاقد بارالکتریکی تشکیل شده است. ذراتی سنگین با برهمکنش ضعیف و ذراتی سبک. البته هیچیک از این ذرات تاکنون کشف نشده است. یک پروژه تحقیقاتی به نام زنون (XENON) از سال ۲۰۰۲ در پی کشف ذرات ماده‌ی تاریک در آزمایشگاهی در عمق زمین در 'گران ـ ساسو' ایتالیاست. انتخاب چنین مکانی به‌خاطر پرهیز از تاثیر پرتو پس‌زمینه کیهانی است. "هدف از این آزمایش‌ها شناسایی ذراتی با برهمکنش ضعیف، جستجوی برهمکنش‌های کمیاب توسط پس‌کش‌های هسته‌ای (ایجاد فوتون‌ها و افزایش دما) در محفظه‌ای شامل زنون مایع است."[۲۰]

تولید ذرات ماده تاریک در آزمایشگاه؟

شاید یک امکان برای اثبات وجود ذرات ماده تاریک، تولید این ذرات در آزمایشگاه باشد. برای این منظور فیزیکدان‌ها در بزرگ‌ترین برخوردهنده‌ی ذرات هادرونی جهان (Large Hadron Collide) که در تونلی با محیط ۲۶/۷ کیلومتر و در عمق ۱۰۰ متری در زیر مرز سوئیس ـ فرانسه نزدیکِ شهر ژنو ساخته شده است در پی تولید ذرات ماده تاریک هستند. LHC بزرگ‌ترین برخوردهنده‌ی ذرات با بالاترین انرژی در جهان است. این برخورددهنده بین سال‌های ۱۹۹۸ تا ۲۰۰۸ در همکاری با ده هزار دانشمند و صدها دانشگاه و آزمایشگاه از بیش از صد کشور ساخته شد.[۲۱و۲۲] در این آزمایشگاه ذرات هادرونی (تشکیل دهنده هسته اتم‌ها) با سرعتی نزدیک به سرعت نور بهم برخورد داده می‌شوند. به این امید که در ذرات متلاشی شده، ذرات کوچک ناشتاخته شده از جمله ذرات ماده‌ی تاریک را کشف کنند.

دیدگاه‌های نظری در بارهٔ ماده تاریک

"در فیزیک ذرات بنیادی، این پرسش مطرح است که ماده تاریک از چه ذراتی تشکیل شده است. هیچ یک از ذرات شناخته شده در مدل استاندارد فیزیک کوانتوم خواص ذره یا ذرات مورد نیاز را ندارد. از این‌رو توضیح ماده تاریک خواهان توسعه این مدل استاندارد است. البته این توسعه به هر حال به دلایل مختلف دیگر نیز ضروریست. فیزیکدان‌ها از جمله در برخورددهنده هادرونی بزرگ (LHC) در ژنو به شدت به دنبال آن هستند."[۸]

چنانچه پژوهش‌ها برای کشف ذره یا ذراتِ ماده‌ی تاریک به نتیجه نرسد در این‌صورت بی‌تردید توضیح و پذیرش ماده تاریک با مشکل جدی روبروست. و این ما را در یک وضعیت دشوار بین مشاهدات و دیدگاه‌های نظریی قرار می‌دهد:

"توزیع جرم و جرم کل یک خوشه کهکشانی را می‌توان به‌طرز نظری از موقعیت و فرم قوس‌های آن محاسبه کرد. در اینجا معلوم می‌شود که جرم خوشه کهکشانی به مراتب بیشتر از جرمی است که ستاره‌شناسان به‌طور تجربی، یعنی با استفاده از نور شناسایی می‌کنند."[۲]

در صورت غیرممکن بودن اثبات وجود ماده تاریک، به‌معنای نبود آن، به‌نظر شک در صحت قوانین گرانش جایز است. این دیدگاه اکنون مورد توجه و بحث است. به این معنا که نیازی به وجود ماده تاریک نیست، چنانچه قانون گرانش در مقیاس‌های بزرگ تغییر می‌کند.[۲]

تردید در صحت قوانین گرانش؟

قوانین گرانش بیان از نیروی گرانش بین اجرام دارند. برای مثال نیروی گرانش F بین دو جرم m_1 و m_2 در فیزیک نیوتنی متناسب است با حاصلضرب این دو جرم تقسم بر مربع فاصله آنها r^2 ، یعنی $F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$، (G ثابت نیروی گرانش برابر با $(6.67430(15) \cdot 10^{-11}\ m^3/kg\ s^2$). در اینجا لازم به ذکر این مطلب مهم است که ثابت گرانش در مقایسه با سایر ثابت‌های طبیعی[۲۳] با دقت نسبتن پایینی شناخته شده است.

از بیان ریاضی فوق برای گرانش در فیزیک نیوتن می‌توان دریافت که قدرت گرانش بین دو جرم در فاصله r با توان کوچکتر یا بزرگتر از ۲ تغییر می‌کند، یعنی بیشتر یا کمتر می‌شود. با درنظر گرفتن این مطلب، بحث تغییر قوانین گرانش مطرح است. "اما چنین تغییری پیامدهای زیادی بهمراه خواهد داشت. از جمله برای ساختار و تکامل ستارگان و یا همچنین برای مدل‌های مربوط به کل ساختار کیهان."[۲]

ثابت نیروی گرانش G "در معادلات نسبیت عام اینشتین نیز همچون در گرانش نیوتن به‌عنوان یک عامل تناسب ظاهر می‌شود و تعیین می‌کند با چه قدرتی جرم، انرژی و خواص مواد مشابه، فضا و زمان را دگرگون (تحریف) می‌کنند."[۲۴] یعنی، انحنای فضازمان ۴بُعدی را تغییر می‌دهد و از این طریق روند پدیده‌های مربوط به گرانش را تعیین می‌کند. این مطلب برای توصیف مقادیر و فرایندهای نجومی اساسی است.

در توضیحات ارائه شده در بالا در باره ماده تاریک فرض بر این است که نیروی گرانش از قانون گرانش نیوتن و قانون گرانش نظریه نسبیت عام اینشتین پیروی می‌کند. آیا واقعن چنین است؟ امکان دارد از طریق اصلاح قوانین گرانش، مشاهدات نجومی ذکر شده را توضیح داد بی‌آن‌که نیازی به معرفی ماده نامرئی، ماده تاریک، باشد.

مراجع

1. https://www.nasa.gov/image-article/dark-matter

2. https://astro.uni-bonn.de/~deboer/pdm/pdmdmtxt.html

3. Hassan Bolouri, Big Bang Theory, and formation of the universe

۳. حسن بلوری، 'مهبانگ و پیدایش کیهان ـ پیش از مهبانگ چه بود؟ مهبانگ در کجا بود؟'، منتشر شده در سایت‌های پارسی‌زبان، ماه مارچ سال ۲۰۲۳

4. Hassan Bolouri, The concept of matter in Philosophy and Science

۴. حسن بلوری، 'مفهوم مادّه در علم و فلسفه'، منتشر شده در سایت‌های پارسی‌زبان، ماه می سال ۲۰۲۰

5. Hassan Bolouri, The Concept of Space

۵. حسن بلوری، 'مفهوم فضا'، منتشر شده در سایت‌های پارسی‌زبان، ماه جولای سال ۲۰۲۰

6. Hassan Bolouri, The formation and rotation of cosmic bodies

۶. حسن بلوری، ’شکل‌گیری و چرخیدن اجرام کیهانی ـ کهکشان‌ها، سیاه‌چاله‌ها، ستاره‌ها، سیاره‌ها و ماه‌ها‘، منتشر شده در سایت‌های پارسی‌زبان، ماه ژانویه سال ۲۰۲۴

7. Hassan Bolouri, Classical cosmology

۶. حسن بلوری، ’کیهان‌شناسی کلاسیک‘، منتشر شده در سایت‌های پارسی‌زبان، ماه مارچ سال ۲۰۲۳

8. https://www.mpg.de/7696088/mpik_jb_2013

9. https://fa.wikipedia.org/wiki/%D9%82%D8%B6%DB%8C%D9%87_%D9%88%DB%8C%D8%B1%DB%8C%D8%A7%D9%84

10. https://www.weltderphysik.de/gebiet/universum/dunkle-materie/dunkle-materie-die-jagd-nach-dem-unsichtbaren/

11. https://www.usm.uni-muenchen.de/people/saglia/dm/galaxien/alldt/node41.html

12. https://www.eso.org/public/germany/images/eso1426b/

13. https://www.dlr.de/next/desktopdefault.aspx/tabid-6570/10786_read-24350/index.htm

14. https://en.wikipedia.org/wiki/Expansion_of_the_universe

15. https://en.wikipedia.org/wiki/Big_Bang

16. https://unterrichten.zum.de/wiki/Dunkle_Materie

17. Hassam Bolouri, The big problems of the universe: The origin and the essence of Mass

۱۷. حسن بلوری.’مسائل بزرگ جهان هستی ـ منشاء و چیستی جِرم‘، منتشر شده در سایت‌های پارسی‌زبان، ماه اوت سال ۲۰۲۴

18. Hassan Bolouri, White hole, Wormhole, Black hole

۱۸. حسن بلوری، مفهوم ماده در تراکم‌های بسیار بالا ـ سفیدچاله، کرم‌چاله، سیاه‌چاله‘، منتشر شده در سایت‌های پارسی‌زبان، ماه اوت سال ۲۰۲۰

19. Hassan Bolouri, Centaurus A

۱۹. حسن بلوری، ’سازه و کارها‘، منتشر شده در سایت‌های پارسی‌زبان، ماه سپتامبر سال ۲۰۲۰

20. https://fa.wikipedia.org/wiki/%D8%B2%D9%86%D9%88%D9%86_(%D9%BE%D8%B1%D9%88%DA%98%D9%87_%D8%AA%D8%AD%D9%82%DB%8C%D9%82%D8%A7%D8%AA%DB%8C)

21. Highfield, Roger (16 September 2008). "Large Hadron Collider: Thirteen ways to change the world". The Daily Telegraph. London. Archived from the original on 24 September 2009. Retrieved 10 October 2008

22. Hassan Bolouri, The big problems of the universe: The origin and the essence of Mass

۲۲. حسن بلوری، ’مسائل بزرگِ جهان هستی ـ منشاء و چیستی جِرم‘، منتشر شده در سایت‌های پارسی‌زبان، ماه اوت سال ۲۰۲۴

23. Hassan Bolouri, The natural constants and epistemology

۲۳. حسن بلوری، ’ثابت‌های طبیعی و شناخت‌شناسی‘، منتشر شده در سایت‌های پارسی‌زبان، ماه فوریه سال ۲۰۲۱

24. https://www.einstein-online.info/explandict/gravitationskonstante/#:~:text=In%20den%20Einstein%2D Gleichungen%20der,m%C2%B3kg%2D1s%2D2.