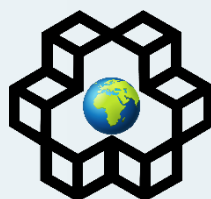


منابع تولید امواج گرانشی

مهران میرشمس
آزمایشگاه تحقیقات فضایی
پاییز ۱۴۰۴



www.spacerl.com

تحولات چشمگیری در کیهان‌شناسی با استفاده از امواج گرانشی در طول یک دهه گذشته به وقوع پیوسته است. تا سال ۲۰۱۵ که اولین موج گرانشی در مرکز تداخل‌سنج لیزری امواج گرانشی (لیگو) ثبت شد، تنها منبع کسب اطلاعات ما از کیهان امواج الکترو مغناطیس بودند. با کشف و شناخت امواج گرانشی منبع ارزشمند دیگری برای شناخت عجایب جهان هستی در اختیار انسان قرار گرفت. طبق نظریه نسبیت عام آقای انیشتین هر جرمی در مختصات فضا-زمان انحنا ایجاد می‌کند. اثر این انحنا به صورت گرانش روی اجرام و محیط اطراف جرم قابل مشاهده و اندازه‌گیری است. اگر جرم به اندازه کافی بزرگ و دارای تغییرات دینامیکی سریع باشد، عامل ایجاد امواج گرانشی است که در پهنه جهان هستی گسترده می‌گردد. عیناً شبیه امواج هم‌مرکزی که در اثر پرتاب یک سنگ در یک برکه آب آرام ایجاد می‌شوند. امواج گرانشی باعث فشردگی و کشیدگی مختصات فضا زمان در مسیر خود می‌شوند، البته به مقدار بسیار کوچک که فقط با دستگاه‌های اندازه‌گیری بسیار حساس و دقیق قابل مشاهده و اندازه‌گیری نیست. طبق تحقیقات و مشاهدات صورت گرفته در طول یک دهه اخیر پدیده‌های کیهانی متنوعی عامل ایجاد امواج گرانشی با ویژگی‌های گوناگون می‌باشند. در ادامه منابع تولید امواج گرانشی که تا بحال شناخته شده‌اند را معرفی می‌کنیم:

۱- ترکیب دو سیاه‌چاله

در سال ۲۰۲۳ موج گرانشی GW231123 ثبت شد. تحلیل آن نشان داد که ترکیب دو سیاه‌چاله به جرم‌های ۱۰۰ و ۱۴۰ برابر خورشید منظومه شمسی عامل ایجاد این موج گرانشی بوده است. ترکیب دو سیاه‌چاله باعث تولد به اصطلاح سیاه‌چاله دختر با جرم ۲۲۵ برابر خورشید شده است. دوتایی سیاه‌چاله‌های ثبت شده سنگین‌ترین سیستم دوتایی سیاه‌چاله شناسایی شده به کمک امواج گرانشی تا آن تاریخ بود. این احتمال وجود دارد که سیاه‌چاله‌های این مجموعه دوتایی خود از ترکیب سیاه‌چاله‌های کوچک‌تر بوجود آمده باشند. البته مقداری از دو جرم اولیه هم برای تولید موج گرانشی مصرف شده بود. (شکل ۱)



Fig. 1 An illustration shows two black holes colliding and merging. (Image credit: Robert Lea (created with Canva))

۲- تصادم ستاره‌های نوترونی

عامل دیگر شناخته شده در تولید امواج گرانشی، تصادم دو ستاره نوترونی می‌باشد. (شکل ۲) ستاره‌های نوترونی مثل سیاه‌چاله‌ها از اجرام بسیار متراکم در جهان هستی هستند. ستاره‌های بزرگ در پایان عمر خود ابتدا به ابر نواختر [supernova](#) و بعد به ستاره نوترونی تبدیل می‌شوند. در سال ۲۰۱۷ سیگنال [GW170817](#) ثبت شد که معرف موج گرانشی حاصل از برخورد دو ستاره نوترونی در فاصله ۱۳۰ میلیون سال نوری از زمین بود. این اولین موج گرانشی

ثبت شده با عاملی غیر از سیاه‌چاله‌ها بود. قبل از آن تصور غالب بر این بود که حاصل تصادم ستاره‌های نوترونی تنها همجوشی هسته‌ای با قابلیت تولید عناصر سنگین‌تر از آهن مانند طلا، نقره و پلوتونیم است.



Fig. 2 Artist's illustration showing the merger of two neutron stars. (Image credit: Robert Lea (created with Canva))

۳- ترکیب سیاه‌چاله و ستاره نوترونی

عامل ثبت شده سوم که توانایی تولید موج گرانشی دارد، ترکیب یک سیاه‌چاله و یک ستاره نوترونی است. سیگنال GW200105_162426 که در سال ۲۰۲۰ ثبت شد، حاکی از ترکیب یک سیاه‌چاله با جرمی $8/9$ برابر خورشید با یک ستاره نوترونی با جرم $1/8$ برابر خورشید بود. (شکل ۳)



Fig. 3 An illustration of a neutron star-black hole mixed merger. (Image credit: Carl Knox, OzGrav – Swinburne University)

تنها چند روز بعد از ثبت اولین ترکیب بین سیاه‌چاله و ستاره نوترونی، سیگنال GW200115_042309 ثبت شد. این سیگنال موج گرانشی بوجود آمده از ترکیب یک ستاره نوترونی با جرمی $1/5$ برابر خورشید با یک سیاه‌چاله با جرم $5/7$ برابر خورشید را نشان می‌داد. فعلاً همه این پدیده‌ها خارج از کپکشان راه‌شیری بوده‌اند و به تدریج علت آن را داریم متوجه می‌شویم!!!! یکی از دستاوردهای مهم این تحقیقات تأیید نظریه آقای جان ویلرز است که می‌گوید سیاه‌چاله‌ها را می‌توان با ۳ خصوصیت جرم، سرعت دوران و شارژ الکتریکی آن‌ها شناسایی و دسته‌بندی کرد.

۴- عامل ناشناخته

در سال ۲۰۱۹ موج گرانشی ثبت شد با کد GW190814 این موج از پدیده‌ای با فاصله ۷۹۰ میلیون سال نوری به زمین رسیده بود. یکی از جرم‌های تولیدکننده این پدیده به احتمال قوی سیاه‌چاله‌ای با جرمی ۲۲ تا ۲۳ برابر خورشید بوده ولی در نوع جرم دوم شک و شبهه وجود داشت. این جرم می‌توانست هم سیاه‌چاله و یا یک ستاره نوترونی باشد با جرمی ۲.۶ برابر جرم خورشید. این یعنی ستاره نوترونی بسیار بزرگ و یا یک سیاه‌چاله بسیار کوچک.

۵- بزرگ‌ترین موج گرانشی ثبت شده

در سال ۲۰۲۵ موج گرانشی GW250114 ثبت شد. عامل تولید این موج گرانشی ترکیب دو سیاه‌چاله بزرگ با جرمی ۳۲ برابر جرم خورشید بوده است. وضوح بسیار زیاد این موج آن را نسبت به بقیه موارد متمایز ساخته است. آنقدر واضح که می‌تواند نظریه نسبیت عام و سایر نظریه‌های موجود در ارتباط با سیاه‌چاله‌ها را محک بزند. (شکل ۴)

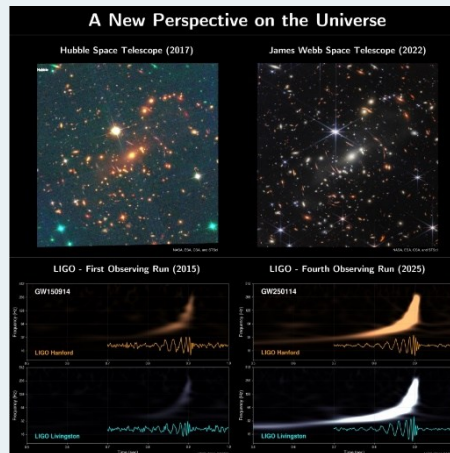


Fig. 4 Infographic showcasing the advancements of gravitational wave observatories — among the most precise measuring machines ever built by humankind, in observing black hole cosmic collisions, with the registered signals shown in the bottom panel. (Image credit: Dr. Derek Davis (Caltech, LIGO Laboratory).)

موج گرانشی GW250114 نشان‌دهنده عملکرد بسیار خوب تئوری نسبیت عام در مدل‌سازی پدیده‌های کیهانی از یک طرف و اشتباه قابل اغماض آقای انیشتین در غیرقابل ثبت بودن امواج گرانشی بود.

مرجع:

LIGO Legacy: 10 incredible gravitational wave breakthroughs to celebrate observatory's landmark 2015 find News By RobertLea published yesterday