در جستجوی مادهٔ تاریک با همگرایی گرانشی ضعیف گذری

-پیشنهاد یک روش جدید برای بررسی اثرات گرانشی زیرهاله‌های مادهٔ تاریک و ویژگی‌های آن-

سهراب راهوار[۱و۳]، شانت باغرام[۲و۴]، نیایش افشردی[۳و۴]

۱ دانشکدهٔ فیزیک، دانشگاه صنعتی شریف، تهران
۲ پژوهشگاه دانش‌های بنیادی، تهران
۳ مؤسسهٔ فیزیک نظری پریمیتر، کانادا
۴ دانشکدهٔ فیزیک و ستاره‌شناسی، دانشگاه واترلو، کانادا

به نظر می‌رسد ساختارهای کیهانی‌ای مانند کهکشان‌ها، گروه‌های کهکشانی و خوشه‌های کهکشانی در هاله‌های مادهٔ تاریکی غوطه‌ورند که جرم آن‌ها چندین برابرِ مادهٔ روشنِ این ساختارها (ستاره‌ها و گاز میان‌کهکشانی) است. در مدل استاندارد کیهان‌شناسی، هاله‌های مادهٔ تاریک نقش اساسی در تشکیل این ساختارها دارند. افت‌وخیزهای اولیه در چگالی مادهٔ تاریک در کیهان بر اثر ناپایداری‌های گرانشی رشد پیدا کرده‌اند. این‌ها چاه‌های پتانسیل گرانشی‌ای ایجاد می‌کنند که مادهٔ باریونی (که در آینده تبدیل به گاز میان‌کهکشانی و ستاره‌ها می‌شوند) به درون آن‌ها خواهند افتاد. این سناریو برای تشکیل ساختارها، با تقریب بسیار خوبی با داده‌های رصدی هم‌خوانی دارد و موفقیت چشم‌گیری برای مدل استاندارد کیهان‌شناسی محسوب می‌شود. البته این سناریو یک مشکل بسیار اساسی دارد و آن این که مادهٔ تاریک هنوز به طور مستقیم مشاهده نشده است و تمام شواهد آن از طریق نیروی گرانش آن است. در نتیجه نظریه‌های گرانش تعمیم‌یافته همواره می‌توانند جایگزینی برای مادهٔ تاریک باشند.

این مشکل تا زمانی که مادهٔ تاریک به روش غیرمستقیم آشکار نشود وجود خواهد داشت. به همین علت بررسی و پیشنهاد روش‌های غیرمستقیم برای آشکارسازی مادهٔ تاریک از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

در مقاله‌ای که در مجلهٔ فیزیکال ریویو دی چاپ شده است. راهوار و همکارانش پیشنهاد کرده‌اند که اثرهای ساختارهای مادهٔ تاریک را با روش همگراییِ گرانشیِ ضعیفِ گذری جستجو کرد[۱]. این اثرها طبق سناریوی تشکیلِ ساختارِ سلسله‌مراتبی می‌توانند از هالهٔ دربرگیرندهٔ خوشهٔ کهکشانی تا زیرهاله‌هایی به جرم زمین نیز وجود داشته باشند.

همگرایی گرانشی که از همان بدو نسبیت عام پیش‌بینی شده بود، خیلی زود به صورت رصدی مشاهده شد. همگرایی گرانشی بر این مبنا استوار است که اجرام کیهانی (هرنوع جرمی) مانند کهکشان‌ها و هاله‌های مادهٔ تاریک می‌توانند مسیر نور را منحرف کنند و تصاویر متعددی از منابع نور کیهانی مانند کوازارها ایجاد کنند. این اثر را همگرایی قوی گرانشی می‌نامند. اجرام کیهانی همچنین ممکن است باعث تغییر شکل کهکشان‌ها شوند، که آن را همگرایی ضعیف می‌نامند. حالت دیگر آن است که اجرام کیهانی باعث ریزهمگرایی گرانشی شوند که در این صورت نشانه‌اش را در تغییر منحنی شدت نور منبع پیدا کرد.

در مطالعه‌ای که راهوار و همکارانش انجام داده‌اند پیشنهاد شده است که زیرهاله‌های مادهٔ تاریک (هاله‌های کوچکی که مادهٔ باریونی ندارند و در نتیجه دیده نمی‌شوند)، بر اثر میدان گرانشی هالهٔ میزبان کهکشان با سرعت خاصه در حال

شکل 1 : کوازار SDSSJ1004+4112

حرکت هستند و در نتیجه از مسیر دید مشاهده‌گری که منبع نور ـ مثلاً کوازار ـ را رصد می‌کند، می‌گذرند. بنابراین اثر همگرایی گرانشی زیرهاله‌ها به زمان بستگی پیدا می‌کند. از این رو مطالعهٔ نورِ یک منبع کیهانی در یک بازهٔ زمانی می‌تواند اثرهای خاصی را که گذر این زیرهاله‌های مادهٔ تاریک داشته‌اند آشکار کنند.

همچنین نویسندگان این مقاله پیشنهاد کرده‌اند که برای جدا کردنِ اثر تغییرات نور منبع بر اثر گذر هاله‌های مادهٔ تاریک از تغییرات ذاتی منبع، از کوازارهایی استفاده شود که خودشان به خاطر اثر همگرای گرانشی قوی چند تصویر دارند. این تصویر خاص امکان می‌دهد که اثرات ذاتی را از سیگنال‌های حاصل از ماده تاریک جدا کنند.

نمونهٔ خاصی از این کوازار، کوازار SDSSJ۱۰۰۴+۴۱۱۲ است (شکل ۱) که در انتقال به سرخ z = ۱٫۷۳۴ و توسط یک خوشهٔ کهکشانی لنز شده است و کاندید مناسبی برای این بررسی خواهد بود. بررسی تصاویر این کوازارها و اندازه‌گیری تغییر نور آن‌ها به مدت حدود ۳ سال می‌تواند اطلاعات ارزشمندی از زیرهاله‌های مادهٔ تاریک و ماهیت آن‌ها در اختیار کیهان‌شناسان قرار دهد.

منبع:

S. Rahvar, Sh. Baghram, and N. Afshordi “Transient weak lensing by cosmological dark matter microhaloes” , Phys. Rev. D 89, 063001 (2014).