عنوان:

امواج گرانشی و آشکارسازی آن‌ها

پژوهشگر: لیلا رستمی (دبیر ناحیه یک سنندج)

فهرست مطالب

فصل اول- امواج گرانشی

۱. مقدمه ----------۵

۲. تاریخچه ----------۵

۳. نظریه‌ی امواج گرانشی ----------۷

---

۵. تفاوت امواج گرانشی با امواج الکترومغناطیسی ----------۱۷

فصل دوم- آشکارسازی امواج گرانشی ----------۱۹

۱. تاریخ آشکارسازی امواج گرانشی ----------۲۰

۲. کشف امواج گرانشی ----------۲۳

مراجع ----------۵۶

فصل اول

امواج گرانشی

مقدمه

در اوایل قرن بیستم میلادی فیزیک با تحولات عظیمی رو به رو شد این تحولات باعث دگرگونی نحوه نگرش بشر به جهان هستی شد. مکانیک کوانتمی و نظریه نسبیت اینیشتین در آن دوران متولد شدند. نظریاتی که تفاوت اصلی آنها با فیزیک کلاسیک در نوع نگاهشان به عالم هستی بود.

از این نظریات به مرور زمان نتایج شگفت انگیزی به دست آمد که تعدادی از آنها هنوز هم از مسائل بحث بر انگیز علم هستند.

یکی از نتایج نسبیت عام اینیشتین که سالها فیزیکدانان را به خود مشغول کرده است امواج گرانشی است. آشکار سازی آن مهر تاییدی بر این نظریه خواهد بود.

در نسبیت عام گرانش به دلیل انحنای فضا-زمان است هر چه اجرام سنگین تر باشند این انحنا بیشتر است و در نتیجه گرانش قویتر خواهد بود. تحت شرایط خاصی اجسام شتابدار نوعی اختشاش در فضا-زمان ایجاد می‌کنند این اختشاشات مانند امواج روی سطح آب پخش می‌شوند. طبق نظریه نسبیت موج گرانشی با سرعتی برابر سرعت نور در عالم حرکت میکند، شدت آن کاهش می یابد ولی متوقف یا کند نمی شود.

در این متن سعی شده است که بدون پرداختن به ریاضیات و محاسبات پیچیده اطلاعاتی درباره امواج گرانشی و آشکار سازی آنها در اختیار خواننده قرار داده شود [۱].

تاریخچه

در سال ۱۹۱۶ آلبرت اینیشتین[۱] نظریه نسبیت عام خود را ارائه داد. یکی از پیامد های این نظریه امواج گرانشی بود. بر اساس نظریه کلاسیکی گرانش برهم کنش گرانشی بین دو جسم به صورت آنی می باشد. در حالی که طبق نظریه نسبیت خاص هیچ چیزی نمی تواند با سرعتی بیشتر از سرعت نور حرکت کند پس هنگامی که دو جسم برهم گرانش وارد می کنند اگر جرم یکی از آنها ناگهان عوض شود و میدان گرانشی متفاوتی درست کند. جسم دیگر به طور آنی متوجه این تغییرات نمی شود. بلکه این تغییرات با سرعت نور از مرکز جسم در فضا پخش می شوند. این اثر باعث به وجود آمدن امواج گرانشی می شود.

برای مثال اینیشتین فهمید که این امواج ویژگی بسیار مهمی دارند این موج‌ها مقداری از انرژی دمبل را به بیرون می برند درست مانند امواج الکترومغناطیسی که انرژی چشمه را به بیرون تابش می‌کنند او حتی فرمولی به دست آورد که تعیین می‌کرد در نتیجه تابش امواج گرانشی انرژی مجموعه‌ای مثل یک دمبل چرخان با چه آهنگی کم می‌شود. مقاله اینیشتین در مورد امواج گرانشی در ۱۹۱۶ چاپ شد و بیش از چهل سال این مقاله تنها چیزی بود که درباره امواج گرانشی گفته شد تا مدت‌ها اختلاف نظر بود که آیا این موج‌ها واقعی‌اند و یا نتیجه مصنوعی ریاضیات هستند

طی سال‌های بعد اینیشتین ۱۹۱۸ ویل[۲] ۱۹۹۲ و ادینگتن[۳] ۱۹۲۴ به فعالیت روی کارهای اولیه اینیشتین

[۱] Albert Einstein
[۲] Will
[۳] Eddington

پرداختند در نتیجه در اواسط دهه ۱۹۲۰ نظریه خطی امواج گرانشی کاملا شناخته شده بود اگر چه حداقل

ادینگتن فهمیده بود که برای چشمه‌های با خودگرانی قابل توجه تحلیل خطی جواب‌گو نیست.

لانداو[۱] و لیفشیتز[۲] در سال ۱۹۴۱ اولین توصیف انتشار موج از سیستم‌های خودگرانی زیاد را ارائه کردند که نسبتا قابل قبول بود. ولی در اواخر دهه ۱۹۴۰ و ۱۹۵۰ مجموعه ای از تلاشهای بی ثمر برای تحلیل فرایند تابش امواج گرانشی در چنین سیستم هایی به باور فیزیک دانان در مورد توانایی امواج گرانشی در انتقال انرژی لطمه زد.

در سال ۱۹۶۰ به دو علت ایده امواج گرانشی دوباره زنده شد نخست اینکه نظریه پردازان نسبیت به دقت ثابت کردند تابش گرانشی واقعا پدیده ای است فیزیکی و مشاهده پذیر و امواج گرانشی حامل انرژی‌اند و سیستمی که امواج گرانشی می‌تاباند انرژی از دست می‌دهد. دوم این که جست و جو برای آشکارسازی امواج گرانشی کیهانی برای اولین بار توسط جوزف وبر[۳] در ۱۹۶۰ آغاز شد[۱].

نظریه‌ی امواج گرانشی

همان طور که گفته شد امواج گرانشی امواجی در فضا-زمان هستند که به وسیله‌ی اجسام دارای جرم و شتاب به وجود می‌آیند. دلیل به وجود آمدن امواج گرانشی این است که اطلاعات گرانشی نمی‌توانند با سرعت بیشتر از سرعت نور منتقل شوند. این محدودیت در سرعت باعث می‌شود هنگامی که اجرام با شتاب در فضا –زمان حرکت می‌کنند اختشاش‌های در فضا–زمان تولید کنند که به این اختشاش ها امواج گرانشی می‌گویند.

گذاشت (تاثیر منفی) هر چند ما میدانیم که همیشه امواج گرانشی کوچکی در حال عبور از سراسر جهان هستند و به صورت تصادفی با همدیگر ترکیب می‌شوند. این امواج در تمام جهات چیزهایی را می‌سازند که ما به آنها ((سیگنال های تصادفی[۴])) می‌گوییم. به این دلیل که ممکن است آشکارسازی و مشاهده شوند اما دقیقا قابل پیش‌بینی نیستند. این امواج سخت ترین و کوچک ترین امواج برای شناسایی هستند.

ممکن است که حداقل بخشی از این سیگنالهای تصادفی از انفجارهای بزرگ مانند بینگ بنگ سرچشمه گرفته باشند [۶].

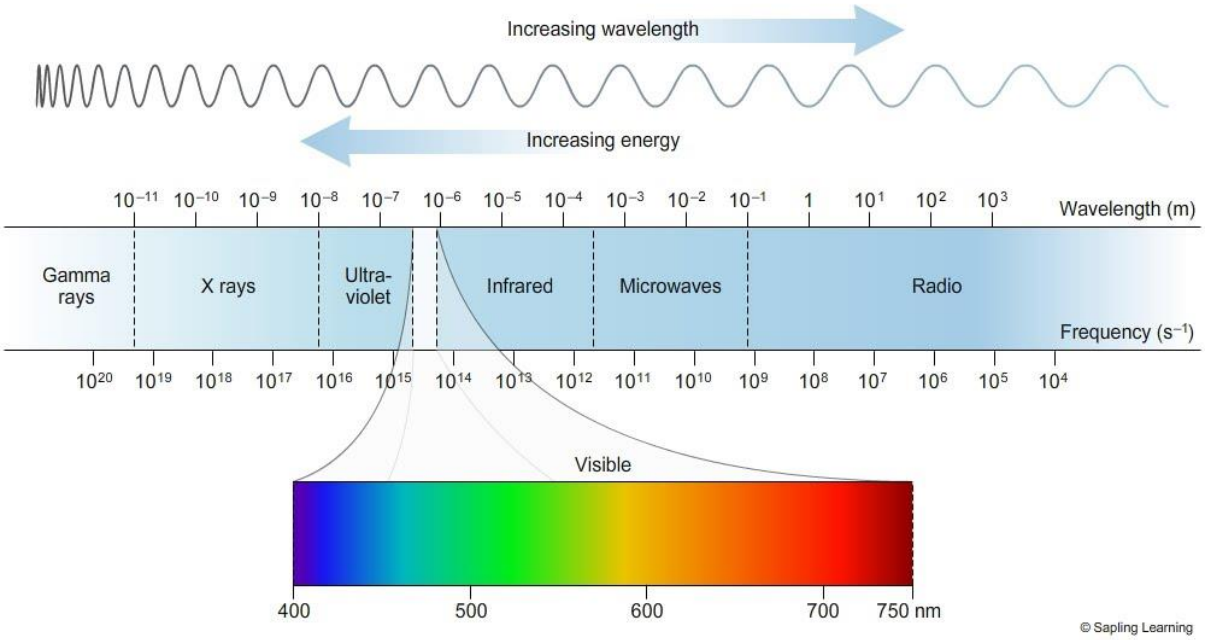
تفاوت امواج گرانشی با امواج الکترومغناطیس

امواج گرانشی با امواج الکترومغناطیسی فرق دارند. بیشتر امواج الکترومغناطیسی از اتم‌ها و مولکول‌های برانگیخته ساطع می‌شوند. اما امواج گرانشی از اجرام سنگین شتابدار منتشر می‌شوند.

امواج الکترومغناطیسی به راحتی به وسیله‌ی اجسام مادی که در سر راه شان قرار می‌گیرند جذب و یا تضعیف می‌شوند. ولی امواج گرانشی بدون تعامل (یا با تعامل کمی) از مواد و هر چیزی که سر راهشان باشد عبور و تقریبا بدون محدودیتی در کل عالم هستی حرکت می‌کنند. بنابراین می‌توان انتظار داشت که آشکارسازی امواج گرانشی نگاه جدید و متفاوتی از عالم ارائه دهد. مثلاً می‌تواند منجر به بینش جدیدی از سیاهچاله‌ها، ستاره‌های نوترونی و فرایندهای درونی انفجارهای ابرنواختری شود [۶].

[۱] Landau
[۲] Lifshitz

امواج گرانشی مانند امواج الکترومغناطیسی داری طیف فرکانسی هستند که انواع آن را با توجه به فرکانس‌شان دسته بندی می‌کنند. فرکانس امواج الکترومغناطسی معمولا از فرکانس‌هایی زیاد 10^{20} hz با طول موج های کم شروع شده و به فرکانس‌هایی در حدود 10^{4} hz و طول موج‌های بلند



ختم می شود.

/

شکل ۱-۵: طیف امواج الکترومغناطیسی

اما فرکانس امواج گرانشی به طور معمول از 10^{4} hz با طول موج‌های کوتاه در حدود میلی ثانیه شروع شده و به امواجی با فرکانس 10^{-17} hz با طول موج‌هایی بلند در حدود ابعاد کل کیهان ختم می شود.غلب تابش امواج الکترومغناطیسی به شکل دو قطبی هستند اما حالت غالب تابش امواج گرانشی چهار قطبی است [۱۰]

آشکارسازی امواج گرانشی

تاریخ آشکارسازی امواج گرانشی

تاریخچه‌ی آشکار سازی امواج گرانشی به صورت جدی در اواخر دهه ۱۹۵۰ برای اولین بار توسط شخصی به نام جوزف وبر به وسیله آشکارسازی که ساخته بود آغاز شد. این آشکارساز میله رزونانس[۱] نام داشت دراین زمان هنوز هیچ چیزی درمورد چشمه‌های احتمالی امواج گرانشی نمی‌دانستند و تکنولوژی در حدی بود که احتمال موفقیت برای این آشکارساز خیلی کم بود.

آشکارساز میله رزونانس در پهنای باند فرکانسی کوچکی کار می‌کرد و به وسیله اندازه‌گیری تشدید ارتعاشات در یک میله فلزی (معمولا آلومینیومی) به قطر تقریبا ۰.۵ متر و طول ۱ تا ۲ متر هنگامی که امواج گرانشی از آن عبور می‌کردند کار می‌کرد. وقتی که موج گرانشی در امتداد عمود بر محور میله می‌گذرد تنشی که موج وارد می‌کند سعی می‌کند که دو سر استوانه را دور و نزدیک کند. این دو انتها به دلیل ماده‌ایی که بینشان قرار دارد نمی‌توانند آزادانه حرکت کنند. درعوض نیروهای حاصل از عبور موج گرانشی باعث می‌شود دو انتها با بسامدهایی که از مشخصه‌های میله است نوسان کنند. دقیقا مانند دو جرم که با فنر به هم بسته شده‌اند. طراحی آشکارساز میله رزنانس شامل یک سیستم سرد کننده برای کاهش حرارت وحرکت های درونی میله وبهبود بخشیدن به حساسیت آشکارساز می‌باشد.

[۱] Resonant bar detectors

با اینکه بعد از یک دهه تلاش، وبر (۱۹۶۹) اعلام کرد که آشکارسازهای او (یکی در نزدیکی واشنگتن‌دیسی[۱] و دیگری در نزدیکی شیکاگ[۲]) به صورت همزمان توسط امواج گرانشی برانگیخته شده‌اند. اما با توجه به اینکه این آزمایش دوباره تکرار نشد نتایج او مورد قبول جوامع علمی قرار نگرفت. متاسفانه حتی با افزایش حساسیت این نوع آشکارسازها دلیل قانع کننده‌ایی بر مشاهده امواج گرانشی ارائه نشد.

درسال های اخیر جوامع علمی تمرکز خود را بیشتر برروی آشکارسازهای امواج گرانشی تداخل سنجی قرار داداند. طراحی تداخل‌سنج‌های امواج گرانشی اساسا همان ایده تداخل‌سنج می باشد که می‌تواند تغییرات کوچکی بین دو جرم آزمون را اندازه‌گیری کند. این تغییرات می‌تواند به وسیله امواج گرانشی ایجاد شده باشند. اولین کسی که ایده‌ی اولیه‌ی تداخل سنجی امواج گرانشی لیزری را داد راینر وایس[۳] بود او فیزیکدانی در دانشگاه MIT[۴] است [۱و۲و۱۱].

اولین نسل از آشکارسازهای تداخل‌سنج زمینی درسال های ۱۹۹۵ تا ۲۰۰۰ ساخته شده بودند. اولین نسل از شناخته ترین آشکارسازهای امواج گرانشی زمینی، آشکارساز LIGO[۵] در آمریکا، virgo در ایتالیا و فرانسه، GEO۳۰۰ در آلمان و انگلیس و TAMA۳۰۰ در ژاپن بودند. طراحی این آشکارسازها به گونه‌ایی بود که امواج گرانشی با فرکانس هایی در محدوده فرکانس صوتی یعنی ۲۰ Hz تا ۲۰ kHz را آشکار می‌کردند.

با این وجود حساسیت آشکارسازهای امواج گرانشی نسل اول به اندازه‌ایی نبود که بتوانند در هیچ یک از فرکانس های گفته شده امواج گرانشی را آشکار کنند. در حال حاضر برروی آشکارسازهای نسل سوم کار می‌کنند این آشکارسازها ارتقا یافته نسل دوم آشکار سازها هستند. آشکار سازهای نسل دوم عبارتند از Advanced LIGO ، Advanced Virgo , GEO۶۰۰ و نسل دوم آشکارساز ژاپن که KAGRA[۶] نام دارد که در حال توسعه آن هستند. بسیاری از اجزا GEO۳۰۰ ارتقا پیدا می کند و با این ارتقا نسل دوم این آشکار سازها به نام GEO۶۰۰ شروع به کار خواهد کرد. این ارتقا حساسیت این آشکارساز را به حساسیت LIGO می‌رساند با وجود اینکه طول بازوهای آن از طول بازوهای LIGO کوتاهتراست.

طبیعت امواج گرانشی به گونه‌ایی است که نیازمند تکنیک‌ها و تکنولوژی‌های جدید و پیشرفته می‌باشد. این تکنولوژی‌ها و تکنیک‌ها نیاز به سالهای زیادی برای پیاده سازی دارند. در طراحی‌های اولیه‌ای که برای نسل سوم این آشکارسازها پیش‌بینی شده حساسیت این آشکارسازها ۱۰۰ برابر حساس تر از نسل اول آنها می‌شود. این در حالی است که آشکارسازهای نسل دوم نسبت به آشکارسازهای نسل اول فقط ۱۰ برابر حساس تر خواهند بود [۲].

LIGO اولین تداخل‌سنج امواج گرانشی بود که ساخته شد. وایس در سال ۱۹۷۲ مقاله‌ای منتشر کرد و در آن طراحی اولیه‌ی تداخل سنجی امواج گرانشی لیزری (LIGO) را پیشنهاد کرد. در سال ۱۹۷۹ بودجه‌ی تحقیق و توسعه‌ی آن داده شد و در سال ۱۹۹۴ کار ساخت LIGO شروع شد. این رصدخانه‌ی ۲۷۲ میلیون دلاری از سال ۲۰۰۱ شروع به جمع آوری داده کرد [۱۱].

تاریخچه‌ی جستجوی امواج گرانشی در یک نگاه :

---

[۱] Washington, D.C
[۲] Chicago

[۳] Rainer Weiss
[۴] Massachusetts Institute of Technology

[۵] Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory (LIGO)
[۶] Kamioka Gravitational Wave Detector (KAGRA)

۱۹۱۵؛ آلبرت اینشتین نظریه‌ی نسبیت عام را ارائه می‌کند. او گرانش را همان خمیدگی فضا–زمان که بر اثر تجمع جرم یا انرژی بوجود می‌آید، معرفی می‌کند.

۱۹۱۶؛ اینشتین پیش‌بینی می‌کند که اجرام خیلی سنگین وقتی حرکت می‌کنند باعث ایجاد نوساناتی در فضا–زمان می‌شوند. منظور او همان امواج گرانشی بود.

۱۹۳۶؛ اینشتین برخلاف پیش‌بینی اولیه، استدلال‌هایی مبنی بر عدم وجود امواج گرانشی ارائه می‌کند.

۱۹۶۲؛ دو فیزیک‌دان روس مقاله‌ای منتشر می‌کنند در آن می‌گویند که با استفاده از روش‌های اپتیکی می‌توان امواج گرانشی را ثبت کرد.

۱۹۶۹؛ فیزیک‌دانی به نام جوزف وبر ادعا می‌کند که با استفاده از استوانه‌های عظیم آلومینیومی می‌توان امواج گرانشی را ثبت کرد.

۱۹۷۲؛ راینر وایس از دانشگاه MIT به صورت مستقل راهی را برای کشف امواج گرانشی با استفاده از روش اپتیکی پیشنهاد می‌کند.

۱۹۷۴؛ ستاره‌شناسان تپ‌اختری را کشف کردند که به دور یک ستاره‌ی نوترونی گردش می‌کند و به نظر می‌رسد که سرعت گردش آن‌ها به دلیل تابش گرانشی کم می‌شود.

۱۹۷۹؛ موسسه‌ی ملی علوم آمریکا به انستیتوی فناوری کالیفرنیا بودجه‌ی توسعه‌ی طراحی رصدخانه‌ی لایگو را اعطا می‌کند [۱۱].

مراجع

[۱] امواج گرانشی مقالهٔ درس کیهانشناسی ۲۴۹۲۲–۱

[۲] Precision Interferometry in a New Shape ۲۰۱٤ , SBN ۹۷۸-۳-۳۱۹-۰۱۳۷٥-٦ , DOI ۱۰.۱۰۰۷/۹۷۸-۳-۳۱۹-۰۱۳۷٥-٦

[۳] Advanced LIGO, Advanced VIRGO and KAGRA: Precision Measurement for Astronomy Stefan Ballmer For the LVC Miami ۲۰۱۲ Dec ۱۸, ۲۰۱۲ LIGO-G۱۲۰۱۲۹۳

[٤] www.ligo.caltech.edu

[٥] https://en.wikipedia.org/wiki/Gravitational_wave#/

[٦] http://www.ligo.org

[۷] https://inspirehep.net/record/۱۲٥۰۷٥۳/plots

[۸] Gravity: Where Do We Stand? ۲۰۱٦ , ISBN ۹۷۸-۳-۳۱۹-۲۰۲۲٤-۲

[۹] https://www.nasa.gov

[۱۰] www.tapir.caltech.edu

[۱۱] www.sciencemag.org

[۱۲] http://thomaspynchon.com/the-science-of-vectors-spacetime-and-light-in-against-the-day/

[۱۳] Advanced Interferometers and the Search for Gravitational Waves ۲۰۱٤ , ISBN ۹۷۸-۳-۳۱۹-۰۳۷۹۲-۹ , DOI ۱۰.۱۰۰۷/۹۷۸-۳-۳۱۹-۰۳۷۹۲-۹

[۱٤] en.wikipedia.org

[۱٥] http://www.drnayerimehbang.com

https://en.wikipedia.org/wiki/Gravitational_wave Search for Gravitational Waves

Advanced LIGO, Advanced VIRGO and KAGRA: Precision Measurement for Astronomy.pdf

LIGO detects gravitational waves -- announcement at press conference (part ۱)

http://www.geo٦۰۰.org/

http://www.virgo-gw.eu/