

افق‌های نو

نقشه‌برداری از تاریخ تحول جهان

درباره برخورد ۲ سیاهچاله با جرم متفاوت



✎ **پوریا ناظمی**

● ستاره‌شناسانی که روی امواج گرانشی کار می‌کنند برای نخستین‌بار موفق شدند امواج گرانشی ناشی از برخورد دو سیاهچاله را رصد کنند که تفاوت جرم فاحشی با هم داشتند. رصد این برخورد به کمک امواج گرانشی به بازشدن پنجره‌ای تازه به روی تحقیقات اختریفیزیک و فیزیک گرانش توصیف شده است. این ارتفاع طریف در بافتار فضا-زمان برای نخستین‌بار نشان داد که به کمک این روش می‌توان برخوردهایی را آشکار کرد که در آن حداقل یکی از سیاهچاله‌ها پیش از برخورد در حال دوران بوده است. چنین مشاهداتی می‌تواند اطلاعات فوق‌العاده ارزشمندی را برای بررسی برخی از ویژگی‌های این اجرام تیره، در اختیار ستاره‌شناسان قرار دهد. گفته شده «مایا فیش‌باخ»، یکی از اخترفیزیک‌دانان دانشگاه شیکاگو در ایلینویز: «تمام برخوردهایی که تاکنون به این روش رصد شده و داده‌های آن منتشر شده بودند میان سیاهچاله‌هایی با جرم قابل مقایسه رخ داده بودند. اما این بار با برخوردی طرف هسقیم که تفاوت فاحشی میان جرم دو سیاهچاله وجود دارد». این برخورد سال گذشته مشاهده شد و نتایج بررسی آن روز ۱۸ آوریل (۳۰ فروردین) در خلال یک کنفرانس که از سوی انجمن فیزیک آمریکا به صورت مجازی برگزار می‌شد (به دلیل همه‌گیری کرونا)، از سوی «مایا فیش‌باخ» و همکارانش اعلام شد. بر اساس این اعلام هر دو رصدخانه لایکو در ایالات متحده و ویرگو در ایتالیا این رویداد را که GW190412 نام‌گذاری شده است، با اطمینان بالا در تاریخ ۱۹ آوریل ۲۰۱۹ (۲۳ فروردین ۱۳۹۸) مشاهده کردند. رصدخانه امواج گرانشی لایکو در سال ۲۰۱۵ و برای نخستین‌بار توانست امواج گرانشی را کشف کند. پس از آن در یک فصل مشترک رصد که تا سال ۲۰۱۷ ادامه داشت، این رصدخانه با همکاری رصدخانه ویرگو، توانستند ۱۰ رویداد دیگر را نیز ثبت کنند که از این بین ۹ مورد به برخورد دو سیاهچاله و یکی به برخورد دو ستاره نوترونی اختصاص داشت؛ رصدی که به دانشمندان در توضیح منشأ عناصر شیمیایی کیهان کمک می‌کند. سومین مجموعه رصدها از ابتدای آوریل سال قبل آغاز شده و ۲۷ مارس سال جاری به پایان رسیده است. با افزایش دقت حسگرها در این سامانه بیش از ۵۰ نامزد رویداد امواج گرانشی در این مجموعه از رصدها تشخیص داده شده‌اند. این کیفیات با آهنگ بی‌سابقه یک رویداد در هفته اتفاق افتاده است. تحلیل‌ها روی این رویدادها ادامه دارد و تاکنون تنها دو مورد از این رصدها به‌طور رسمی اعلام و تأیید شده‌اند و بررسی بقیه ادامه دارد. آخرین مورد اعلام‌شده‌ا اما رویدادی یگانه و تاکنون منحصربه‌فرد است. جایی که در آن یکی از سیاهچاله‌های برخوردگکننده جرمی معادل حدود هشت برابر جرم خورشید و دیگری جرمی حدود ۳۱ برابر جرم خورشید ما داشته است. این تفاوت جرم باعث شد تا سیاهچاله بزرگ‌تر فضای اطراف خود را بیشتر خمیده کند و در نتیجه مسیر حرکت سیاهچاله دیگر را از حالت یک مارپیچ کامل خارج کند. این تأثیر را می‌توان در امواج گرانشی ناشی از چرخش این دو به دور هم مشاهده کرد. تمام رویدادهای ناشی از برخوردهای پیشین که تاکنون ثبت شده‌اند ساختار افزاینده یکسانی را نمایش می‌دهند. به این معنی که فرانکس سسینگال رصدشده به مرور زمان، افزایش می‌یابد تا زمانی که هنگام برخورد فرامی‌رسد. اما این اسدا در مورد GW190412 متفاوت است. فرانکس امواج رصدشده در این مورد به‌طور چشمگیر و در قالب افزاینده بالا نمی‌رود. به گفته «فیش‌باخ»: «همین موضوع هم این رویداد را جالب توجه می‌کند و حتی می‌توان با نگاهی به ریخت‌شناسی سینگال به این موضوع پی برد». مدتی طولانی است که دانشمندان در انتظار رویدادهایی بودند که بر اثر برخورد دو جسم ناهمسان رخ داده باشند، چراکه چنین رویدادهایی امکانات بیشتری در اختیار آنها قرار می‌دهد تا نظریه نسبیت را بررسی کنند و به قول «ماکسیمیلیانو ایسی»، چنین کشفی به معنی این است که ما وارد دوره تازه‌ای از آزمون نسبیت شده‌ایم. یکی از ویژگی‌های خاص این نوع رویدادها این است که به دانشمندان این امکان را می‌دهد تا با دقت بیشتری به بررسی دوران سیاهچاله بپردازند. درحالی‌که مدل‌ها و نظریات موجود بیان می‌کنند عمده سیاهچاله‌های موجود باید دارای دوران‌های سریعی باشند، اما داده‌های ثبت‌شده در دو دور اول آزمایش‌های لایکو تاکنون چنین نشانه‌هایی را آشکار نکرده بود. حال با این بررسی دانشمندان ممکن است بتوانند داده‌هایی را به دست آورند که به آنها کمک کند تا هرچه بهتر نوری به تاریخخانه منشأ و تحول سیاهچاله‌ها، این تاریک‌ترین اجرام عالم ببینازند. همچنین داده‌ها و رصدهای بیشتر از این رویدادهای برخورد ناهمسان می‌تواند به تعیین فاصله رویداد از راه شیری کمک کرده و به این ترتیب شاید راهی نو برای نقشه‌برداری از تاریخ تحول جهان را بگشاید. پروژه لایکو/ویرگو در ماه‌های آینده داده‌های بیشتری از مجموعه رصدهای انجام‌شده در سومین دوره رصدهای این پروژه منتشر خواهد کرد.

علم

ممکن است مهبانگی در کار نباشد

دانشمندان به دنبال توسعه یک ایده شگفت انگیز جدید در مورد خاستگاه همه چیز

آتا ایچاس

ترجمه: سیدامین مهناپور . بهار اسفندیاری



نه انفجار و نه جهش؟

از مشاهداتمان می‌دانیم فکر می‌کنید که گیتی

باید آغازی داشته باشد؟ فیزیک‌دانان ایایی ندارند که به سراغ ایده‌های دست‌نیافتنی بروند.

حالت یکنواخت: بر اساس این ایده گیتی در حال گسترش است، بنابراین ممکن است این نتیجه‌گیری منطقی به نظر برسد که از یک نقطه تکین گسترش یافته است. اما روش دیگری می‌توانند همیشه در درون و برون هستی ظاهر شوند، تا زمانی که به مدت طولانی به هم چسبیده نباشند. این جست‌وخیزهای همیشگی در مقیاس‌های کوچکی مانند مهبانک یعنی زمانی که گیتی به‌اندازه یک سر سوزن بود، حائز اهمیت است. هرچه در این نقطه وجود داشت بایستی همیشه دارای نوساناتی تصادفی در انرژی بوده باشد به‌طوری‌که، همچنان که فضا منبسط می‌شد، آن اختلاف‌ها نیز باید گسترش می‌یافتند و سبب عدم تعادل در مقدار انرژی در بخش‌های مختلف گیتی می‌شدند. اما نکته‌ای که وجود دارد این است که: ما چنین عدم تعادلی را نمی‌بینیم.

اگرچه ماده در گیتی امروز به‌صورت تصادفی در دسته‌هایی که آنها را کهکشان می‌نامیم توده شده است، اما وقتی‌که در بزرگ‌ترین مقیاس به گیتی می‌نگریم، توزیع همه اشکال ماده در سراسر فضا به‌صورت فراوانی هموار است. این یکنواختی نیازمند یک توضیح است. علاوه بر این، به‌طور مشابه، همان نوسانات کوانتومی موجود در مهبانک، می‌بایست باعث پیچش، انحنا و تاب برداشتن فضا بوده باشند. همچنان که گیتی منبسط می‌شود، این تغییر شکل‌ها نیز باید منبسط شده و در مسیر حرکت نور از میان کیهان، انحرافات شدیدی ایجاد کند. بااین‌حال ستاره‌شناسان هیچ اثری از چنین انحرافاتی نمی‌بینند.

در اوایل دهه ۱۹۸۰ میلادی، فیزیک‌دانان نظری یعنی «آلن گوث»، «آندره لینده»، «آندریاس آلبرشت» و «پائول اشتاین هارت»، ایده‌ای را معرفی کردند که جهت برطرف کردن مسائل مربوط به تئوری مهبانک طراحی شده بود. آنها پیشنهاد کردند که فقط لحظاتی پس از مهبانک، گیتی دست‌خوش یک دوره کوتاه از انبساط سریع معروف به «تورم» شد. بدان معنا که تورم، گیتی را چنان سریع منبسط کرده که هر پیچش، خمیدگی و تاب‌خوردگی را در بافتار فضا-زمان اتو کرده و توزیع همه مواد را در فضا یکنواخت کرده است.

اما تورم نیز مسائل خاص خودش را ایجاد می‌کند. به‌عنوان مثال، تورم به میدان فرضی به نام «اینفلتون» نیاز دارد. این میدان نیز به کلیدی

نیاز دارد که در زمان مناسب بسته شده و نیرویی مناسب برای هموار کردن گیتی لازم دارد که تقریباً همیشه ثابت بماند. در سناریوی مهبانک، بعید است که دوره کوتاهی از انبساط سریع معروف به «تورم» به‌طور مداوم باشد، زیرا به علت نوسانات کوانتومی زیاد، نیروی میدان اینفلتئون در مناطق

فیزیک نظری پرمیتر در کانادا عقیده دارند که پیشنهاد بی‌مرزی ناقص بوده و با یک جایگزین با استفاده از ابزار ریاضیاتی مشابه به دست می‌آید.

آنها پیشنهاد کردند که گیتی ما می‌تواند تصویر آینه‌ای یک گیتی دیگر باشد. این پاد گیتی در زمان قبل از مهبانک رو به عقب گسترش می‌یابد و همان‌طور که بزرگ‌تر می‌شود تحت سیطره پادماده است.

کیهان‌شناسی گاز ریسمانی: با الهام گرفتن از تئوری ریسمان، «کامران وفا» از دانشگاه هاروارد و «روبرت برندن برگر» از دانشگاه مک گیل کانادا پیشنهاد کردند که گیتی کنونی از یک گاز ابرریسمانی برانگیخته‌شده داغ و چگال بیرون زده که گمان می‌رود این گاز اجزای اساسی ماده باشد.

تغییر فاز: بعضی از فیزیک‌دانان معتقدند که خود فضا-زمان باید از ذرات ریزی شبیه به اتم تشکیل شده باشد. پیام آن به عقیده «دانیل اربتی» که فیزیک‌دانی در انستیتوی فیزیک گرانشی ماکس پلانک در آلمان است، این است که همان‌طوری که اتم‌ها می‌توانند در فرم‌های جامد، مایع یا گاز خودشان را سازمان‌دهی کنند، ذرات فضا-زمان نیز می‌توانند در فازهای مختلفی بپاچا‌رچ شوند. شاید آغاز گیتی نقطه‌ای بود که این ذرات در آن فشرده شده بودند. راجع به اینکه چه چیزهایی قبل از این نقطه به هم شباهت داشته‌اند کسی نمی‌تواند اظهارنظر کند.

تورم که به دلیل نوسانات کوانتومی روی می‌دهد این است که هر جا تورم خاتمه یافت، باید موج‌های کوچکی در بافتار فضا-زمان به وجود آید. این پدیده به امواج گرانشی اولیه مشهور است. این امواج شبیه به امواج کشف‌شده توسط لایکو در سال ۲۰۱۵ نیستند که معمولاً با برخورد سیاهچاله‌ها در فضا-زمان به وجود می‌آیند. امواج گرانشی اولیه دارای طول‌موج‌هایی بسیار بزرگ‌تر بوده چنان‌که تنها راه آشکارسازی آنها به‌وسیله اثری است که بر تابش ریزموج پس‌زمینه کیهانی می‌گذراند. این الگوی تابشی گاهی اوقات تصویر کودکی گیتی نامیده می‌شود، زیرا تصویری از گیتی، هنگامی که ۴۰۰هزار سال سن داشت، ارائه می‌کند. این تصویر ممکن است قدیمی به نظر برسد، اما در قیاس با زندگی یک انسان، مثل تصویر گرفته‌شده از روزهای کودکی‌اش خواهد بود.

ماهوره پلانک متعلق به آژانس فضایی اروپا مدت‌ها بود که نقشه‌برداری از این تابش را با جزئیات کامل به‌منظور یافتن شواهدی از امواج گرانشی اولیه انجام می‌داد. اما در سال ۲۰۱۳، محققان این پروژه اعلام کردند که آنها در یافتن چنین امواجی در سطح مورد انتظارشان شکست خوردند. هنگامی

که این خبر را شنیدم، فهمیدم که این به معنی حذف ساده‌ترین نسخه از تئوری تورم است. احساس کردم که تورم، جذابیت خود را به‌عنوان توضیحی ساده از آنچه پس از مهبانگ رخ داده، از دست داده است. بنابراین تصمیم گرفتم که طرح اولیه‌ام را رها کرده و به کاوش در ریاضاتی متفاوت نسبت به کیهان‌شناسی بپردازم. ایده‌ای را که تصمیم گرفتم دنبال کنم، همان بود که اولین‌بار توسط «اشتاین هارد» یعنی همان کسی که تورم را پیشنهاد کرده بود، ارائه شد. او نشان داد که تورم یک جایگزین منطقی برای مهبانک دارد. ممکن است گیتی ما با فروپاشیدن از هیچ شروع نشده باشد، بلکه پس از اینکه گیتی پیشین به‌آرامی در تکه کوچکی از فضا منقبض شد و سپس جهش یافت شروع به انبساط کرد، همان‌طوری که ما امروزه مشاهده می‌کنیم.

جذابیت اصلی این سناریو، فاز طولانی انقباض فوق‌العاده کُند قبل از جهش است. درست همان‌طوری که تورم برای انبساط سریع به فرم خاصی از انرژی (میدان اینفلتون) نیاز داشت، انقباض فوق‌العاده کند نیز به فرم خاصی از انرژی نیاز دارد که فشار فوق‌العاده زیادی را اعمال کند. فشار بالا به‌وسیله مقاومت فشردگی، انقباض را کند کرده و درعین‌حال تمایل دارد که هرگونه بی‌نظمی در توزیع انرژی در بافتار فضا-زمان را برطرف کند. اما برخلاف فاز تورمی، فاز انقباض آرام به شرایط آغازین ویژگی‌های نیاز ندارد. این فاز می‌تواند با روش‌های مختلفی به‌عنوان مثال به‌وسیله فروپاشی انرژی تارکک آغاز شود.

در اینجا مزیت جانبی دیگری نیز وجود دارد: در انقباض آرام گیتی سرد، نوسانات کوانتومی در همه زمان‌ها کوچک باقی می‌ماند. بدان معنا که خروجی سناریوی جهش برخلاف آشفته‌بارِ جهان‌های چندگانه تولیدشده توسط نوسانات کوانتومی رام‌نشدنی در خلال تورم، معین است. ناگامی از سناریوهای پیشین مدرکی بود مبنی بر اینکه جهش با این خصوصیات واقعاً امکان‌پذیر است. اولین گزارش تئوری را در مورد اینکه جهش چگونه می‌تواند روی دهد، سال گذشته منتشر کردم. به‌طور ساده، یک منبع انرژی مفروض را توصیف کردم که انقباض آرام گیتی را قبل از جمع شدن در یک نقطه، جایی که در آن اثرات گرانش کوانتومی برجسته می‌شود، به انبساط طولانی مدت تبدیل می‌کرد. گیتی که از چنین جهشی بیرون می‌زد دقیقاً دارای توزیع یکنواخت انرژی و هندسه تخت ستارگان زمان بود، همان‌طوری که امروزه مشاهده می‌کنیم. اکنون به همراه «اشتاینهارد» و «فرانس پرتوریوس» از دانشگاه پرینستون، تکامل گیتی را برای کاوش در آثار برجسته روند انقباض و جهش مدل‌سازی کردم. یکی از پیش‌بینی‌ها این است که انقباض فوق‌العاده کُند، امواج گرانشی اولیه قابل‌تشخیصی تولید نمی‌کند. این مسئله با داده‌های پلانک و مشاهدات بعدی همخوانی دارد.

آزمایش‌های حساس‌تری در حال راه‌اندازی هستند. مانند رصدخانه سیمونز در صحرای آتاکای شیلی و ماهواره «پرنده روشن» که به‌وسیله آژانس فضایی زاین در خلا یک دهه پرتاب می‌شود. اگر آنها امواج گرانشی اولیه را نمایان سازند، ایده انقباض آرام باید اشتباه باشد. اغلب مورد پرسش قرار می‌گیرم که آیا تکران نیستم وقتی‌که ایده‌ام می‌تواند توسط یک آزمایش از بین برود. اما برای من این مسئله مهم است که علم واقعی همه‌چیز را در مورد ایده‌ام مشخص کند، من هیچ راه دیگری را قبول ندارم.

اگر ما اثری از جهش ببینیم، پیامدهای عمیقی به همراه خواهد داشت. گسترش طبیعی بدین معنی است که ما در یک گیتی چرخه‌ای با جهش‌هایی که هر ۱۰۰میلیارد سال یا بیشتر روی می‌دهند، زندگی می‌کنیم. حتی می‌توان یک گیتی بدون آغاز و پایان را تصور، دوره‌ای از انقباض فوق‌العاده کند، هرگونه جزئیات ریز از چرخه‌های قبلی را پاک کرده و گیتی را به نقطه جهش با همان شرایطی که چرخه قبل از آن داشته می‌رساند. در نتیجه، همه ویژگی‌های گیتی از جمله دما، تراکم ماده تاریک، ماده معمولی و انرژی تاریک و تعداد ستارگان و کهکشان‌های قابل مشاهده به‌طور میانگین در خلال هر چرخه یکسان خواهند بود. به عبارت دیگر، اگر در چرخه قبل در سیاره‌ای مانند زمین زندگی کرده باشید، تقریباً همان خصوصیات اساسی گیتی ما را خواهید دید.

این به‌نوبه خود به یک پیش‌بینی شگرف منجر می‌شود: فاز کنونی گیتی که در آن اهنگ انبساط به‌آرامی شتاب می‌گیرد، به پایان خواهد رسید و گیتی وارد فاز جدید انقباضی خواهد شد. گیتی بعد از آن به سمت یک جهش جدید و فاز انبساطی تازه خواهد رفت. در نتیجه، انرژی تاریک که محرک انبساط شتابدار کنونی است باید تنزل یابد، در ممکن است این مسئله در آزمایش‌های آتی قابل‌ردیابی باشد. این امر، به همراه جست‌وجوی امواج گرانشی اولیه، بدان معناست که ممکن است به‌زودی این امکان برای ما فراهم شود که بدانیم آیا گیتی واقعاً با یک انفجار شروع شده است یا نه. حدس من این است که داستان بیشتر مدور است.

NewScientist, 17Aug, 2019

رو به فردا

کنکاش در کیهان اولیه

مروری بر نحوه شکل‌گیری بذرهای اولیه کیهان



✎ **امیر نظام امیری***

● یکی از بزرگ‌ترین و اساسی‌ترین سؤال‌های پیش‌رو، نحوه شکل‌گیری کهکشان‌های اولیه در کیهان و مشاهده آنهاست. درحال‌حاضر به‌طور دقیق نمی‌دانیم که اولین بذره‌ای تشکیل کیهان‌ها در چه برهه زمانی و چگونه در کیهان شکل گرفته است. یکی از معهود ابزارآلاتی که درحال‌حاضر می‌تواند پاسخی قانع‌کننده دهد، تلسکوپ فضایی هابل با رصد عمیق است (اگرچه در سال‌های آینده شاهد انقلاب‌های عظیمی در شناخت تشکیل ساختار، توسط تلسکوپ فضایی جیمز وب خواهیم بود). تلسکوپ فضایی هابل به دانشمندان این اجازه را می‌دهد که کیهان را در گذشته‌اش مطالعه کنند؛ زمانی که تنها ۵۰۰ میلیون سال از مهبانگ گذشته است. نتایج جدید به‌دست‌آمده از تلسکوپ فضایی هابل پیشنهاد می‌کند که به‌وجودآمدن ستارگان اولیه و کهکشان‌ها در کیهان اولیه زودتر از آنچه پیش‌بینی می‌شود، شکل گرفته است. تیمی از فیزیک‌دانان نجومی در آژانس فضایی اروپا به رهبری «باکانا بیهاتا ویکار» تحقیقاتی را انجام داده‌اند که نشان می‌دهد تعداد خنواده‌ای از ستارگان موسوم به نسل سوم، آن‌طور که نظریه‌های استاندارد درحال‌حاضر پیشنهاد می‌کنند، در زمانی که کیهان بسیار جوان بوده است (حدود ۵۰۰ میلیون سال قبل) ردیابی از خود نشان نداده‌اند. به‌طورکلی تحول ستارگان در برهه تحول ساختار را می‌توان به سه دسته طبقه‌بندی کرد. نوع اول به آن دسته از ستارگان جوانی اطلاق می‌شود که از نظر خصوصیات فلزیت سنگین محسوب می‌شوند و غالباً در بازوهای مارپیچی کهکشان راه شیری نیز وجود دارند (مانند خورشید). ستارگان نوع دوم فلزیت بسیار پایینی دارند و غالباً در هاله‌های کهکشانی یافت می‌شوند. خوشه‌های ستاره‌ای غالباً حاوی تعداد زیادی از این ستارگان هستند. یکی از خصوصیات بارز این طبقه از ستارگان با وجود فلزیت پایین، نسبت بالای نرخ عناصری مانند اکسیژن، سیلیکات و ... (عناصر آلفا) نسبت به آهن است. نظریه‌های کنونی پیشنهاد می‌کنند که این موضوع حاصل از ابرنواخترهای نوع دوم است که نقش غالبی را در تحول محیط میان‌ستاره‌ای بازی می‌کنند. ستارگان نسل سوم از ماده اولیه‌ای که در طول مهبانگ پردازش شده است - به معنای هیدروژن، هلیوم و مقداری لیتیم- شکل گرفته‌اند. عناصر سنگین‌تر مانند نپتروژن، هیدروژن، کربن و آهن ثمره نسل‌های بعدی چنین ستارگانی هستند که در مرکز آنها یا تحت تحول ساختار ستاره‌ای در گذر زمان شکل گرفته‌اند. این نسل از ستارگان باید جرم فوق‌العاده بالا (حدود چندصد برابر جرم خورشید) همراه با فلزیت بسیار پایین داشته باشند. «باکانا» و تیمش در برهه زمانی ۵۰۰ میلیون تا یک میلیارد سال پس از مهبانگ کیهان اولیه را توسط خوشه MACS0416 نامزد، تلسکوپ فضایی هابل (به انضمام داده‌های حاصل از تلسکوپ فضایی اسپیتزر و VLT) مورد کنکاش قرار دادند. در این برنامه آنها در طول سال ۲۰۱۲ تا ۲۰۱۷ ۲ کهکشان‌هایی را بررسی کردند که ۱۰ تا ۱۰۰ مرتبه از کهکشان‌های حال‌حاضر کم‌نورتر بوده‌اند. برای بررسی این کهکشان‌ها از روشی موسوم به عدسی گرانشی (که حاصل از پیش‌بینی نظریه زبای نسبیت عام است) استفاده شده است. برای آشکارسازی و بررسی این کهکشان‌ها از شش خوشه کهکشانی (تعداد زیادی کهکشان که در قید گرانشی خاصی مقید شده‌اند) پرچم استفاده شده است. از آنجایی که این کهکشان‌ها در پشت این خوشه‌ها قرار دارند (از نقطه‌نظر ناظر) نور این کهکشان‌ها در حین گذر از خوشه‌ها بر سر راه خود لنز شده است و شدت آن افزایش می‌یابد. با استفاده از این واقعیت و تکنیک جدیدی که «باکانا» و تیمش برای حذف نور کهکشان‌های خوشه‌ای جلوی زمینه به کار برده‌اند، برای اولین‌بار این موضوع ممکن شده است تا کهکشان‌های بسیار کم‌جرم اولیه که طبق مدل استاندارد کیهان‌شناسی درحال‌حاضر بذرهای کهکشان‌های کنونی هستند، با دقتی بسیار بالا و تنها زمانی که کیهان کمتر از یک میلیارد سال سن داشته است مورد مطالعه قرار گیرند. در نتایج به‌دست‌آمده از این تحقیقات و متناسب با سن بسیار پایین کیهان، هیچ‌گونه مدرکی دال بر وجود فراس‌ستارگانی از نسل سوم دیده نشده است و این نشان می‌دهد که در دوره اول کهکشان‌ها در برهه زمانی بسیار زودتری باید شکل گرفته باشند و در وهله دوم نقش کهکشان‌های کم‌سوی کم‌جرم در بازینوش کیهانی بسیار حائز اهمیت است. نتایج این تحقیقات بسیار ارزشمند پنجره‌ای نوین برای بررسی عمیق‌تر کیهان در زمان‌های بسیار جوان‌تر- که در قرار است به عنوان بخشی از مأموریت تلسکوپ فضایی جیمز وب مورد کاوش قرار گیرند- خواهد گشود؛ زمانی که بتوان شکل‌گیری بذره‌ای اولیه کیهان و ستارگان نوع سوم را با وضوح دقیق‌تر مشاهده کرد.

♦ **دانشجوی دکتری فیزیک و نجوم دانشگاه فلورانس ایتالیا**