نیروهای
اساسی و امواج گرانشی

مقدمه

گرانش یکی از چهار نیروی اساسی طبیعت است که
ماهیت عمل آن نظیر سایر نیروها است، با این تفاوت که بسیار ضعیف تر از آنها است
برای توضیح امواج گرانشی ناگزیر باید سایر نیروها را مورد دقت و بررسی قرار داد و
با توجه به نحوه ی عملکرد آنها به توضیح عملکرد گرانش پرداخت.
بنابراین در این
نوشته نیز این نکته رعایت شده است تا درک امواج گرانشی را با تجارب و واقعیتهای
شهودی همراه سازد. بر این اساس توجه به نظریه ی ذرات تبادلی برای شناخت و توضیح
امواج گرانشی ضروری است

نیرو

از نظر لغوی نیرو مفاهیم مختلفی دارد و در هیچ
فرهنگی کلمه ی نیرو به صورتی جامع تعریف نشده است. شاید این امر به آن دلیل
باشد که
نیرو تعریف پذیر نیست.
اگر به آنچه که معمولاً نیرو نامیده می شود، دقت کنیم، از
کثرت آن دچار شگفتی خواهیم شد. این کثرت نیروها نباید ما را به بیراهه بکشد. یکی از
ویژگیهای علم آن است که کثرت را وحدت بخشد و در عین حال از وحدت بتواند موارد
خاص و
مختلف را نتیجه بگیرد. ما در اینجا به نیروهایی می پردازیم که در فیزیک به عنوان
نیروهای اساسی شناخته می شوند و از اصطلاح برهم کنش برای آنها استفاده می
شود
سایر نیروهایی که با آنها سروکار داریم ناشی از نیروهای اساسی طبیعت و
است
در طبیعت چهار نیروی اساسی شناخته شده که عبارتند از

گرانش

نخستین نیرویی که به طور جدی مورد توجه قرار
گرفت گرانش است. طبق قانون جهانی گرانش که نیوتن کاشف آن است، هرگاه دو
جسم در
فاصله ای از یکدیگر قرار گیرند، نیرویی برهم وارد می کنند که با حاصلضرب جرم دو
جسم
متناسب و با مجذور فاصله نسبت عکس دارد. این نیرو خاصیت ذاتی ماده است و تجربه
نشان
داده مستقل از خواص فیزیکی، شیمیایی و محیطی همواره اعمال می گردد. برد این
نیرو
بینهایت است. دوباره به آن بر می گردیم

نيروي
الكترومغناطيسي

دو جسم که دارای بار الکتریکی باشند بر یکدیگر نیرو
وارد می کنند. کولن تحت تاثیر قانون
جهانی گرانش نیوتن مقدار نیرویی را که اجسام
باردار بر یکدیگر وارد می کنند به طور ریاضی بیان کرد
که طبق آن این مقدار با
حاصلضرب بارها متناسب و با مجذور فاصله نسبت عکس دارد. کولن پس از ارائه قانون
الکتریکی خود، در صدد تهیه قانونی برای نیروی مغناطیسی برآمد. کولن برای نیروی
مغناطیسی فرمولی مشابه با نیروی الکتریکی به دست آورد که مورد توجه فیزیکدانان
واقع
نشد. اما پس از کشف ارتباط متقابل میدانهای الکتریکی و مغناطیسی، مشخص شد که
این دو
میدان مستقل از هم نیستند
که آن را نیروی الکترومغناطیسی می نامند. برد این نیرو
نیز بینهایت است

نيروي پر قدرت كوارك

نیروی
قوی هسته ای که نيروي رنگ نيز ناميده مي شود از جدا شدن بيش از حد كوارکهاي
هسته از يكديگر و يا حتي از پرت شدن آنها به خارج جلوگيري مي كند. نيروي پر
قدرت
كوارك يا نيروق قوي از طريق ذرات مبادله كننده يا به اصطلاح گلوئون ها انتقال مي
يابدكه بين كوارکها در پرواز هستند اين نيرو مانند چسب پيوستگي بين كوارکها را
تضمين ميكند. نيروي هسته اي كه پروتونها و نوترونها را در هسته اتم به هم پيوسته
نگاه مي دارد در واقع نيروي بنيادي نيست بلكه نيرويي است كه از نيروي رنگ
كوارکها(يعني قويترين نيرويي كه به آن اشاره شد) به دست مي آيد. برد اين نيرو بسيار
كوتاه است و در خارج از ساختمان اتم بی اثر است

نيروي ضعيف

بسياري از ذرات نسبت به هيچ يك از دو نيروي ياد شده در بالا يعني
نيروي قوي كوارك و نيروي الكترو مغناطيسي واكنش نشان نمي دهند از آن ميان ذراتي
هستند كه فاقد بار الكتريكي و رنگ هستند براي اين گونه ذرات يك نيروي بنيادي ديگر
وجود دارد كه در فاصله هاي خيلي خيلي كم كارگر است

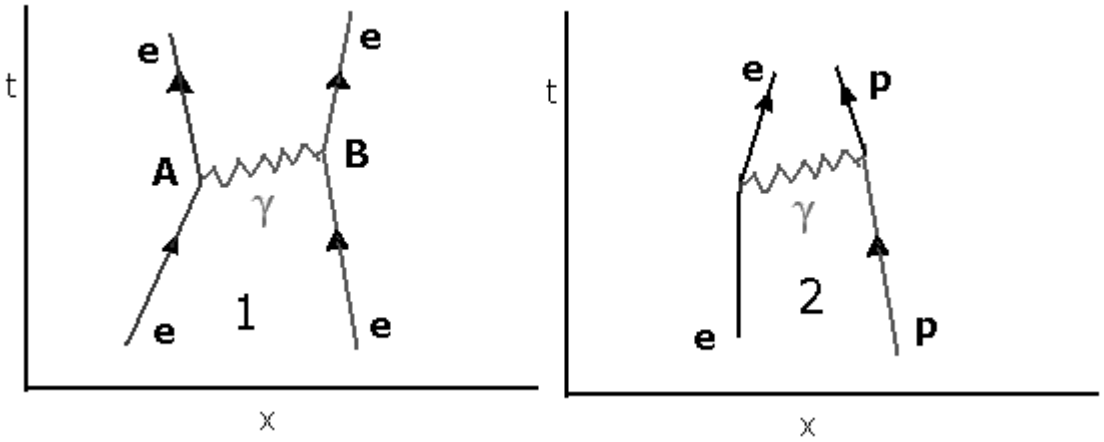
يكسان سازی
نيروها

بسیاری از فیزیکدانان ازجمله فارادی و پلانک

اعتقاد داشتند نیروهای گرانشی و الکترومغناطیسی تشابه بسیار زیادی به یکدیگر دارند و احتمالاً رابطه ی مشابهی نظیر آنچه که بین نیروهای الکتریکی و مغناطیسی وجود دارد، بین گرانش و نیروی الکترومغناطیسی وجود دارد. آلبرت اینشتین نیز تلاش بسیار کرد که این دو نیرو را در يك نيروي اوليه خلاصه کند. اما موفق نشد. البته در زمان اینشتین نیروهای مهم و مطرح همین دو نیروی گرانشی و الکترومغناطیسی
بود
امروز فيزيكدانها موفق شده اند نشان دهنده كه در درجه حرارتها و انرژيهاي
بسيار بالا تفاوت بين نيروي الكتروو مغناطيسي و نيروي ضعيف از بين مي رود و امكان دارد كه در در جه حرارتها و انرژي ذره اي خيلي بالاتر تفاوت بين نيروي قوي و نيروي ضعيف و همچنين تفاوت بين "لپتونها " و "كواراكها " نيز از بين برود به گونه اي كه فقط يك ذره اوليه و يك نيروي اوليه وجود داشته باشد
چنين روابطي را حتي با
بزرگترين شتابدهنده ها نيز نمي توان برقرارکرد ولي "فرضيه وحدت نيروها " احتمالاً مي توانسته مدت بسيار كوتاهي پس از "انفجار اوليه " وجود داشته باشد يعني زماني كه
هنوز تمام كيهان به صورت يك گو ي آتشين فوق فشرده و داراي بار انرژي عظيمي بوده است
در قلمرو كوچكترين ها هنوز مطالب قابل پژوهش زيادي وجود دارد . مثلا
فيزيكدانهاي قرن
21
مي توانند اين پرسش را مطرح كنند كه آيا كوارکها و الكترونها هم
از ذرات كوچكتري ساخته شده اند؟

ذرات تبادلی

نخستین گام برای توجیه نیروهای هسته ای قوی در
سال 1932 توسط هایزنبرگ برداشته شد. وی نظر داد که پروتونها به وسیله ی نیروهای تبادلی در کنار یکدیگر قرار می گیرند. به این ترتیب می توان تصور کرد که دو ذره، به تبادل ذره ی سوم می پردازند و ذره ی تبادلی دو ذره را به سوی هم می راند. طبق نظریه
هایزنبرگ، همه ی نیروهای جاذبه و دافعه نتیجه ی ذرات تبادلی هستند. به شکلهای پائین صفحه مراجعه کنید
در مورد جاذبه و دافعه ی الکترومغناطیسی، ذره ی
تبادلی فوتون است. لازم به ذکر است که فیزیکدانان به وجود دو نوع فوتون اعتقاد دارند، یکی فوتونهای حقیقی که قابل مشاهده هستند و دیگری فوتونهای مجازی است که نمی
توان آنها را مشاهده کرد. فوتون مجازی نیز با سرعت نور حرکت می کند. فوتونهای مجازی
نتیجه ی اصل عدم قطعیت هستند
در شکل زیر نمودار فضا-زمان ذرات تبادلی بین دو
الکترون (1) که اثر آن دافعه است و یک الکترون و یک پروتون (2) که اثر آن جاذبه است، نشان داده شده است



شکل 1

در شکل بالا الکترونی در راس
A
یک فوتون مجازی تولید کرده و می فرستد و
الکترون دوم آنرا در راس
B
در می آشامد. انرژی و اندازه حرکت هر یک از
الکترون های واکنش کننده در اثر تبادل فوتون تغییر می کند. غیر قابل مشاهده بودن
فوتون مجازی امکان عدم بقای انرژی و اندازه حرکت را در طول بازه ی زمانی بین گسیل و
در آشامیدن فوتون فراهم می کند. اصل عدم قطعیت انرژی فرض شده را که توسط آن
بقای
انرژی نقض می شود به مقدار زیر محدود می کند

$$dE=h/dt$$

که در آن
dt
برابر است با بازه ی
زمانی بین گسیل و در آشامیدن فوتون مجازی است

امواج گرانشی

نظریه ی نسبیت عام که گرانش را به منزله ی
انحنای فضا-زمان چهار بعدی مطرح می کند، انواعی از پدیده های غیر عادی را پیش
بینی
می کند. بنابر نسبیت عام هر جسمی که جرم داشته باشد موجب می گردد که فضای
اطراف آن
خمیده شود. هر زمان که این جسم حرکت کند، این انحنا با صورت بندی جدید ماده
متناسب

می گردد. این تنظیم فضا-زمان با وضعیت متغییر مکانی ماده موجب می شود که امواج گرانشی با سرعت نور در فضا منتشر شود. در نتیجه هر جسم متحرکی از خود تشعشعات
گرانشی منتشر می کند
امواج گرانشی نسبت به سایر نیروها فوق العاده
ضعیف است. برای مشاهده ی ضعیف بودن امواج گرانشی نسبت به امواج الکترومغناطیسی
کافیست قانون گرانش و قانون کلون را برای دو الکترون بکار برید. خواهید دید که امواج الکترومغناطیسی تقریباً ده بتوان چهل مرتبه از امواج گرانشی قوی تر است
وقتی امواج الکترومغناطیسی به ماده برخورد می
کنند، فقط ذرات باردار را تکان می دهند. ولی امواج گرانشی موجب می شوند که تمام ذرات ماده تحت تاثیر قرار گیرند. همچنین به دلیل آنکه امواج الکترومغناطیسی بسیار قوی تر از امواج گرانشی است (تقریباً ده بتوان چهل بار) هنگام عبور امواج به همین نسبت نیز ذراتی که در مسیر آنها هستند تحت تاثیر قرار می گیرند
در دهه ی 1960 ژوزف وبر از دانشگاه مریلند
ترتیبی داد تا امواج گرانشی را آشکار سازد. آنتنی که وبر برای آشکار ساختن امواج گرانشی ساخت استوانه ای آلومینیمی بود به قطر 60 سانتیمتر و طول 1.5 متر که وزن بیش از یک تن بود. این استوانه توسط سیمی که در وسط آن آن به دور استوانه آن پیچیده
شده بود در یک محفظه ی خلا به طور معلق قرار داشت. همچنین این محفظه به وسیله سیستمی از کمک فنرها از جهان خارج جدا شده بود. وقتی یک موج گرانشی از درون عبور می کرد فشارهایی به وجود می آورد. وبر برای آشکار کردن نوسانات استوانه کریستال پیزوالکتریک بر روی سطح استوانه نصب کرد. این کریستالها حاصل، تعدادی نوسانات را به
جریانهای الکتریکی ضعیفی مبدل می کنند. سپس این جریانها تقویت و ثبت می شوند
یک چنین استوانه ی آلومینیمی به دلیل وجود
تاثیرات گرمایی همواره در حال نوسان خواهد بود. برای غلبه بر این مشکل صافیهایی الکترونیکی در سیستم نصب شده تا تمام نوسانات را به استثنای بزرگترین آنها حذف کند.
و علاوه بر این وبر دو عدد از این آنتنها را یکی در دانشگاه مریلند در نزدیکی واشنگتن دیگری را در آزمایشگاه ملی ارگون خارج از شیکاگو نصب کرد. این دو آنتن بوسیله خطوط تلفن به نحوی به هم وصل بودند که نوسانات بزرگ آنی که در هر دو ایستگاه رخ می
داد، به سرعت ثبت می کردند
در سال 1969 وبر با اعلام این خبر که امواج
گرانشی را به طور موفقیت آمیزی آشکار کرده فیزیکدانان را متحیر کرد. هر روزه حداقل یک نوسان بزرگ ثبت می شد و نشان می داد که یک موج گرانشی به زمین برخورد می کند. با
این وجود بسیاری از دانشمندان نسبت به درستی نتایج آزمایش وبر مشکوک هستند. هرچند
که هیچ کس نتوانسته نشان دهد که کدام قسمت از نتایج آزمایش وبر نادرست است

اشکالات امواج گرانشی در نسبیت عام

همچنانکه می دانیم در نسبیت عام گرانش اثر هندسی ماده بر فضای اطرافش است و آنرا فضا-زمان می نامند که کمیتی پیوسته است. با حرکت جسم میزان انحنای فضا نیز تغییر می کند. اگر فرض کنیم که امواج گرانشی نیز کمیتی پیوسته است آنگاه با مکانیک کوانتوم ناسازگار خواهد بود. یعنی از چهار نیروی اساسی سه تای آنها کوانتومی و یکی پیوسته است. اگر فرض کنیم که امواج گرانشی نیز کوانتومی است که در این صورت فضا-زمان با امواج گرانشی که نسبیت خود بانی است ناسازگار خواهد بود. تنها راه حل ممکن این است که فضا-زمان نیز کوانتومی باشد و این همان چیزی است که نظریه ی سی. پی. اچ. بر آن تاکید دارد. در نظریه سی. پی. اچ. گرانش کوانتومی است.

گرانشی نظریه سی. پی. اچ. و امواج

در نظریه سی. پی. اچ. امواج گرانشی همواره در اطراف اجسام وجود دارد و این امواج ناشی از تبادل سی. پی. اچ. بین اجسام است. با توجه به هم ارزی نیرو و انرژی که نظریه سی. پی. اچ. مطرح کرده برای تبادل ذرات بین اجسام که نیروی گرانش را حمل می کنند نیازی به نقض قانون بقای انرژی نیز نمی باشیم.

برای توضح بیشتر در این مورد نخست سی. پی. اچ. را تعریف کرده و گرانش را از دیدگاه نظریه سی. پی. اچ. بیان و آنگاه دو باره به این بحث خواهم پرداخت.

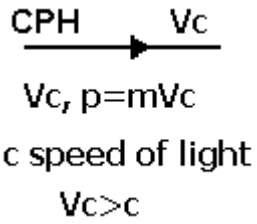
در نظریه سی. پی. اچ. نیرو و انرژی قابل تبدیل به یکدیگر هستند. همچنین با توجه به نسبیت که در آن جرم و انرژی هم ارزند، بنابر این، نیرو، انرژی و جرم هم ارز می باشند. و می توان نتیجه گرفت که نیرو، انرژی و جرم سه جلوه (ظاهر) متفاوت از یک ذره واحد و بنیادی هستد و ما باید تصورات خود را در مورد نیرو، انرژی و جرم تغییر دهیم

تعریف CPH

فرض کنیم یک ذره با جرم ثابت m وجود دارد که با مقدار سرعت ثابت Vc نسبت به تمام دستگاه های لخت حرکت می کند (شکل 2). و

Vc>c, c is speed of light

بنابراین سی. پی. اچ. دارای اندازه حرکت خطی برابر mVc است



شکل 2

اصل CPH
Principle of CPH

سی. پی. اچ. یک ذره بنیادی با جرم ثابت است که با مقدار سرعت ثابت حرکت می کند. این ذره دارای لختی دورانی است. در هر واکنش بین این ذره با سایر ذرات یا نیروها در مقدار سرعت آن تغییری داده نمی شود، بطوریکه :

gradVc=0 in all inertial frames and any space

CPH is a particle with constant mass m and moves with constant speed Vc

تشریح Explain

با توجه به شکل 2 این ذره دارای اندازه حرکت P=mVc است. همچنین دارای لختی دورانی I است

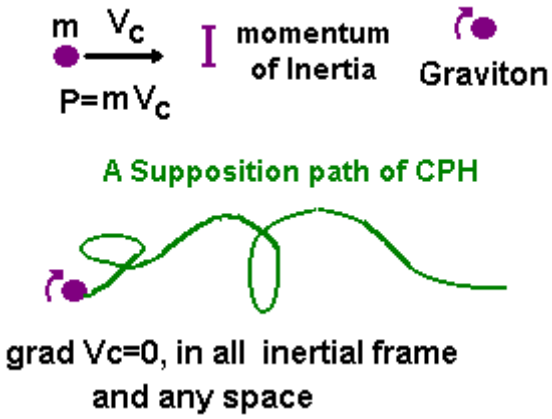
Momentum of Inertia I

هنگامیکه نیروی خارجی بر آن اعمال شود، قسمتی از سرعت انتقالی آن به سرعت دورانی (یا بالعکس) تبدیل می شود، بطوریکه در مقدار Vc تغییری داده نمی شود. یعنی اندازه حرکت خطی آن به اندازه حرکت دورانی و بالعکس تبدیل می شود. بنابراین مجموع انرژی انتقالی و انرژی دورانی آن نیز همواره ثابت است. تنها انرژی انتقالی آن به انرژی دورانی و بالعکس تبدیل می شود

هنگامیکه سی. پی. اچ. دارای حرکت دورانی حول محوری که از مرکز جرم آن می گذرد است، یعنی زمانیکه سی. پی. اچ. دارای Spin است، آن را گراویتون می نامیم. شکل 3

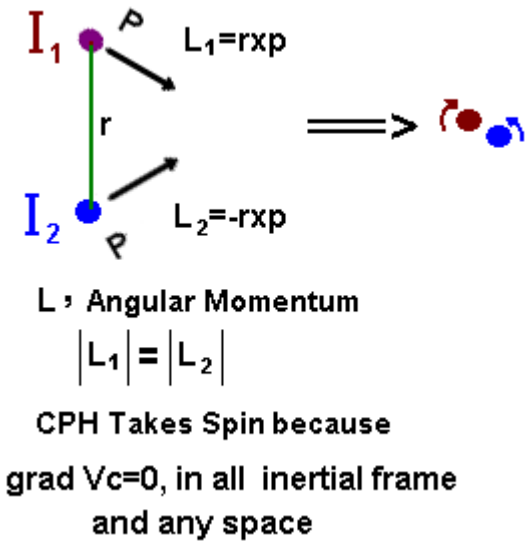
When CPH has Spin

it is calls GRAVITON



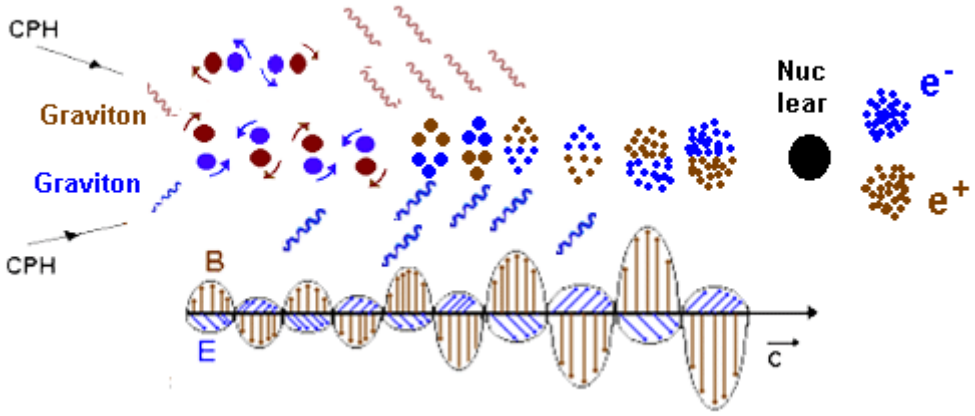
شکل 3

هنگامیکه گراویتون روی یک ذره/جسم کار انجام می دهد، گراویتون ناپدید شده و به انرژی جسم تبدیل می شود. زیرا این امر قابل توجیه نیست که نیرو تولید انرژی کند و هیچ تغییری در آن ایجاد نشود
تمام تلاشها برای پیدا کردن یک نیروی اساسی واحد در طبیعت به این دلیل بی نتیجه بوده است که فیزیکدانان هیچ توجهی به تغییرات نیرو نداشته اند. در حقیقت نیرو و انرژی قابل تبدیل به یکدیگرند. یعنی نیرو به انرژی تبدیل می شود و انرژی نیز به نیرو تبدیل می شود.
همچنین یک گراویتون روی گراویتون دیگر کار انحام می دهد، اما نتیجه ی این کار تغییر انرژی جنبشی به انرژی دورانی است . شکل 4
هنگامیکه گراویتون ها در کنار یکدیگر قرار می گیرند (ادغام می شوند) همان جلوه ای را از خود بروز می دهند که ما آن را انرژی می نامیم.
شکل4 نشان می دهد که دو گراویتون در فاصله r ,
یکدیگر را حس کرده و جذب می کنند. اما چون مقدار سرعت آنها ثابت است، حرکت انتقالی آنها به حرکت دورانی Spin تبدیل می شود



شکل 4

یک فوتون از تعدادی گراویتون تشکیل می شود که دارای Spin هستند . شکل5.



شکل 5

همچنین فوتون دارای اسپین است. بنابراین هنگامیکه فوتون با سرعت نور حرکت می کند، گرایتون هایی که فوتون را تشکیل داده اند دارای حرکتهای زیر می باشند

حرکت انتقالی برابر سرعت نور، زیرا فوتون با سرعت نور منتقل می شود و اجزای تشکیل دهنده آن نیز الزاماً با همین سرعت منتقل می شوند

حرکت دورانی (اسپین)، زیرا طبق اصل سی. پی. اچ. مقدار سرعت سی. پی. اچ. بیشتر از سرعت نور است و هنگامیه سی. پی. اچ. ها با یکدیگر ادغام می شوند و سایر ذرات را تشکیل می دهند، مقداری از سرعت انتقالی آنها به اسپین تبدیل می شود

و حرکت ناشی از اسپین فوتون، زیرا گراویتون ها در ساختمان فوتون هستند و از حرکت اسپینی فوتون سهم می برند. شکل 5

نظریه سی. پی. اچ. برای اولین بار هم ارزی نیرو و انرژی را مطرح کرده است. این نظریه با مطرح کردن یک اصل ساده و بنیادی به توجیه پدیده ها می پردازد

gradVc=0 in all inertial frames and any space

این نظریه یک زیر بنای کاری بسیار ساده را برای توجیه پدیده ها تشکیل می دهد. طبق این نظریه تمام ذرات بنیادی،نیروهای اساسی، انرژی و جرم (ماده و پاد ماده) از ذره ی واحدی تشیل می شوند

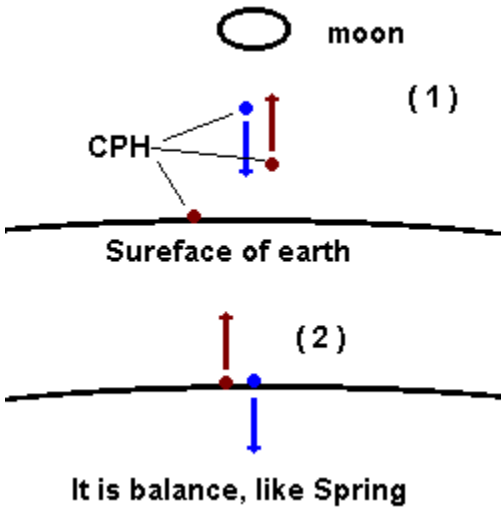
CPH نیروی گرانش محض است.

در حقیقت CPH یک زیر کوانتوم هستی در طبیعت است.

گرانش Gravity

در نظریه سی. پی. اچ. ، گرانش یک جریان است. این جریان دائمی بین تمام ذرات و اجسام وجود دارد. به عنوان مثال به زمین و ماه توجه کنید. زمین دارای میدان گرانشی است. یک میدان گرانشی از تعداد متنابهی سی. پی. اچ. (گراویتون) تشکیل شده است. پس میدان گرانشی زمین نیز از تعداد بیشماری سی. پی. اچ تشکیل شده است که در اطراف زمین در حرکت هستند
فرض کنیم زمین منزوی است. یعنی هیچ کنش و واکنشی بین زمین و سایر اجسام وجود ندارد. در این صورت همه ی سی. پی. اچ. هایی که به زمین می رسند، جذب آن شده و از نیروهای موجود در آنجا اطاعت می کنند
اما همچنان که می دانیم زمین منزوی نیست و با سایر احسام کنش متقابل دارد نگاهی به زمین و ماه بیندازید. در اینجا دو میدان وجود دارد، یکی میدان گرانشی زمین و دیگری میدان گرانشی ماه.
هنگامیکه یک گراویتون به زمین می رسد، گراویتون دیگری زمین را ترک می کند و به دلیل آنکه دارای یک زیر کوانتوم گرانشی است، زمین را به دنبال خود می کشد.
تا جاییکه زمین از حوزه عمل این زیر کوانتوم گرانشی خارج شود. مانند یک توپ که جدار

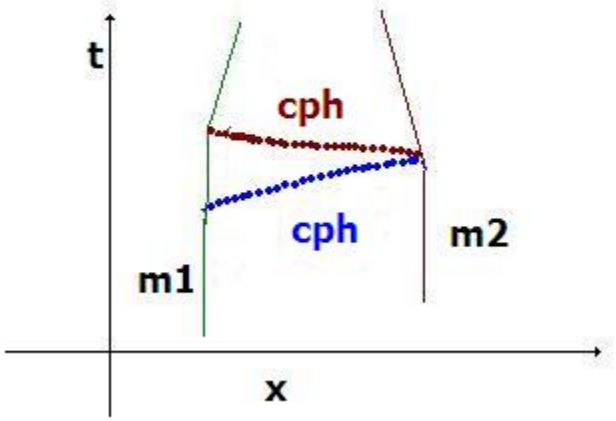
خارجی آن را با چسب مایع آغشته کرده باشیم. هنگامیه می خواهیم آن را از زمین جدا کنیم، زمین را به دنبال خود می کشد شکل 6



6 شکل

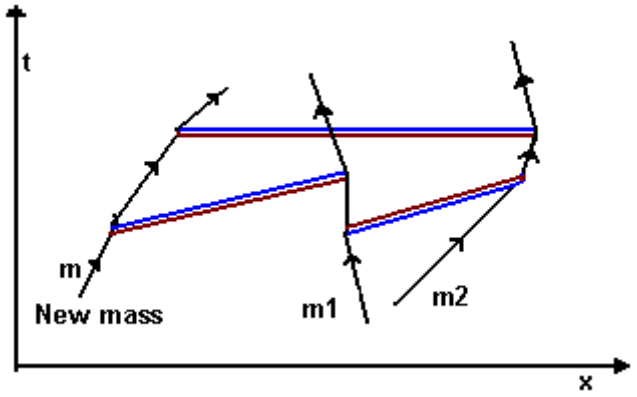
امواج گرانشی از سی. پی. اچ. ها تشکیل می شود

همچنانکه در بالا بیان شد، میدان گرانشی در اطراف اجسام به این دلیل وجود دارد که اجسام همواره با یکدیگر در حال تبادل سی. پی. اچ. هستند. در شکل 7 یک گراویتون از جسم 1 به جسم 2 می رسد و جسم 2 با ارسال یگ گراویتون به طرف 1 واکنش نشان می دهد. جسم 1 نیز به محض دریافت گراویتون از جسم 2 با ارسال گراویتون دیگری به طرف جسم 2 تغییر مسیر می دهد.



شکل 7

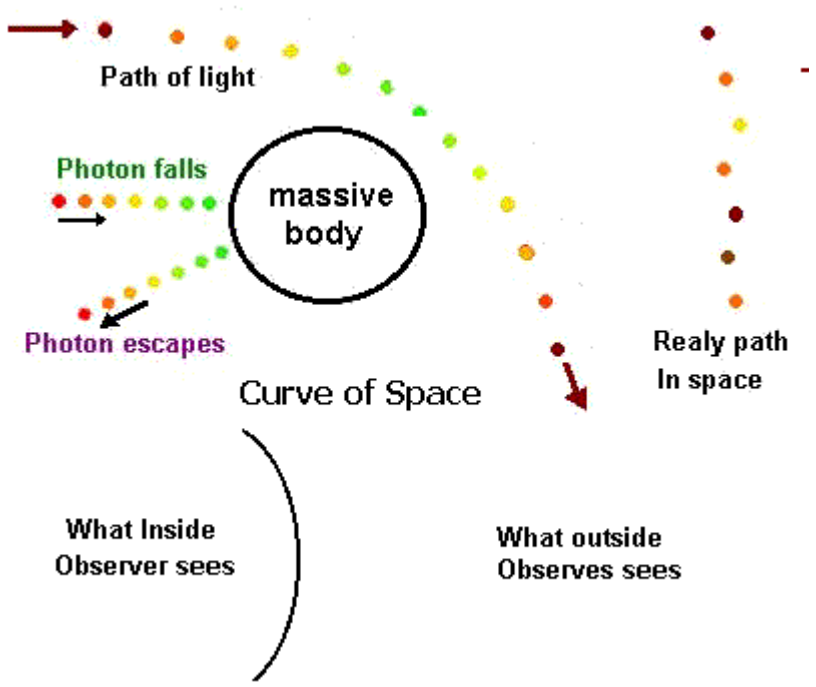
حال 3 جسم را در نظر بگیرید که چگونه با تبادل گراویتون در ارتباط با یکدیگر هستند.
شکل 8



شکل 8

فضا توسط CPH خمیده می شود

همچنانکه می دانیم فرکانس فوتون در میدان گرانشی تغییر می کند. هنگامیکه گرانش روی فوتون کار انجام می دهد، انرژی و فرکانس فوتون افزایش می یابد. در صورتیکه کار منفی باشد، انرژی و فرانس فوتون کاهش می یابد.
هنگام جابجایی به سمت سرخ گرانش کار منفی است. و هنگام جابجایی به سوی آبی کار مثبت است.
هنگامیکه فوتون در حال فرار از میدان گرانشی است، جابجایی به سمت سرخ است و هنگام سقوط در میدان گرانشی، جابجایی به سمت آبی است. اگر نور در فضایی عبور کند که در آنجا میدان گرانشی وجود نداشته باشد، مسیر آن خط مستقیم است
حال فرض کنید نور از میدان گرانشی یک جسم چگال عبور می کند، گرانش روی آن کار انجام می دهد. اگر فاصله بین فوتون و جسم کم شود، نور به سمت آبی جابجا می شود و هنگامیکه فاصله افزایش می یابد، جابجایی به سمت سرخ است. شکل 8
در شکل 9 نشان داده شده که ناظر داخل و خارج مسیر نور را چگونه می بینند



شکل 9

تغییر انحنای فضا و تبادل سی. پی
اچ .

همچنانکه در بالا بیان شد، فضای اطراف اجسام
دارای انحنا است و این انحنا به دلیل وجود سی. پی. اچ. است. بنابراین میزان انحنای
فضا به چگالی سی. پی. اچ. در فضا بستگی دارد. با حرکت جسم، چگالی سی. پی.
اچ. در
فضا تغییر می کند و فضا انحنای جدید خود را با سی. پی. اچ. های موجود در هر لحظه
تنظیم می کند. بنابراین فضا-زمان کمیتی کوانتومی است که به این ترتیب ناسازگاری
فضا-زمان با مکانیک کوانتوم بر طرف خواهد شد
حال به این موضوع توجه کنید که گراویتون هایی
که از ماه یا خورشید یا سایر اجسام به زمین می رسند، در هر لحظه به تعداد زیادی
وارد می شوند و فشار زیادی به زمین وارد می کنند و موجب انقباض زمین می شوند.
زمین
نیز به همان میزان گراویتون متصاعد می کند و بدین ترتیب منبسط می شود. در واقع
زمین
.و سایر اجسام مانند یک کره ی نواسانگر عمل می کند و دائماً در حال ارتعاش هستند
این نوسانات موجب تولید و انتشار امواج گرانشی در فضا می شود

با تشکر
حسین جوادی
javadi_hossein@hotmail.com
منابع

http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/forces/imgfor/feynw6.gif&imgrefurl=http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/forces/funfor.html&h=173&w=296&sz=4&tbnid=2LC-rnqVGwQJ:&tbnh=64&tbnw=110&start=55&prev=/images%3Fq%3DFundamental%2Bforce%26start%3D40%26hl%3Den%26lr%3D%26sa%3DN

جهانشاه میرزا بیگی انتشارات علمی و فرهنگی کوارکها نوشته هارالد فریج ترجمه

مرزهای فیزیک - ستاره شناسی نوشته فرد هویل و جایانت نارلیکار ترجمه بهزاد قهرمان انتشارات آستان قدس رضوی

نظریه های علمی- رد یا تعمیم نوشته حسین جوادی انتشارات اتا

نسبیت و مفهوم نسبیت نوشته آلبرت اینشتین ترجمه محمدرضا خواجه پور انتشارات خوارزمی

اختر فیزیک نسبیتی نوشته رومن سگسل و هانه لوره سگسل ترجمه رضا منصوری انتشارات مرکز نشر دانشگاهی

نسبیت و کیهان شناسی نوشته ویلیام جی-کافمن ترجمه تقی عدالتی و بهزاد قهرمان انتشارات مرکز نشر دانشگاهی

تاریخچه زمان نوشته استیون هاوکینگ ترجمه محمد رضا محجوب انتشارات شرکت سهامی انتشار

فیزیک کوانتومی نوشته رابرت آیزبرگ و رابرت رزنیک ترجمه ناصر نفری انتشارات مرکز نشر دانشگاهی

Dull H. Clark Metcalfe-Johne. Williams Modern Physics Charlese

Hoton Concepts and Theories in Physics Science Gerald

and Brij Lal Principles of Physics Subrahman

Theory of Physics C. W. Kilmister Genaral

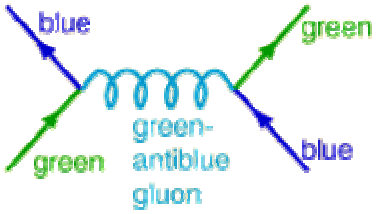
http://www.hupaa.com

http://www.damtp.cam.ac.uk/user/gr/public/qg_ss.html

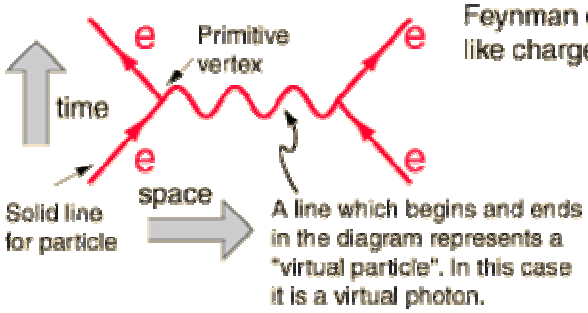
http://en.wikipedia.org/wiki/Quantum_geometry

http://en.wikipedia.org/wiki/Loop_quantum_gravity

http://cfa-www.harvard.edu/~jcohn/lens.html

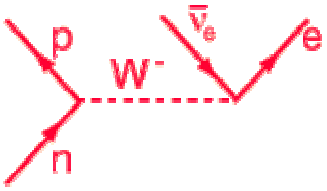


Feynman diagram for an interaction between quarks generated by a gluon.

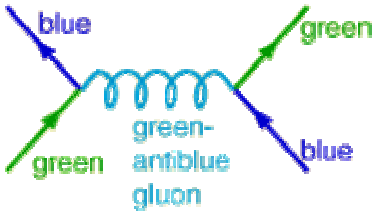


Feynman diagram for like charge repulsion

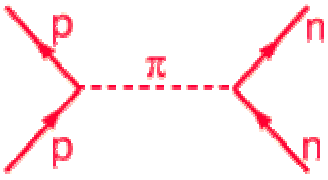
Electromagnetic



Weak



between quarks



between nucleons

Strong Interaction