

فرجام یک قرن جست‌وجو

سرانجام امواج گرانشی رصد شدند



مهدی صابری‌فر
روزنامه‌نگار علم

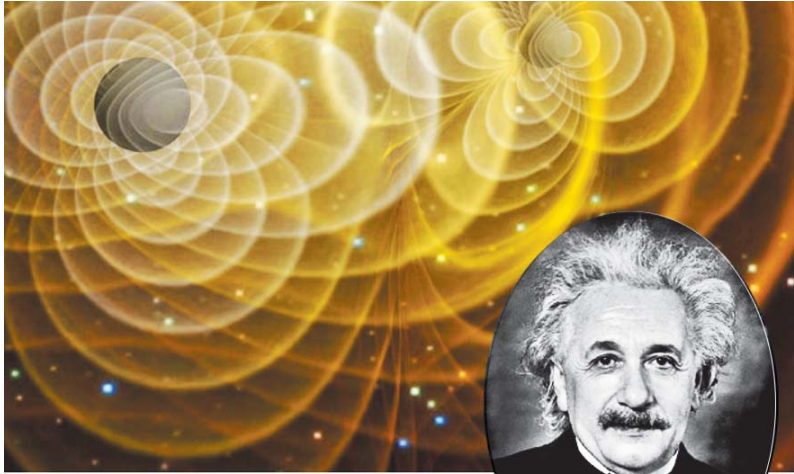
پنجشنبه گذشته خبر تأیید کشف امواج گرانشی، بار دیگری رویداد علمی را به صدر اخبار آورد. کشفی که از پیش‌بینی آن نزدیک به یک قرن می‌گذشت و با وجود تلاش‌های فراوان برای یافت آن (به‌خصوص در نیم‌قرن گذشته)، چیزی جز حسرت برای پژوهشگران حوزه اخترفیزیک باقی نگذاشته بود. اکنون رنگ واقعیت پیدا می‌کرد. اهمیت این کشف به اندازه‌ای است که انکار بشر از امروز به حس دیگری غیر از حواس پنج‌گانه خود مجهز شده است تا شناخت بهتری از اطرافش داشته باشد.

سال‌های اولیه قرن بیستم، «آلبرت اینشتین» با نگاهی دوباره به دستاوردهای فیزیک تا آن روز، نظریه‌ای را بنیان گذاشت که تصور بشر نسبت به دبیعی‌ترین مفاهیم اطرافش را به‌کلی تغییر داد. پیش از آن، موفقیت عظیم مکانیک کلاسیک (که مدیون کارهای نیوتن بود)، باعث شده بود که نگاه عمیق به مفاهیمی مانند فضا و زمان (که نیوتن آنها را ناتمام رها کرده بود)، خیلی جدی گرفته نشود. اما «اینشتین» با اصالت‌دادن به دستاوردهای الکترومغناطیس (که ماکسول آن را جمع‌بندی کرده بود)، این اصل را در نظریه‌اش، نسبیت خاص، قرار داد که «نور در خلا همواره در مسیر مستقیم و با سرعت ثابت به پیش می‌رود». نتیجه ریاضی این اصل این بود که فضا و زمان، دیگر مفاهیمی مطلق نبودند بلکه به هم وابسته بوده و در حقیقت به‌جای سه بُعد فضا (طول و عرض و ارتفاع) و یک بُعد زمان، یک پیوستار چهاربعدی به اسم «فضا- زمان» وجود دارد. گذشته از این، پیوستار «فضا- زمان» مطلق نیست و ناظرهای مختلف با سرعت متفاوت، دیدگاه متفاوتی از آن دارند. تقریباً ۱۰ سال طول کشید تا «اینشتین» با استفاده از ریاضیات پیچیده، توانست نیروی گرانش را هم به مدلسش اضافه و «نظریه نسبیت عام» را تدوین کند. این کار دشوار، صدسال پیش به انجام رسید. در این نظریه نشان داده می‌شود که نیروی گرانش، ناشی از خمیدگی فضا- زمان است. جرم و انرژی، هندسه اطرافشان را تغییر می‌دهند و ما این پدیده را به صورت جاذبه حس می‌کنیم. «اینشتین» پس از تدوین نظریه‌اش، چندین سال به بررسی پیامدهای آن پرداخت و پیش‌بینی‌هایی کرد که تا امروز بسیاری از آنها با استفاده از دستگاه‌های دقیق آزمایشگاهی، تأیید شده‌اند. یکی از آن پیش‌بینی‌ها،

این بود که هر تغییری در ماده و انرژی روی دهد، آثار گرانشی آن یعنی تغییر فضا- زمان، طبق نسبیت خاص، نباید با سرعتی بیشتر از سرعت نور منتقل شود. فرض کنید ناگهان خورشید در جای خود غیب شود. می‌دانیم که نور تقریباً هشت‌دقیقه طول می‌کشد تا به زمین برسد. بنابراین از زمانی که خورشید غیب می‌شود، همچنان به مدت هشت‌دقیقه، ما نورش را دریافت می‌کنیم و همین‌طور جاذبه‌اش را. یعنی زمین به دور آن نقطه که خورشید بوده، همچنان به مدت هشت‌دقیقه می‌چرخد. حالا اگر خورشید دوباره ظاهر شود، این تغییر هم با سرعت نور به زمین خواهد رسید. تأثیر این پدیده روی فضا- زمان مثل تکان‌دادن یک طناب و ایجاد موج روی آن است.

«اینشتین» خودش حساب کرد که اگر یک دمبل دور محور عمود بر دسته‌اش بچرخد، چه موج گرانشی‌ای ایجاد می‌کند. این امواج با انتشار در فضا، بخشی از انرژی این دمبل چرخان را به بیرون منتقل کرده و آرام‌آرام سرعت آن را کم می‌کنند. این مقاله سال‌های‌سال (یعنی تقریباً ۴۰ سال) تنها مستند علمی درباره امواج گرانشی بود. البته «اینشتین» در این مقاله، دچار یک خطای ریاضی هم شده بود و محاسباتش یک ضریب دو، اضافه داشت که «ادینگتون» آن را فهمید؛ به‌هر حال واقعیت آن بود که آثار پیش‌بینی‌شده امواج گرانشی، آن‌قدر ریز و کوچک بود که تا اواسط دهه ۱۹۷۰ ساخت دستگاهی برای مشاهده آن، با محدودیت‌های تکنولوژیک بسیاری مواجه بود. یکی از قوی‌ترین چشمه‌های امواج گرانشی، رمبش یک ستاره و تبدیل آن به سیاه‌چاله است. آثار موج گرانشی این اتفاق عظیم کیهانی، باعث می‌شود روی زمین، دو نقطه که یک‌متر از هم فاصله دارند، به اندازه یک‌صدم قطر هسته

امواج گرانشی در تیررس نگاه بشر

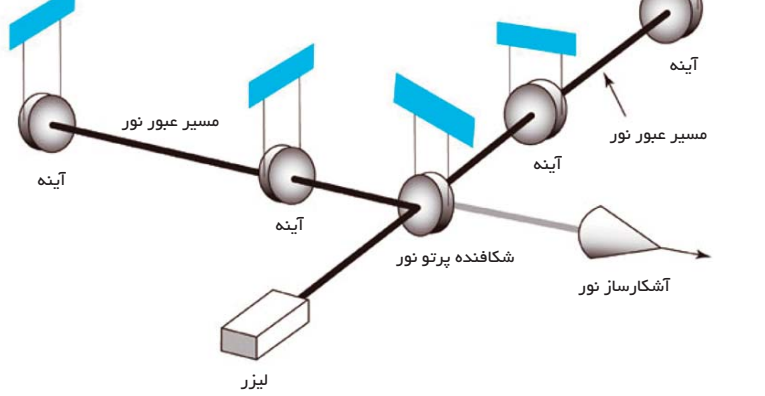


تصویرسازی امواج گرانشی گسیل‌شده از دو سیاه‌چاله‌ای که دور هم می‌چرخند.

نظریه نسبیت «اینشتین»، پیش‌بینی‌های بسیاری دارد از جمله اینکه جرم موجود در فضا باعث تغییر شکل هندسه فضا‌زمان می‌شود. علاوه بر این، اجسام در حال حرکت، از خود امواج گرانشی گسیل می‌کنند که باعث انتقال انرژی به فضای اطراف می‌شود.

طرز کار آشکارسازهای لیگو

رصدخانه تداخل‌سنجی لیزری امواج گرانشی (که به اختصار لیگو نام دارد)، در جست‌وجوی تغییر در هندسه فضا‌زمان در اثر عبور امواج گرانشی از زمین است. یک پرتو لیزر به دو پرتو شکافته شده و به سمت دو تونلی می‌رود که تعدادی آیینه دارد. پرتوهای نور از روی آیینه‌ها بازتاب می‌شوند تا دوباره در محل تلاقی تونل‌ها، به هم برسند و اثر هم را خنثی کنند. عبور امواج گرانشی طول تونل‌ها را تغییر می‌دهد و باعث می‌شود دو پرتو نور، مسافت متفاوتی را طی کنند. این اختلاف مسافت را می‌توان با استفاده از یک آشکارساز نور اندازه گرفت. دانشمندان با استفاده از اطلاعات ارائه‌شده توسط دستگاه‌های لیگو در ایالت واشنگتن و لوئیزیانا که هم‌زمان کار می‌کنند، می‌توانند منشأ این امواج گرانشی را پیدا کنند.



دهد، این «نقش» هم تغییر می‌کند. به‌این‌ترتیب می‌توان دستگاه‌های دقیقی ساخت که می‌توانند چشمه‌های امواج گرانشی بیرون کهکشان راه شیری را هم رصد کنند. یعنی نیازی هم به صبر طولانی نداریم. به‌این‌ترتیب در سال ۱۹۹۱، کنگره آمریکا بودجه عظیمی را تصویب کرد که دو رصدخانه تداخل‌سنج لیزری امواج گرانشی یا به اختصار، لایگو، تحت نظارت دو دانشگاه کلنک (مؤسسه فناوری کالیفرنیا) و ام‌آی‌تی (مؤسسه فناوری ماساچوست) و همکاری پژوهشگاه‌های بریتانیایی، آلمانی و استرالیایی ساخته شود. این رصدخانه‌ها، کارشان را از سال ۲۰۰۲ شروع کردند. هرکدام از این رصدخانه‌ها دو یاریکه لیزری به طول چهار کیلومتر و عمود بر هم داشتند. اما باز هم از کشف امواج گرانشی بازماندند. این رصدخانه‌ها، در سال ۲۰۱۲ موقتاً تعطیل شدند تا آشکارسازهای آنها ارتقا پیدا کند. رصدخانه‌های ارتقایافته، کارشان را سال گذشته و در همین روزها شروع کردند و تنها ۹ ماه زمان برد که یکی از درخشان‌ترین دستاوردهای علمی تاریخ بشر را عرضه کنند. هفته پیش، انتشار مقاله‌ای در مجله بسیار معتبر فیزیکال ریویو لترز، تأیید کرد که لرزش بسیار ریزی که در ساعت ۹:۵۱ دقیقه روز ۲۳ شهریور ۱۳۹۴ در تداخل‌سنج‌های لایگو ثبت شده، از امواج گرانشی سطح‌شده از برخورد و ادغام دو سیاه‌چاله با جرم حدود ۳۰ برابر جرم خورشید در فاصله ۳۰۱ میلیارد سال نوری زمین ناشی شده است. به‌این‌ترتیب در صدمین سالگرد انتشار یکی از بزرگ‌ترین دستاوردهای نظری در تاریخ تفکر بشر، یعنی نسبیت عام، یکی از سخت‌ترین و ریزترین آثاری که این نظریه پیش‌بینی کرده بود، مشاهده شد. یکی از مهم‌ترین سؤالاتی که به ذهن می‌رسد این است که این دستاورد، چه اهمیتی دارد و چه تغییری در روند کیهان‌شناسی یا اخترفیزیک ایجاد خواهد کرد؟ بهتر است بدانیم که بشر پیش از این با بررسی طیف الکترومغناطیسی اجسام یا همان نور، اجرام آسمانی و کهکشان‌ها را مطالعه می‌کرد. اما با کشف امواج گرانشی، انکار بشر صاحب چشم دیگری شده و حالا می‌تواند به کیهان از دریچه دیگری غیر از نور نگاه کند. به‌این‌ترتیب باید منتظر دستاوردهای نظیر عظیمی باشیم که با استفاده از این روش به دست آمده و شناخت بشر از کیهان را بسیار عمیق‌تر خواهد کرد. البته لازم به ذکر است که این روش در اولین گام نیز دستاوردهای خود را عرضه کرد. در کشف اخیر، وجود امواج گرانشی تأیید شد، اما علاوه‌براین، با استفاده از این امواج، درهم فرورفتن و ترکیب‌شدن دو سیاه‌چاله هم تأیید شد؛ کشفی که به‌خاطر آن، «استیون هاوکینگ»، به خودش تبریک گفت!

رویکرد

جایگاه آزمایش در علم محکی برای سنجش

بابک فرهادی

پنجشنبه گذشته اعلام شد دانشمندان با استفاده از رصدخانه تداخل‌سنجی لیزری امواج گرانشی توانستند به شواهدی مبنی بر وجود چنین امواجی دست یابند و به این ترتیب، نظریه نسبیت اثبات شد. با اعلام این خبر، این پرسش پیش آمد که مگر پیش از این نظریه نسبیت اثبات نشده بود؟ و اصلاً چه نیازی است که نظریه‌ای را اثبات کرد؟ واقعیت این است علم (به معنای ساینس)، با دیگر دانش‌های بشری تفاوت بنیادی دارد. علم تلاش سامان‌مند بشر برای توجیه و تفسیر پدیده‌های طبیعی است. بشر شناخت خود از طبیعت را به شکل نظریه ارائه می‌کند. برای اینکه دانشمندان دیگر نیز چنین نظریه‌هایی را بپذیرند، لازم است نظریه‌های جدید ویژگی‌هایی داشته باشند.

اولین شرط یا ویژگی یک نظریه برای آنکه به مقبولیت عام برسد، این است که با دیگر نظریه‌های پذیرفته‌شده همخوانی داشته باشد یا دست‌کم با نظریه‌های پذیرفته‌شده هم‌ترازی نداشته باشد. البته اگر نظریه‌ای عرضه شد که با نظریه‌های قبلی مغایرت دارد، لزوماً به معنای نادرستی آن نیست. در این صورت نظریه جدید باید نشان دهد که نسبت به نظریه‌های دیگر، توانایی‌های بیشتری دارد، به بیان دیگر علاوه بر اینکه پدیده‌های شناخته‌شده را توجیه متداول از توجیه آنها اتوان هستند. نظریه نسبیت، با نظریه‌های موجود (و از آن مهم‌تر با تجربه روزانه ما از ماهیت طبیعت) همخوانی نداشت اما توانست پدیده‌ای مانند پیش‌روی حضیض تیر را توضیح دهد که بهترین نظریه فیزیکی تا آن دوران (گرانش نیوتن)، از ارائه تفسیری برای آن ناتوان بود. شرط دیگر برای آنکه یک نظریه فیزیکی پذیرفته شود این است که بر مبنای ریاضی پذیرفته‌شده‌ای استوار باشد. نسبیت اینشتین از این لحاظ نیز ضعیفی نداشت. البته در نظر داشته باشیم که مبنای ریاضی نظریه نسبیت تا حدودی دشوار است و خود اینشتین برای صورت‌بندی رابطه‌های ریاضی مربوط، تا حدودی دچار مشکل شد و در این راه از هم‌فکری ریاضی‌دانان زمان خود بهره گرفت. اما مهم‌ترین ویژگی یک نظریه علمی آن است که بتوان با انجام آزمایش، درستی و نادرستی آن را ارزیابی کرد. واقعیت این است که هرروزه نظریه‌های بسیاری ارائه می‌شوند اما علم فقط برای نظریه‌هایی ارزش و اعتبار قائل است که اولاً پیش‌بینی‌های واضح و بدون شک و تردیدی ارائه کنند و دیگر آنکه این نظریه از مرحله تعیین‌کننده آزمایش بگذرد و بیرون آید. مهم‌ترین ویژگی نظریه نسبیت آن است که پیش‌بینی دقیق و مشخصی دارد و می‌توان با انجام آزمایش بی برد که این پیش‌بینی محقق می‌شود یا خیر.

به بیان دیگر این نظریه، سنگ محکی در اختیار ما قرار می‌دهد که بتوان درستی و نادرستی آن را سنجید. یکی از پیش‌بینی‌های مهم نظریه نسبیت این است که فضا‌زمان در اثر وجود جرم و انرژی خمیده می‌شود یا ساختار آن تغییر می‌کند. به این ترتیب نور هم که در مسیر فضا‌زمان حرکت می‌کند، مسیری خمیده و منحنی را طی می‌کند. فیزیک‌دان‌ها در سال ۱۹۱۹، توانستند با توجه به این پیش‌بینی نظریه نسبیت، مکان ستاره‌ها را در زمان خورشیدگرفتگی (یعنی زمانی که نور ستاره از کنار خورشید عبور می‌کند)، مشخص و آن را با مکان ستاره در حالت عادی مقایسه کنند. از این مقایسه مشخص شد که مکان ستاره در زمان خورشیدگرفتگی، کمی تغییر کرده است که نشان‌دهنده تغییر مسیر نور هنگام عبور از کنار خورشید است. بدیهی است اگر انجام آزمایش، پیش‌بینی نظریه نسبیت را تأیید نمی‌کرد، این نظریه پذیرفته نمی‌شد. به بیان دیگر برای ارزیابی درستی و نادرستی یک نظریه و همچنین تعیین میزان دقت آن، نیازمند انجام آزمایش هستیم.

فرارو

یک قرن در جست‌وجوی امواج گرانشی تماشای سوی خمیده عالم



پوریا ناظمی

خود «آلبرت اینشتین»، پیش‌بینی‌کننده امواج گرانشی، هم در ابتدا، در مورد وجود این امواج، مطمئن نبود. او در سال ۱۹۱۶، به «کارل شوارتزشیلد» (که می‌توان او را کاشف سیاه‌چاله نامید)، گفته بود این امواج وجود ندارند. بعدها نظرش را عوض کرد و گفت فکر می‌کند آنها واقعاً وجود داشته باشند. یک‌بار دیگر در سال ۱۹۳۶ به وجودشان مشکوک شد و البته دوباره نظرش را عوض کرد. از آن زمان تاکنون، تلاش‌های بسیاری برای پیدا کردن راهی برای اثب و تفکیک این امواج انجام شده است. این امواج ممکن است در اثر به‌دورهم‌گشتن دو ستاره نوترونی یا ادغام دو سیاه‌چاله یا در اثر رویدادهای ابتدای عالم شکل گرفته و به‌سوی ما حرکت کرده باشند. در سال ۱۹۶۹، «جوژف وبر» فیزیک‌دان دانشگاه مریلند، اعلام کرد که توانسته امواج گرانشی را تفکیک کند، اما دانشمندان دیگر نتوانستند نتایج او را تکرار کنند. نزدیک‌ترین شواهد از وجود این امواج تا قبل از آن تاریخ در سال ۱۹۷۸ به دست آمد. در آن سال، دو ستاره‌شناس به نام‌های «جوژف تیلر» و «راسل هولس»، توانستند یک زوج ستاره نوترونی را پیدا کنند. این دو ستاره نوترونی در مداری به دور هم می‌چرخیدند و یکی از آنها تنها آخرت‌ری بود که به‌طور منظم و متناوب، پرتوهای تابش‌های الکترومغناطیس را در فضا پراکنده می‌کرد. با اندازه‌گیری و رصد دقیق این دو ستاره، ستاره‌شناسان به این نتیجه رسیدند که این دو ستاره در حال ازدست‌دادن انرژی و نزدیک‌شدن به هم هستند و نکته مهم این بود که این آهنگ ازدست‌دادن انرژی در این منظومه، دقیقاً با پیش‌بینی مقدار انرژی‌ای که در صورت تابش امواج گرانشی، باید از دست دهند، برابر بود. این بهترین شاهد ما از این امواج بود تا اینکه پنجشنبه گذشته نتیجه فعالیت دانشمندان پروژه لایگو و همکاران علمی آنها در ژورنال فیزیکال ریویو لترز منتشر شد؛ مقاله‌ای که نام هزار نفر در مقام نویسنده و مشارکت‌کننده در آن ثبت شده است.

سه پیشگام

در بین افرادی که در این کشف نقش داشتند، سه‌نفر جایگاه ویژه‌ای دارند: «کیپ تورن»، کیهان‌شناس برجسته کلنک (مؤسسه فناوری کالیفرنیا) و متخصص امواج گرانشی و سیاه‌چاله‌ها، یکی از طراحان و پشتیبان‌های لایگو بود و حدود ۲۰ سال از عمر خود را صرف این پروژه کرد. نام «کیپ تورن» در یکی، دوسال اخیر به‌واسطه مشارکتش در ساخت فیلم میان‌ستاره‌ای، به کارگردانی «کریستوفر نولان»، بیشتر بین مردم عادی شناخته‌شده است. «رابرت وایس» از ام‌آی‌تی و «راندل درور» از مؤسسه فناوری کالیفرنیا (کلنک) دو نفر دیگری هستند که عمر خود را بر سر تأیید این پیش‌بینی «اینشتین» سپری کردند و امروز قطعا برای این روزی فراموش‌نشده خواهند بود. داستان ساخت لایگو از سال ۱۹۷۵ و ملاقات «تورن» و «وایس» در واشنگتن آغاز می‌شود. از آن زمان، راهی طولانی طی شد تا اینکه نسخه ابتدایی لایگو در سال ۲۰۰۰ آغاز به کار کرد و ۱۰ سال به فعالیت خود ادامه داد. درواقع هدف این مرحله از طرح لایگو، به‌دام‌انداختن امواج گرانشی نبود، بلکه ساختن مدلی کوچک‌تر از آشکارساز بود که ثابت کند می‌توان این کار را انجام داد. در پنج‌سال گذشته و وقتی معلوم شد فناوری ما به حدی رسیده که این ابزار را در مقیاس اصلی بسازیم و بتوانیم نشانه‌های امواج گرانشی را به دام ببندازیم، کار به‌روزرسانی این تجهیزات آغاز شد و پنج‌سال به طول انجامید.

لایگو

لایگو از دو دریافت‌کننده مستقل تشکیل شده است. این آنتن‌ها ساختاری L شکل دارند و از دو تونل عمودبرهم شکل گرفته‌اند که طول هر یک از بازوها حدود چهارکیلومتر است. درون هر یک از این بازوها، لوله‌های اصلی ابزار قرار دارد که داخل آن، یکی از بهترین خلاهای قابل‌دستیابی روی زمین برقرار است؛ دو لوله به طول چهارکیلومتر که درون خود چیزی جز یاقاتر فضا- زمان ندارند. در انتهای هر تونل، آینه‌های تفکیک‌گر معلق شده‌اند و هر یک از آنها پرتو لیزری را که درون این تونل جریان دارد، بازتاب می‌دهد. اساس کار این ابزار، تداخل‌سنجی است. زمانی که ابزارها با هم هماهنگ باشند، طول‌موجی که دو پرتو لیزر می‌سازند، با هم تطابق دارد. حال تصور کنید موجی گرانشی از زمین عبور کند. گذشتن این موج باعث می‌شود زمین در یک راستا منقبض و در راستای دیگر منبسط شود. همراه با زمین، بازوهای این ابزار نیز منقبض و منبسط می‌شوند. بنابراین به‌طور متناوب و به مقدار بسیار اندکی، طول تونل‌هایی که پرتوهای لیزر در آن قرار دارند، کم‌زیاد می‌شود. این تغییر طول، فوق‌العاده اندک است اما فناوری لایگو می‌تواند تغییر طول این بازوها را اندازه‌گیری کند.

امواج گرانشی: خبر از جاذبه‌های مهیب در عالم

حتی با چنین حساسیتی، فقط قوی‌ترین منابع تولیدکننده امواج گرانشی (مانند دو ستاره نوترونی رُجرم با دو سیاه‌چاله‌ای که درحال ادغام درون هم هستند)، ممکن است خود را آشکار کنند. چنین اتفاقی در سال ۲۰۰۱ میلارد سال نوری از زمین رخ داد و امواج تولیدشده توسط آن را لایگو امروز رصد کرده است. این دو سیاه‌چاله، جرم‌هایی معادل ۳۶ و ۲۹ برابر جرم خورشید ما دارند و با سرعتی معادل نصف سرعت نور در هر ثانیه، ۲۵۰ بار هم‌دیگر را دور می‌زنند. این دو به دام هم افتاده و در هم ترکیب شده‌اند و حاصل، سیاه‌چاله‌ای واحد به جرم ۶۲ برابر جرم خورشید است. با جمع ۲۹ و ۲۶، به عدد ۶۵ می‌رسیم. دراین‌بین جرمی معادل سه‌برابر جرم خورشید ناپدید شده است. این سه‌برابر جرم خورشید، مقدار ماده‌ای است که در این ترکیب، به انرژی بدل شده و امواج گرانشی را پدید آورده است. برای درک مهیب‌بودن این رویداد، در نظر بگیرید که انرژی آزادشده در این رویداد، معادل انرژی‌ای است که خورشید ما طی ۱۵ تریلیون سال آزاد می‌کند. به‌این‌ترتیب لایگو توانست گامی عظیم در رشد درک ما از عالم بردارد و دروازه‌ای جدید به‌سوی عالم برپایان باز کند. در پایان ذکر این نکته ضروری است که این رصد دست‌کم از سه نظر، سنگ شاخصی برای علم و فیزیک به‌شمار می‌رود؛ نه‌تنها نخستین ثبت مستقیم امواج گرانشی است، بلکه نخستین تفکیک مستقیم یک سامانه دوتایی سیاه‌چاله به‌شمار می‌رود و قابل‌دفاع‌ترین شاهد است بر اینکه سیاه‌چاله‌های موجود در طبیعت، همان‌هایی‌اند که نظریه «اینشتین» پیش‌بینی کرده است. اما مهم‌ترین نکته، این است که با این کشف، عصر جدیدی آغاز شده است. تا امروز تنها ابزار ما برای کشف عالم و درک آن وابسته به رصد امواج الکترومغناطیسی بود که درون فضا - زمان منتقل می‌شدند و به ما می‌رسیدند. ما هیچ پیام‌آور دیگری برای رصد و درک عالم در اختیار نداشتیم. حالا این فرصت را به دست آورده‌ایم که جهان را به‌واسطه رخداد کاملاً متفاوتی بررسی کنیم. به گفته «کیپ تورن»، «امواج گرانشی ابزاری برای بررسی سوی خمیده عالم» و از امروز دنیای ستاره‌شناسی حوزه‌ای عملی برای بررسی این سوی خمیده عالم و کشف رازهای آن در اختیار دارد.