

# نظریه نسبیت انیشتین: از خمش فضا-زمان تا امواج گرانشی - دیجیاتو

بشری خردنیا | جمعه، ۳ اردیبهشت ۱۴۰۰

ذهن آلبرت انیشتین فضا و زمان را بازآفرینی کرد و چنان بزرگ و عجیب یک هستی را پیش‌گویی کرد که مرزهای تخیل بشریت را برای همیشه چالش کشید. ایده‌ای که در یک دفتر ثبت اختراع سوئیس زاده شد و در برلین به یک نظریه بالغ تکامل یافت، تصویر بنیادی جدیدی از کیهان را مطرح کرد که ریشه در درک نو و عمیق‌تری از گرانش دارد.

در سمت دیگر، ایده نیوتون با دو قرن سلطنت قرار داشت. این ایده شامل برهمکنش اجرام گسسته با یکدیگر بود. در عوض، انیشتین فضا و زمان را به عنوان پارچه‌ای متحد که توسط جرم و انرژی از شکل خود خارج می‌شدند ارائه داد. اشیا پارچه فضا-زمان را مانند وزنه‌ای که روی ترامپولین باشد منحرف می‌کنند که انحنای پارچه حرکات آن‌ها را هدایت می‌کند. با این رویکرد، گرانش توجیه شد.

## نورها در آسمان خم شدند و مردان علم کم و بیش مشتاق‌اند

در پایان سال 1915، انیشتین در مجموعه‌ای از نشست‌ها تئوری نسبیت عام را شرح داد که البته تا سال 1919 مقبول اذهان عمومی نبود و به آن توجه کافی نمی‌شد؛ اما در سال 1919 پس از خورشیدگرفتگی کامل، نسبیت عام مورد توجه واقع شد.

نسبیت عام پیش‌بینی کرد که یک جسم عظیم، مثلاً خورشید، می‌تواند فضا-زمان را طوری منحرف کند که نور از مسیر مستقیم خود خمیده شود و در نتیجه ستاره‌ها دقیقاً جایی که انتظار می‌رود رویت نشوند! عکس‌های گرفته شده در هنگام خورشیدگرفتگی سندی بر تایید نسبیت عام بود.

## دروازه های آهین را شکسته‌اند و یکدیگر را مصدوم کرده‌اند

حتی یک دهه بعد، جمله‌ی بالا در مجله ساینس نیوز (Science News) با عنوان آشوب‌ها برای درک نظریه انیشتین به چاپ رسید و در آن گفته شده بود: ظاهراً برای مهار ازدحام 4500 نفری که برای شنیدن توضیحات پیرامون نسبیت عام، به موزه‌ی تاریخ طبیعی آمریکا واقع در نیویورک آمده‌اند نیاز به نیروی کمکی پلیس داریم (ش: 1-2-1930، ص. 79).

## نسبیت عام انقلابی در تفکر علمی است که در تاریخ علم بی سابقه است

امروزه با وجود تمام مهارتی که در پیش‌گویی به انیشتین نسبت می‌دهیم. او از این پیش‌گویی روی گردان بود، به طوری که اکنون می‌دانیم که نسبیت عام خیلی بیش از آنچه انیشتین می‌خواست یا قادر به دیدن فهمیدن آن بود مطرح می‌شود.

آنچه که نقاب سکوت و سکون بر چهره زده و به ظاهر یکنواخت و آرام معرفی شده در عوض مکانی پویا است که درعین گسترش قلمروی بی‌پایان خود، شاهد بلوای ادیوهای کیهانی بوده است. کهکشان‌ها در مقیاس‌های فوق‌العاده بزرگتر بسیار وسیع‌تر از چیزی بودند که محققان قبل از قرن 20 انتظار آن را داشتند.

کهکشان‌ها نه تنها زادگاه ستارگان و سیارات بودند؛ بلکه همچون باغ وحشی مملو از اشیاء شگفت‌آور هستند که میل عجیبی را نسبت به نسبیت عام نشان می‌دهند. از جمله ستاره‌های نوترونی که مجموعه‌ی وزن یک ستاره‌ی وزین را در اندازه‌ی یک شهر جای داده‌اند و سیاه‌چاله‌ها که فضا-زمان را چنان منحرف می‌کنند که حتی نور هم توانایی گریز ندارد.

با برخورد این غول‌ها به یکدیگر، فضا-زمان متزلزل می‌شوند که با انفجار مقدار هنگفتی از انرژی همراه است. کهکشان خشن ما در حال تکامل و همراه با احتمالات علمی-تخیلی است که مستقیماً از دل نسبیت عام برمی‌آیند.

**سال پرموتر: «نسبیت عام نمایشگاهی عظیم از چیزهایی را به ما عرضه کرد که باید به آن نگاه کنیم، آن‌ها را بیازماییم و با آن سرگرم شویم.»**

وی که اخترازی‌یکدان از دانشگاه برکلی کالیفرنیا است در میان صحبت خود به این ایده اشاره می‌کند که جهان در طول زندگی خود به طرز چشمگیری تغییر می‌کند و اضافه کرد که مطرح کردن عمر یک جهان تصور غلطی است و علاوه بر این‌ها درباره‌ی موضوعاتی همچون انبساط کیهان و یا سقوط آن و احتمال وجود هستی‌های دیگر سخن می‌گوید و در آخر می‌گوید شما درک خواهید کرد که جهان می‌تواند بیش از آنچه که ما در حال حاضر قادر به تصور آن هستیم مجذوب کننده باشد.

## یک تصویر در حال گسترش

معادلات نسبیت عام انیشتین سرچشمه دیدگاه عصر حاضر درباره کیهان است. این نظریه همچنان به تاملین کردن بسیاری از سوالات غنی می‌پردازد که دیوید اسپرگل متخصص فیزیک نجومی و عضو افتخاری انجمن علمی و ناشر مجله ساینس نیوز از موسسه تحقیقاتی فلاتیرون بنیاد سیمونز در نیویورک ( Simons Foundation's Flatiron ) می‌گوید: «این باورنکردنی است.»

در طول قرن گذشته، ما اجرامی کیهانی را کشف کردیم که از تصورات پیشین ما پیروی نمی‌کنند، همچنین برخی حقایق مهم درباره‌ی کیهان را آموختیم؛ مثلاً جهان با نرخ سریعی در حال انبساط

است. جهان با انفجار 13.8 میلیارد سال پیش آغاز شد و اشکال مرموز ماده و انرژی به روش‌های غیرقابل پیش‌بینی و ناشناخته در حال شکل دادن به کیهان هستند.

نسبیت عام به بنیادی برای درک امروز کیهان مبدل شده است. اما تصویر کنونی بشر از جهان هستی شفاف نیست. هنوز سوالات زیادی درباره‌ی ماده‌ها و نیروهای ناشناخته، آغاز و پایان جهان، چگونگی علوم در سامانه‌های بزرگ و بسیار کوچک و مکانیک کوانتومی باقی مانده است.

از جنبه‌های نسبیت که در ابتدا کم‌ارزش شمرده شده میتوان به نیروی خمیدگی نور و تاثیر آن در ترسیم و شفاف‌سازی کیهان اشاره کرد. برخی از ستاره‌شناسان معتقدند مسیر امیدوارکننده‌ای برای پاسخ به دیگر پرسش‌هایی که ریشه در ناشناخته‌های نسبیت عام دارند وجود دارد.

دانشمندان امروزه به کنجاوی و تحقیق در زمینه‌ی نسبیت عام ادامه می‌دهند تا سرخ‌هایی که از دست داده‌اند یا هنوز درک نکرده‌اند را پیدا کنند.

## **نسبیت عام دید ما را نسبت به کیهان گسترش داد و درک بالاتری از کیهان را به ما عرضه کرد.**

آزمایش کردن این نظریه باعث می‌شود که مشکلات و خطاهای نسبیت برطرف و اصلاح شود و تصویر کامل‌تری از کیهان برای بشریت ترسیم شود و بنابراین بیش از یک قرن پس از ارائه نسبیت عام هنوز چیزهای زیادی برای گفتن باقی مانده است و جهان ممکن است هنوز سرکش‌تر از دانسته‌های ما باشد.

### **غول‌آسای حریص**

کمی بیش از یک قرن پس از رونمایی انیشتین از نسبیت عام، در سال 2019، شبکه جهانی تلسکوپ‌ها تصویری از جرمی که فضا-زمان را منحرف میکند را با اشتیاق منتشر کردند. جرمی که هیچ چیز، حتی نور، توانایی گریز از آن را ندارد و در آن به دام می‌افتد.

دانشمندان تصویر یکی از گیراترین ناشناخته‌های کیهان را تایید کردند. تصویری که توسط تلسکوپ افق رویداد (Event Horizon) برای اولین بار در مرکز کهکشان ام 87 گرفته شد.

در سال 2019، با همکاری تلسکوپ Event Horizon اولین تصویر از یک سیاه‌چاله در قلب کهکشان ام 87 منتشر شد.

آکیاما یکی از تیم‌هایی را که در خلق این عکس موثر بودند را رهبری می‌کرد. وی افزود: «من تا حدی انتظار دیدن چنین چیزی عجیبی را داشتم، اما پس از نگاه کردن به تصویر، خدای من! این کاملاً چیزی است که ما از نسبیت عام انتظار داریم.»

برای مدت طولانی سیاه‌چاله‌ها یک موضوع عجیب ریاضی بودند و تا نیمه‌ی دوم قرن بیستم شواهدی از وجود آن‌ها در فضا ارائه نشده بود.

این یک موضوع معمولی در تاریخچه فیزیک است. ناهنجاری در برخی از معادلات نظریه پردازان به پدیده‌ای ناشناخته اشاره داشت که آغازگر جست‌وجوی شواهد در این باره بود و پس از دستیابی به اطلاعات اگر فیزیکدانان کمی خوش‌شانس بودند جست‌وجو به کشف تبدیل می‌شد.

در سال 1916، اندکی پس از اینکه انیشتین معادلات نسبیت عام را پیشنهاد داد، کارل شوارتزیلد، فیزیکدان آلمانی، در مورد سیاه‌چاله‌ها راه‌حلی برای معادلات انیشتین در نزدیکی یک جرم کروی مانند یک سیاره یا یک ستاره ارائه داد.

ریاضیات شوارتزیلد نشان می‌داد که چگونه منحنی فضا-زمان در اطراف ستاره‌هایی با جرم یکسان می‌تواند متغیر باشد ولی در ابعاد کوچکتر پیوسته بیشتر شود، به عبارت دیگر ستاره‌ها بیشتر و بیشتر متراکم می‌شوند. در خارج از ریاضیات محدودیتی با این رویکرد مطرح شد که چگونه یک جرم کوچک می‌تواند فشرده شود!

در سال 1930، رابرت اوپنهایمر و هارتلند سیندر توضیح دادند که چه اتفاقی می‌افتد اگر یک ستاره عظیم در حال سقوط زیر وزن جاذبه خود به حدی از اندازه بحرانی آن کاسته شود- چیزی که امروز آن را به عنوان شعاع شوارتزشیلد می‌شناسند- به نقطه‌ای می‌رسد که هیچ نوری از آن به ما نمی‌رسد. هنوز هم، انیشتین و دیگران، شک داشتند که آنچه در حال حاضر سیاه‌چاله‌ها می‌نامیم، در واقعیت وجود دارد یا خیر.

اختروش‌ها به قدری درخشان هستند که می‌توانند از کهکشانی که در آن ساکن هستند روشن‌تر باشند. این انفجارها شاید در ابتدا بیهوده به نظر برسند اما توسط سیاه‌چاله‌های عظیم پشتیبانی می‌شوند.

فقط چند ماه بعد، اروینگ ازکشف اختروش‌ها خبر داد و خطاب به مجله‌ی science news letter چنین آن‌ها را توصیف کرد که دورترین، درخشان‌ترین، خشن‌ترین و وزین‌ترین و خیره‌کننده‌ترین منبع نور و امواج رادیویی هستند. در آن زمان سخنی از سیاه‌چاله‌ها به میان نیامده بود و اختروش‌ها به عنوان نیروگاه‌های کیهانی برای فراهم کردن چنین انرژی‌هایی برشمرده می‌شدند.

در دهه 1960، استفاده از اخترشناسی پرتو ایکس ویژگی‌های جدیدی از کیهان را نمایان کرد که شامل روشنی چراغ‌هایی بود که می‌تواند از بلع یک ستاره توسط سیاه‌چاله به وجود آیند. حرکت ستارگان و ابرهای گازی در نزدیکی مرکز کهکشان‌ها خبر از درک‌مین بودن چیزی می‌دهند.

اما در باغ وحش جانوران کیهانی سیاه‌چاله‌ها تا حد بیشتری خودنمایی می‌کنند، بزرگترین سیاه‌چاله‌ها جرمی معادل میلیون‌ها برابر خورشید دارند و وقتی ستاره‌ای را می‌شکافند ذراتی با انرژی 200 تریلیون الکترون ولت را به اطراف پرتاب می‌کنند که این انرژی حدوداً 30 برابر انرژی پروتون‌هایی است که اطراف بزرگ‌ترین و قدرتمندترین شتاب‌دهنده ذرات جهان (برخورددهنده بزرگ هادرونی) می‌چرخند.

با توجه به شواهد موجود از دهه 1990 تا امروز دانشمندان دریافتند که این جانوران کیهانی نه

تنها خیالی نیستند؛ بلکه به شکل‌گیری کیهان کمک می‌کنند.

این اجرامی که نسبت عام آن‌ها را پیش‌بینی می‌کرد، ناهنجاری‌های ریاضی بودند که واقعی شدند و در ابتدا مسائل حاشیه‌ای بودند و در حال حاضر مرکز توجه هستند، آن‌ها در مرکز کهکشان همه‌چیز را معین می‌کنند.

حال می‌دانیم که سیاه‌چاله‌های عظیم حداقل در مرکز بیشتر کهکشان‌ها، دقیقاً همان‌جایی که بر نحوه شکل‌گیری ستاره‌ها اثر می‌گذارند و از آن انرژی تولید می‌کنند، زندگی می‌کنند.

با اینکه از تایید تصویر سیاه‌چاله مدت زمان زیادی نمی‌گذرد؛ اما به نظر می‌رسد سیاه‌چاله‌ها از مدت‌ها قبل آشنا بودند. آن‌ها سند معتبر برای هر فضای ناشناخته، هر ورطه بی‌پایان و سمبل هر تلاشی است که تلاش‌های دیگر را جبران می‌کند، در حالی‌که بازدهی ناچیزی را دریافت می‌کند.

فقط فکر کردن درباره‌ی ابعاد این اجرام یا در مورد اینکه چه قدر بزرگ، سنگین یا حجیم باشند کافی است تا به نفس‌گیر بودن آن پی ببریم.

## امواج فضا-زمان

وقتی موجودات نسبت عامی با هم برخورد می‌کنند، ساختار کیهانی را مختل می‌کنند و امواج در فضا-زمان به نام امواج گرانشی به سمت خارج جاری می‌شوند.

ریاضیات انیشتین پیش‌بینی کرد که چنین امواجی نه تنها با برخورد عظیم، بلکه با انفجارها و سایر اجسام شتاب‌دهنده نیز ایجاد می‌شوند؛ اما برای مدت زمانی طولانی، مکان‌یابی هر نوع موج فضا-زمانی رویایی دور از دسترس بود و تنها از چشمگیرترین اقدامات کیهانی ایجاد سیگنال‌هایی است که به اندازه‌ی کافی برای تشخیص مستقیم بزرگ باشند. انیشتین، که این امواج را گرانش می‌نامید از وقوع چنین اتفاقات شگرفتی در کیهان بی‌خبر بود.

در ابتدای 1950 و زمانی که دیگران هنوز درباره واقعی بودن و وجود امواج گرانشی بحث می‌کردند، ژوزف وبر فیزیکدان، تمام تلاش خود را در راه شناخت آن‌ها به کار گرفت. وی پس از یک دهه تلاش بیشتر در سال 1969 ادعا کرد که سیگنالی که احتمالاً از سمت یک ابرنواختر یا از یک نوع ستاره تازه که به سرعت در حال چرخش است به اسم تپ‌اختر را شناسایی کرده است.

چند سال پس از دریافت گزارش اولیه مبنی بر این ادعا، ساینس نیوز بیش از دوازده داستان در مورد آنچه «مشکل وبر» نامیده می‌شود منتشر کرد (شماره: 6/21/69 ص. 593)، مطالعه پشت مطالعه بی‌فایده است و به علاوه هیچ منبعی از امواج یافت نمی‌شوند.

با این وجود وبر تا زمان مرگ خود یعنی سال 2000 به ادعای خود پایبند بود، اما این ادعا هرگز تایید نشد. با این حال بسیاری از دانشمندان به این باور داشتند که امواج گرانشی پیدا خواهند شد.

در سال 1974، رادیواخترشناسانی با نام راسل هالس و ژوزف تیلور یک ستاره نوترونی را با یک همراه چگال در نزدیکی آن یافتند. در طی سال‌های بعد استنباط شد که اگر ستاره نوترونی و همراه آن، انرژی امواج گرانشی را از دست بدهند به یکدیگر نزدیک‌تر خواهند شد و سپس دانشمندان نه تنها درباره مسئله و بر بلکه درباره اینکه چگونه و با چه تجهیزاتی می‌توان امواج را دریافت کرد صحبت می‌کردند.

این یک استراتژی تشخیص متفاوت بود که دهه‌ها تلاش برای حساسیت لازم در پس آن خفته بود.

رصدخانه موج گرانشی با تداخل‌سنج لیزری یا LIGO که در سال 2016 اولین موج گرانشی تایید شده را گزارش کرد، به دو ردیاب متکی است که یکی درهانفورد واشنگتن و دیگری در لیوینگستون لس آنجلس قرار دارند.

هر آشکارساز پرتوی قدرتمند لیزر را به دو قسمت تقسیم می‌کند و هر کدام از پرتوها به سمت پایین یکی از دو آشکارساز حرکت می‌کنند. در نبود امواج گرانشی این دو پرتو دوباره ترکیب شده و یکدیگر را از خنثی می‌کنند. اما اگر امواج گرانشی یکی از بازوها را تحت کشش قرار دهند، درحالی که دیگری را فشرده‌اند نورهای لیزر دیگر مطابقت نخواهند داشت.

حتی موج‌های کوچک فضا-زمانی که از برخورد سیاه‌چاله‌ها کشف می‌شوند نیز ممکن است بازوی آشکارساز (ligo) را به اندازه‌ی یک ده‌هزارم عرض یک پروتون تحت تاثیر قرار دهند.

این کشف به عنوان آغاز دوره جدیدی در نجوم اعلام شد. این داستان در سال 2016 در ساینس نیوز منتشر شد و چنان قدم بزرگی بود که که پیشگامان ligo سال بعد برنده نوبل فیزیک شدند.

دانشمندان با ligo و یک آشکارساز موج گرانشی دیگر، virgo، مستقر در ایتالیا، اکنون ده‌ها کشف دیگر را ثبت کرده‌اند. بیشتر امواج از ترکیب سیاه‌چاله‌ها حاصل می‌شوند.

اگرچه چند مورد از ستاره‌های نوترونی نیز وجود دارد که تاکنون زادگاه برخی عناصر سنگین را که سابقاً ناشناخته بودند را آشکار کرده است که به فورانی درخشان از ذرات زیراتمی باردار اشاره می‌کند که می‌تواند سرنخ‌هایی از چشمه‌های مرموز نورهای پرنرژی که به انفجارهای پرتوهای گاما معروف هستند را ارائه دهد. این امواج همچنین نشان داده‌اند که سیاه‌چاله‌های متوسط، جرمی بین 100 تا 100000 برابر خورشید دارند که حداقل تا کنون مهر تاییدی بر حرف انیشتین بوده است.

نجوم امواج گرانشی در ابتدای کار خود است. اما با این وجود حساسیت ردیاب‌های موجود بر روی زمین بهبود یافته که خود باعث افزایش حجم امواج گرانشی می‌شود و این مهم امکان تشخیص از منابع کم‌انرژی و دوردست را فراهم می‌کند. ردیاب‌های نسل جدید از جمله آنتن فضایی تداخل‌سنج لیزری (lisa) (laser interferometer space antenna) که مبتنی بر فضا هستند و برای دهه 2030 برنامه‌ریزی شده‌اند.

بی‌شک هیجان‌انگیزترین چیز می‌تواند مشاهده سقوط یک سیاه‌چاله کوچک به درون یک سیاه‌چاله‌ی بزرگ باشد. در چنین رخدادی، سیاه‌چاله‌ی کوچک به سرعت عقب و جلو می‌شود و در جهات مختلف به چرخش در می‌آید. به‌گونه‌ای که مدارهایی با خروج از مرکز بزرگ را احتمالاً برای سال‌ها می‌پیماید.

[دیجیاتو](#)