the general science journal

Persian CPH E-Book

Theory of CPH

Section Four

Analysis of CPH Theory

Hossein Javadi

Azad University,Tehran,Iran

Javadi_hossein@hotmail.com

بخش چهارم

آنالیز نظریه سی. پی. اچ

مقدمه

در آغاز قرن بیستم تحول عظیمی در فیزیک ایجاد شد. از یکطرف ثابت بودن سرعت نور در تمام دستگاه های مختصات، فیزیکدانان را وادار به پذیرش نظریه نسبیت می کند. یعنی پذیرفتن اتساع زمان و انقباض مکان. همچنین با مقاله فوتوالکتریک انیشتین مکانیک کوانتوم متولد می شود. بعضی ها هم اعتقاد دارند تاریخ پیدایش مکانیک کوانتوم با نظریه ماکس پلانک در مورد تابش جسم سیاه می باشد.

نگاه مکانیک کوانتوم به هستی بگونه ای است که کمیتهای هستی را بصورت گسسته در نظر می گیرد. کسانی که به مکانیک کوانتوم عادت کرده اند بخوبی می دانند که ما برای بررسی ساختار زیر اتمی راهی بجز مدل سازی ریاضی نداریم. بنابراین مجبوریم که در آنجا مدل های ریاضی ارائه دهیم. اشکال این مدلها در این است که از شهودی بودن پدیده ها می کاهند و بر ابهامات پدیده ها می افزاید.

یکی از موارد بسیار مهم فیزیک اتحاد چهار نیروی بنیادی طبیعت یعنی نیروی هسته ای قوی، نیروی هسته ای ضعیف، نیروی الکترومغناطیسی و نیروی گرانش است. دیراک قضیه ای را ثابت می کند که طبق آن اتحاد نیروها امکان پذیر نمی باشد. اما نظریه های جدید از جمله نظریه ابر ریسمانها در تلاش هستند که اتحاد نیروها را توجیه کنند.

نظریه سی. پی. اچ. دو هدف اصولی را پیگیری می کند، یکی شهودی کردن فیزیک است که نه تنها مکانیک کوانتوم، بلکه نسبیت و حتی نظریه ی هیگز نیز چندان شهودی نیستند. و هدف دوم فزاهم آوردن زمینه ی اتحاد نیروها است. افزون بر آن ما می توانیم با هم ارز سازی نیرو و انرژی وحدتی در فیزیک ایجاد کنیم. برای شهودی کردن فیزیک، بهترین روشی که بنظر می رسد، توجیه پدیده های فیزیک مدرن است. بهمین دلیل برخی از پدیده های فیزیک را با توجه به نظریه سی. پی. اچ. توجیه خواهیم کرد.

جرم نسبیتی

همچنانکه می دانیم در مکانیک کلاسیک جرم ثابت فرض شده، اما در نسبیت جرم متغییر است. لذا قانون دوم نیوتن بصورت زیر تصحیح شد.

$$F = \frac{dP}{dt} = \frac{d(mv)}{dt} = v\frac{dm}{dt} + m\frac{dv}{dt}$$

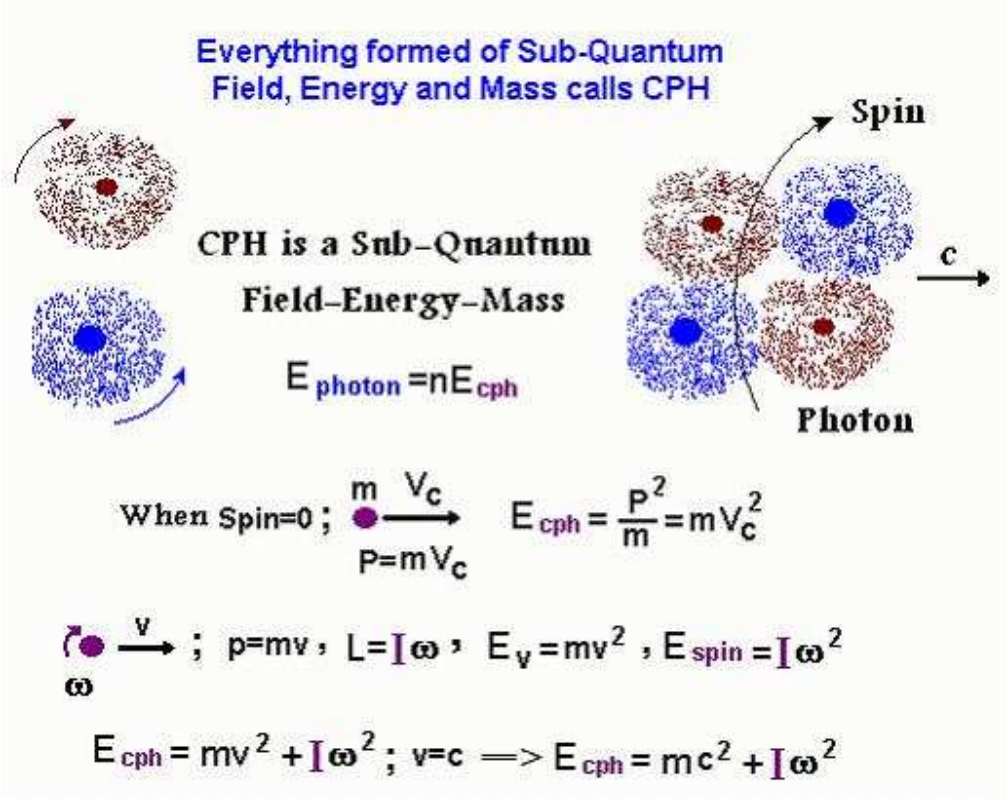
$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

بنابر این جرم تابع سرعت است و با افزایش سرعت، جرم نیز افزایش می یابد. رابطه ی بالا نشان می دهد که با ثابت بودن سرعت، جرم نیز ثابت باقی می ماند. برای افزایش سرعت، الزاماً بایستی به جسم نیرو وارد شود تا متناسب با نیروی وارد شده، جسم شتاب بگیرد تا سرعت آن تغییر کند.

اما به چه طریقی می توان به یک جسم- ذره نیرو وارد کرد؟

چند مورد بسیار مهم اعمال نیرو بر جسم را مورد بررسی قرار می دهیم، و همه را با توجه به نظریه سی. پی. اچ. بررسی می کنیم. اما قبل از بررسی آن باید توجه داشت که یک کوانتوم انرژی از تعدادی سی. پی. اچ. تشکیل شده است. از طرف دیگر با توجه به هم ارزی جرم و انرژی و تولید و واپاشی زوج ماده و پاد ماده این نتیجه گرفته می شود که همه چیز از سی. پی. اچ. شکل می گیرد. به شکل زیر توجه کنید.

همچنانکه در شکل زیر نشان داده شده است، یک سی. پی. اچ. دارای دو نوع انرژی است، یکی انرژی انتقالی و دیگری انرژی دورانی.



لذا انرژی جنبشی یک فوتون ناشی از انرژی جنبشی سی. پی. اچ. هایی است که در ساختمان آن وجود دارند. یعنی

$$E_{photon}=nmc^{۲}$$

که در آن n تعداد سی. پی. اچ. های موجود در ساختمان فوتون است.

تغییر جرم در میدان گرانشی

همانطور که در فصل سه بیان شد، گرانش یک جریان دائمی از تبادل گراویتونها (بار – رنگ و مغناطیس – رنگ) بین همه ی اجسام است. حال گلوله ای را در نظر بگیرید که روی زمین ساکن است. بنابر قانون سوم نیوتن یک نیروی عمل و عکس العمل بین گلوله و زمین اعمال می شود:

$$F_e=-F_s$$

$$F_e\ ,\ F_s$$

به ترتیب نیرویی که گلوله به زمین وارد می کند و نیرویی که زمین به گلوله وارد می کند. در واقع یک گراویتون (بار – رنگ) از طرف زمین وارد ساختمان گلوله می شود. فرض کنیم علامت بار – رنگ مزبور مثبت است.

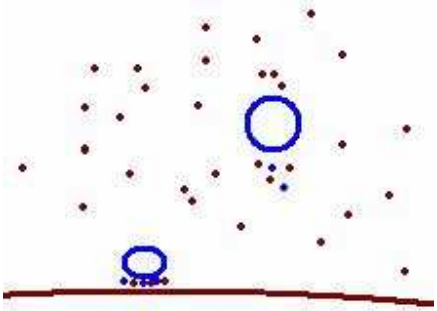
بنابراین یک ذره ی الکتریکی با بار الکتریکی مثبت به نزدیکرین اتم موجود در گوله وارد می شود. به علت مثبت بودن، جذب نزدیکترین الکترون می شود. ورود بار – رنگ مثبت به ساختمان الکترون، به دلیل کوچکی مقدار بار الکتریکی بار – رنگ نسبت به بار الکتریکی الکترون، قادر به خنثی کردن بار الکتریکی الکترون نیست. ساختمان الکترون طوری است که باید مقدار بار الکتریکی پایه خود را حفظ کند. لذا پس از دریافت بار-رنگ که علامت آن نیز مثبت است، بار – رنگ ورودی را پرتاب می کند. بار – رنگ مزبور به دلیل علامت مثبتی که دارد، الکترون را به دنبال خود می کشد و کشش الکترون به سایر ذرات داخل اتم و از طریق آنها به سایر اتمها منتقل شده و بدین ترتیب گلوله بسمت زمین کشیده می شود. در زمین با دریافت بار – رنگ مزبور نیز عمل مشابهی انجام می شود و زمین نیز بطرف گلوله کشیده می شود. در این حالت (که گلوله و زمین در تماس هستند) تبادل گراویتونها در حالت تعادل قرار دارد. یعنی تعداد سی. پی. اچ. های ورودی و خروجی به گلوله (و همینطور زمین) برابر است.

پرتابه در میدان گرانشی

حال گلوله را از روی زمین برداشته و بطرف بالا پرتاب می کنیم. در واقع با پرتاب گلوله بسمت بالا مقداری انرژی از طریق دست ما به ساختمان گلوله وارد می شود. همانطور که قبلاً گفته شد، انرژی از سی. پی. اچ. ها (بار – رنگ و مغناطیس –رنگ) تشکیل شده است که سرعت آنها بیشتر از سرعت نور است. با انتقال این سی. پی. اچ. ها به ساختمان گلوله، اندازه ی حرکت آنها با اندازه حرکت گلوله جمع شده و موجب می گردد که گلوله با انرژی جنبشی بسمت بالا حرکت کند.

گلوله با سرعت v ، بطرف بالا در حرکت است و همچنان با زمین در حال تبادل گراویتون است. اما حرکت گلوله در یک میدان گرانشی (میدان گرانش زمین) انجام می گیرد که متناسب با شدت این میدان گرانشی، تعداد زیادی گراویتون بسمت زمین در حرکتند. تعدادی از گراویتونهای میدان گرانشی وارد ساختمان گلوله می شوند و اندازه حرکت آنها با اندازه حرکت گلوله جمع شده و با توجه به جهت مخالف حرکت گراویتونها و گلوله، از اندازه ی حرکت گلوله کاسته می شود.

از طرف دیگر تعداد سی. پی. اچ. های ورودی کمتر از تعداد سی. پی. اچ. های خروجی است. زیرا گراویتونهای ورودی (سی. پی. اچ. ها) با سی. پی. اچ. های تشکیل دهنده ی انرژی جنبشی گلوله برخورد کرده و بر اثر این برخورد سی. پی. اچ. های موجود در انرژی جنبشی گلوله را به خارج پرتاب می کنند. بهمین دلیل بتدریج از انرژی جنبشی گلوله کاسته می شود تا جاییکه انرژی جنبشی آن به صفر برسد. شکل زیر را ملاحظه کنید.



در سمت چپ شکل گلوله روی زمین قرار دارد. تعداد گراویتونهای ورودی و خروجی به گلوله برابرند که گلوله و زمین از نظر تبادل گراویتون در حال تعادلند.

در سمت راست تصویر، گلوله در حال صعود در میدان گرانشی است تعداد گراویتونهای خروجی بیشتر از تعداد ورودی است و گلوله انرژی جنبشی خود را از دست می دهد.

گلوله هنگام صعود بتدریج انرژی جنبشی خود را از دست می دهد تا جاییکه به نقطه اوج برسد. در نقطه اوج انرژی جنبشی گلوله صفر است و از آنجا به بعد گراویتونهای ورودی به ساختمان گلوله کمتر از خروجی است. بدین ترتیب تعدادی گراویتون جذب گلوله شده و موجب افزایش انرژی جنبشی گلوله می شود تا گلوله به سطح زمین برسد. در سطح زمین طی چند برخورد متوالی، انرژی جنبشی (سی. پی. اچ. های تشکیل دهنده انرژی جنبشی) خود را از دست می دهد و روی سطح زمین به حالت سکون (تعادل در تبادل گراویتون) در می آید.

در حالت کلی فرض کنیم نیروی F که در مثال فوق نیروی گرانش است روی جسمی به جرم M

اعمال شود و سرعت آن را از V_1 به V_2 برساند. در اینصورت تعدادN سی. پی. اچ. وارد ساختمان جسم می شود که بصورت انرژی ظاهر می شود. هر سی. پی. اچ. دارای جرم و سرعت $m \ and \ v$ در دستگاه مقایسه ای می باشد. بنابراین نیروی F و در این حالت میدان گرانشی زمین تعداد N سی. پی. اچ. از دست می دهد که جرم آنها به جرم جسم افزوده می شود. لذا خواهیم داشت:

$$\bar{F}=\frac{\Delta P}{\Delta t}\ ,\ \Delta P=M_2V_2-M_1V_1=Nmv\ ,\ F\ loses\ N\ CPHs\ ,\ M_2=M_1+Nm$$

اگر $N<0$ باشد، سرعت جسم کاهش می یابد (مانند هنگامیکه گلوله در حال صعود است). و اگر $N>0$

باشد، سرعت جسم افزایش می یابد (نظیر وقتیکه گلوله در حال سقوط است)، و اگر $N=0$

باشد، تعداد سی. پی. اچ. های ورودی و خروجی برابرند. مانند هنگامیکه گلوله ی روی زمین در حال سکون است. این پدیده را با استفاده از کار- انرژی نیز می توان بررسی کرد. یعنی:

$$W = \Delta E = \Delta m c^2$$

که در آن $W,\ \Delta E,\ \Delta M,\ c,\ N,\ m$ از چپ به راست بترتیب کار انجام شده، تغییرات انرژی، تغییرات جرم جسم، سرعت نور، تعداد سی. پی. اچ. هایی که وارد جسم شده و انرژی آن را تغییر می دهند و جرم یک عدد سی. پی. اچ. است.

اگر $W > 0$ باشد، انرژی و در نتیجه جرم جسم افزایش می یابد و از شدت نیرو کاسته می شود. اگر $W < 0$ باشد، انرژی و در نتیجه جرم جسم کاهش می یابد و بر شدت نیرو (در این حالت شدت میدان گرانشی) افزوده می شود. و اگر $W = 0$ انرژی و در نتیجه جرم جسم ثابت باقی می ماند. به نمودار زیر توجه کنید.

Newton's Second Law

When Force F applied on an object with mass M_1 and velocity V_1, N CPHs enter to object. A CPH has mass m and limit speed of v in experintal frame. Then F loses N CPH.

$$\bar{F} = \frac{\Delta P}{\Delta t} \quad , \quad \Delta P = M_2V_2 - M_1V_1 = Nmv \quad , \quad F \text{ loses N CPHs} \quad , \quad M_2 = M_1 + Nm$$

Work

$$W = \int_0^r F.dr = \text{Energies of N CPHs}$$

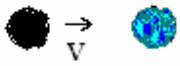
W=0, number of CPH enters to object is equal that the number of CPHs leave it. Like object is on the sureface of the earth.

W>0, CPH enter to object. W<0, CPH leave object

برخورد

فرض کنیم دو گلوله ی یکسان A , B یکی روی سطح زمین ساکن است و دیگری با سرعت v بسوی اولی در حرکت است. همچنین فرض کنم این دو گلوله با هم برخورد کرده و پس از برخورد گلوله ی متحرک ساکن و گلوله ی ساکن با همان سرعت v به حرکت در می آید. شکل زیر

Before collision:



Shot A; $m+1/2mv^2$, shot B; m.

All of CPH in A are moving with their inertia same as A.
Please remember the Newton's first law.

After collision;

Shot A; m, shot B: $m+1/2mv^2$

در طول برخورد تعدادی سی. پی. اچ. از گلوله ی متحرک خارج شده و وارد گلوله ی ساکن می شوند. اندازه حرکت خطی سی. پی. اچ. هایی که از گلوله ی متحرک خارج می شوند، برابر است با کل اندازه حرکت خطی گلوله ی متحرک قبل از برخورد. (نسبت به دستگاهی که گلوله به حالت سکون در می آید). این اندازه حرکت (در نتیجه انرژی جنبشی) به گلوله ی ساکن منتقل شده و موجب حرکت آن می شود.

این مثال را بصورت زیر نیز می توان بیان کرد:

قبل از برخورد

$$Shot\ A:\ m+nmc^{۲}\ and\ Shot\ B:\ m$$

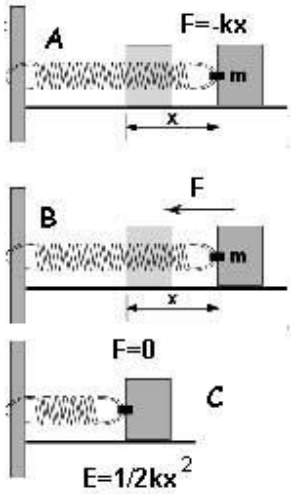
بعد از برخورد

$$Shot\ A:\ m\ and\ Shot\ B:\ m+nmc^{۲}$$

که در آن n تعداد سی. پی. اچ. هایی است که در طول برخورد از جسم متحرک وارد جسم ساکن می شود.

فنر Spring

یک نگاه جدید به فنر بیندازید. در اینجا یکسر فنر به دیوار وصل شده است (شکل زیر). در فیزیک این مسئله با توجه به تبدیل انرژی پتانسیل به انرژی جنبشی و بالعکس توجیه می شود. اجازه بدهید آنرا با با نظریه سی. پی. اچ. توضیح دهیم.



حالت A :

فنر با دست کشیده می شود. در مدتیکه ما فنر را می کشیم، انرژی دست ما به نیرو تبدیل می شود. در حقیقت تعدادی سی. پی. اچ. دست ما را ترک کرده و وارد فنر می شود. دست اندازه حرکت و انرژی از دست می دهد. و فنر اندازه حرکت و انرژِ ی می گیرد.

در مورد فنر می دانیم که نیرو برابر است با $F=-xk$ که این نیرو بطرف چپ وارد می شود. در مدتی که جسم را می کشیم، تعدادی سی. پی. اچ. از دست ما وارد جسم و از طریق جسم تعدادی هم وارد فنر می شود. سی. پی. اچ. هایی که به جسم منتقل می شوند، به انرژی جنشی آن تبدیل می شوند و سی. پی. اچ. هایی که وارد فنر می شوند، بصورت نیرو ظاهر می شود که موجب می گردد فنر بسمت چپ به جسم نیرو وارد کند. در مدت زمانیکه جسم را بطرف راست می کشیم، تعداد n سی. پی. اچ. بصورت انرژی از دست وارد جسم می شود. از این تعداد

m , $(m < n)$ عدد وارد ساختمان فنر شده و بصورت نیرو ظاهر می شود. هنگامیکه جسم به آخر مسیر مـی رسـد و ما آنرا رها می کنیم (به حالت سکون در می آید)، همه ی n سی. پی. اچ. ها در فنـر ذخیـره شـده اسـت و فنـر بـا نیروی ناشی از آن، جسم را بسمت چپ می کشد.

حالت B :

فنـر در حـال بازگـشت بـه موقعیـت تعـادل خـود اسـت و نیـرو در حـال تبـدیل شـدن بـه انـرژی اسـت. جسم با حرکت فنر مخالفت می کند. نیروی فنر به انرژی تبدیل می شود. مقدار نیروی فنر در حال کـاهش اسـت و بر مقدار انرژی جسم افزوده می شود. همچنانکه فنر کسم را بسمت چپ می کشد، همه ی سی. پی. اچ. هایی را که در آن ذخیره شده بود، به جسم منتقل می کند که در حین انتقـال بـصورت انـرژی جنبـشی جـسم ظـاهر مـی شـود.

حالت C :

هیچ نیرویی به جسم وارد نمی شود، اما انرژی جسم بیشرین مقدار است. جسم بـه طـرف چـپ حرکـت مـی کنـد و انرژی به نیرو تبدیل و در فنر ذخیره می شود.در این مثال از اتلاف انرژی صرف نظر شد. اگر اتـلاف انـرژی وجـود داشته باشد، بتدریج سی. پی. اچ. های دریافتی بصورت انرژی به محیط منتقل می شوند.

بار الکتریکی و نیروی الکتریکی

یکی از مسائل بسیار مهم فیزیک این است که یک بار الکتریکی چگونه نیروی الکتریکی تولید و منتشر مـی کنـد؟ در مکانیک کوانتومی همه ی کنش ها از طریق ذرات تبادلی انجام می شود. بنابراین نیـروی الکتریکـی نیـز توسـط ذراتی حمل می شود که آنها را فوتون (و گاهی فوتون مجازی) می نامند. اختلاف فوتونهای حامل بار الکتریکـی و فوتونهای حامل انرژی در این است که یکی انرژی حمل می کند و دیگری نیروی الکتریکی.

از طرف دیگر می دانیم که در اطراف هر ذره ی باردار یک میدان الکتریکی وجود دارد که با توجه به نظریه میدان کوانتومی، این میدانها نیز از ذراتی تشکیل می شوند که ایجاد میدان می کنند. قبل از پیدایش نظریه کوارکها تصور می شد که پروتونها خود یک واحد بار الکتریکی و بـدون اجـزای دیگـری مـی باشـند. امـا امـروزه مـشخص شـده پروتون از سه کوارک تشکیل شده که آنها نیز بنوبه خود دارای میدان الکتریکی هستند. چون در این بحث نحوه ی تولید نیروی الکتریکی مد نظر است، فرض می کنیم که پروتون یـک ذره ی بنیـادی و بـدون اجـزا مـی باشـد. ایـن فرض به توضیح نحوه ی تولید میدان الکتریکی (ذرات حامل نیروی الکتریکی) خدشه ای وارد نمی کند و می توان

این توجیه را در نهایت به کوارکها نیز تعمیم داد. اما قبل از ادامه ی بحث لازم می دانم پدیده ی تولید و واپاشی زوج الکترون – پوزیترون را با دقت مورد بررسی قرار دهیم.

ماده و پاد ماده

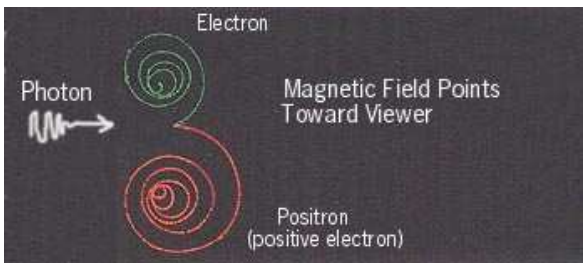
فرآیند جالبی تحت عنوان تولید زوج ماده - پاد ماده وجود دارد که از نظر اهمیت و مفاهیم بنیادی بی نظیر است. تولید و واپاشی زوج یک مثال بسیار بارز و عالی از تبدیل انرژی به ماده و بالعکس است. بررسی نظری این پدیده نخستین بار توسط دیراک در سال ۱۹۲۸ صورت گرفت. دیراک با حل معادله:

$$E^2 = c^2 p^2 + (m_0^2 c^2)^2$$

بصورت

$$E = \pm\sqrt{c^2 p^2 + (m_0^2 c^2)^2}$$

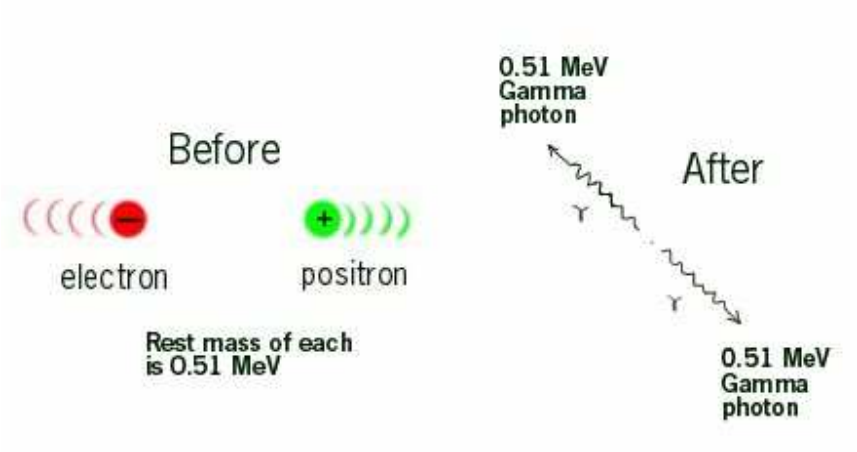
به جای آنکه قسمت منفی انرژی را به دلیل غیر فیزیکی بودن آن کنار بگذارد، به پژوهش پیرامون پیامدهای تمامی معادله پرداخت و به نتایج بسیار جالبی رسید. به طور خلاصه دیراک با توجه به قسمت منفی رابطه ی بالا وجود پاد ماده را پیشگویی کرد. اگر این پیشگویی درست می بود، می بایست برای ذره ای مانند الکترون، ذره ی دیگری وجود داشته باشد که حرم حالت سکون آن برابر جرم الکترون باشد. تجزیه تحلیل دیراک چنین نشان می داد که این ذره باید دارای بار الکتریکی مثبت باشد. چهار سال بعد، آندرسن این ذره را در اشعه ی کیهانی کشف کرد و آن را پوزیترون نامیدند. بعدها در آزمایشگاه نیز با واپاشی فوتون زوج الکترون - پوزیترون تولید شد. فوتونی با انرژی زیاد(فوتون گاما)، تمامی انرژی $E=h\nu$ خود را در برخورد با هسته از دست می دهد و یک زوج الکترون - پوزیترون می آفریند. پوزیترون ذره ای است که کلیه ی خواص آن با خواص الکترون یکسان است مگر بار الکتریکی و علامت گشاور مغناطیسی آن، زیرا بار الکتریکی پوزیترون مثبت است.



تولید زوج الکترون - پوزیترون

در فرآیند تولید زوج الکترون - پوزیترون اصولی باید محفوظ بماند تا این پدیده روی دهد. این اصول عبارتند از بقای انرژی نسبیتی کل، بقای اندازه حرکت و بقای بار الکتریکی، زیرا فوتون از نظر الکتریکی خنثی است و مجموع بارهای الکتریکی بعد از تولید نیز باید صفر باشد. بقای اندازه حرکت نیز نشان می دهد که یک فوتون نمی تواند در فضای تهی محو شود و زوج تولید کند. چنین فرایندی با حضور یک هسته ی سنگین امکان پذیر است تا بقای اندازه حرکت و بقای انرژی نسبیتی نقض نشود.

در ارتباط با تولید زوج، فرایند معکوسی وجود دارد که نابودی زوج نامیده می شود. یک الکترون و یک پوزیترون مجاور یکدیگر، در هم ادغام می شوند و به جای آن انرژی تابشی به وجود می آید.



نابودی زوج

امروزه مشاهده ی تولید و واپاشی زوج الکترون - پوزیترون در آزمایشگاه یک پدیده ی عادی بشمار می رود. در سال ۱۹۵۵ برای نخستین بار زوجهای پروتون- پاد پروتون و نوترون - پاد نوترون در آزمایشگاه آفریده شدند.

همچنانکه در بالا اشاره شد، بحث این قسمت در مورد بار الکتریکی و نیروی الکتریکی است. توجه به نحوه ی تولید زوج الکترون – پوزیترون می تواند در شناخت منشاء نیروی الکتریکی موثر باشد، بهمین دلیل این بحث مطرح شد. قبل از تولید زوج الکترون – پوزیترون، یک فوتون با انرژی بالا وجود داشت و فوتون نیز از نظر بار الکتریکی خنثی است. اما بعد از تولید زوج الکترون – پوزیترون، دو ذره ی باردار بوجود می آید که هر یک دارای یک میدان الکتریکی مخالف هستند. این فرایند را چگونه می توان توجیه کرد؟ نمی توانیم از این فرایند

بسادگی بگذریم، زیرا نشانه های بسیار آشکاری وجود دارد که ما را در شناخت منشاء بار الکتریکی و میدان الکتریکی رهنمون شود.

فوتون و بار الکتریکی

می دانیم یک فوتون حامل دو میدان الکتریکی و مغناطیسی عمود بر هم است. اما این تنها کافی نیست که بتوانیم به نتیجه مورد نظر برسیم، بلکه باید تاثیر میدان گرانشی را بر فوتون نیز مد نظر قرار دهیم و آنگاه با دیدی متفاوت همه ی این موارد را جمع بندی کرده و نتیجه گیری کنیم.

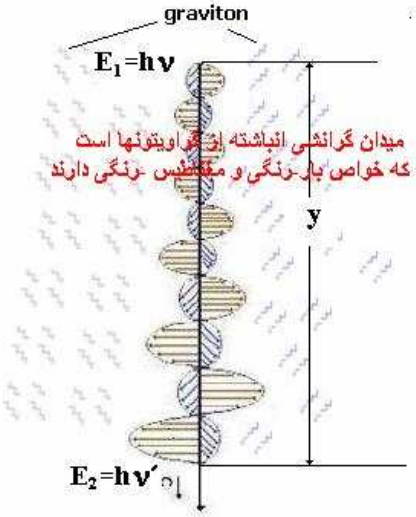
بیایید یکبار دیگر به رفتار فوتون در میدان گرانشی توجه کنیم. در فصل دوم دیدیم که یک فوتون دارای جرمی برابر

$$m=h\nu/c^2$$

است. بنابراین وزن این فوتون در میدان گرانشی زمین برابر خواهد شد با

$$mg=(h\nu/c^2)g$$

فرض کنیم فوتون در سقوط قائم بطرف زمین به فاصله y سقوط کند. در اینصورت طبق قانون بقای انرژی خواهیم داشت $h\nu'=h\nu+mgy$ شکل زیر حرکت فوتون در حال سقوط در یک میدان گرانشی را نشان می دهد که با ورود گراویتونها به آن انرژی (جرم)، فرکانس و شدت میدانهای الکتریکی و مغناطیسی آن افزایش می یابد.



بار - رنگها و مغناطیس - رنگها وارد ساختمان فوتون می شوند
و انرژی (جرم) فوتون افزایش می یابد

اگر رابطه ی $h\nu'=h\nu+mgy$ را تنها در میدان گرانشی زمین در نظر بگیریم، با توجه به مقادیر عددی ثابت پلانک و شدت میدان گرانشی تغییر قابل توجهی برای انرژی فوتون مشاهده نخواهد شد. اما سئوال این است که در میدانهای گرانشی بسیار قوی آیا این تغییرات قابل توجه نخواهد بود؟

در هر صورت آزمایش های انجام شده روی زمین هم نشان می دهد که با سقوط فوتون در میدان گرانشی، انرژی آن افزایش می یابد و همین انرژی در تولید زوج الکترون – پوزیترون به دو بار الکتریکی مخالف می گردد. حال فراین را از این منظر نگاه کنید

بار الکتریکی ← انرژی الکترومغناطیسی ← کار انجام شده توسط گرانش

انرژی الکتریکی + انرژی مغناطیسی = انرژی الکترومغناطیسی

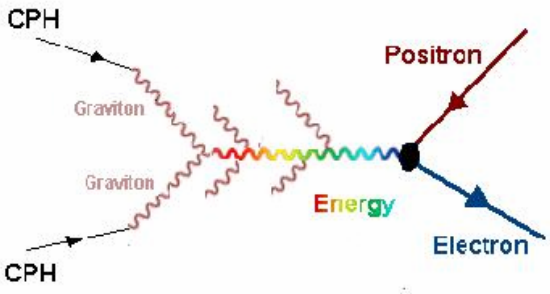
بار الکتریکی مثبت + بار الکتریکی منفی ← انرژی الکترومغناطیسی

در این فرایند نکات قابل توجهی وجود دارد:

یک : گرانش از ذراتی تشکیل شده که دارای خواص الکتریکی و مغناطیسی هستند (بار – رنگ و مغناطیس – رنگ).

دو : بار – رنگ ها با یکدیگر جمع شده و بارهای الکتریکی ایجاد می کنند.

سه : بار – رنگ ها دارای دو علامت مختلف مثبت و منفی هستند که در ساختمان فوتون وجود دارند. در فرایند تولید زوج ماده – پاد ماده، بار رنگ های منفی در کنار هم قرار می گیرند و بار الکتریکی منفی را ایجاد می کنند. بار – رنگ های مثبت نیز با هم ترکیب شده و بار الکتریکی مثبت را بوجود می آورند. شکل زیر



چهار : علت ترکیب گراویتونها با یکدیگر خاصیت بار – رنگی آنهاست. بهمین دلیل خلا می تواند انرژی تولید کند.

پنج : بارهای الکتریکی دارای میدان الکتریکی هستند و بطور دائم ذرات حامل نیروی الکتریکی منتشر می کنند.

شش : بارهای الکتریکی علاوه بر میدان الکتریکی دارای یک میدان مغناطیسی ضعیف نیز هستند.

با استفاده از این موارد می توانیم به توضیح بار الکتریکی و میدان الکتریکی بپردازیم.

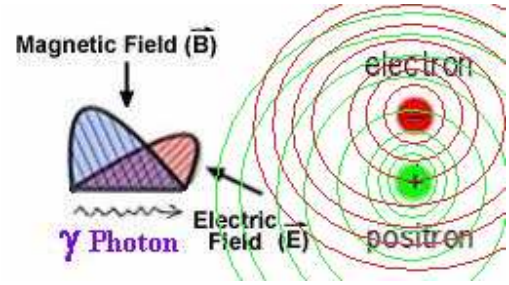
بار الکتریکی و نیروی الکتریکی از دیدگاه سی. پی. اچ.

از الکترومغناطیس کلاسیک می دانیم که شدت میدان مغناطیسی امواج الکترومغناطیسی نسبت به شدت میدان الکتریکی آن بسیار ضعیف است و رابطه ی زیر بین آنها بر قرار است.

$$c = \frac{E}{B}$$

با توجه به مقدار سرعت نور بخوبی مشاهده می شود که شدت میدان الکتریکی تا چه اندازه از شدت میدان مغناطیسی قوی تر است.

بار دیگر به تولید زوج الکترون – پوزیترون برگردیم. مشاهده شد که یک کوانتوم انرژی (یک فوتون گاما) در شرایطی به دو ذره ی باردار مثبت و منفی واپاشیده می شود. قبل از تولید زوج، تنها دو میدان الکتریکی و مغناطیسی وجود داشت (بار الکتریکی وجود نداشت، بعد از تولید زوج دو بار الکتریکی وجود دارد که میدان الکتریکی و گشتاور مغناطیسی تولید می کنند. این فرایند نشان می دهد که میدان الکتریکی (که از نظر بار الکتریکی نیز خنثی است) از دو سری بار – رنگ مثبت و منفی تشکیل می شود و در هنگام تولید زوج، بار-رنگهای منفی یکطرف جمع شده، با هم ترکیب می شوند و الکترون (با بار منفی) را بوجود می آورند. همچنین بار – رنگهای مثبت نیز یکطرف جمع شده، با هم ترکیب می شوند و پوزیترون (با بار مثبت) را بوجود می آورند. شکل زیر



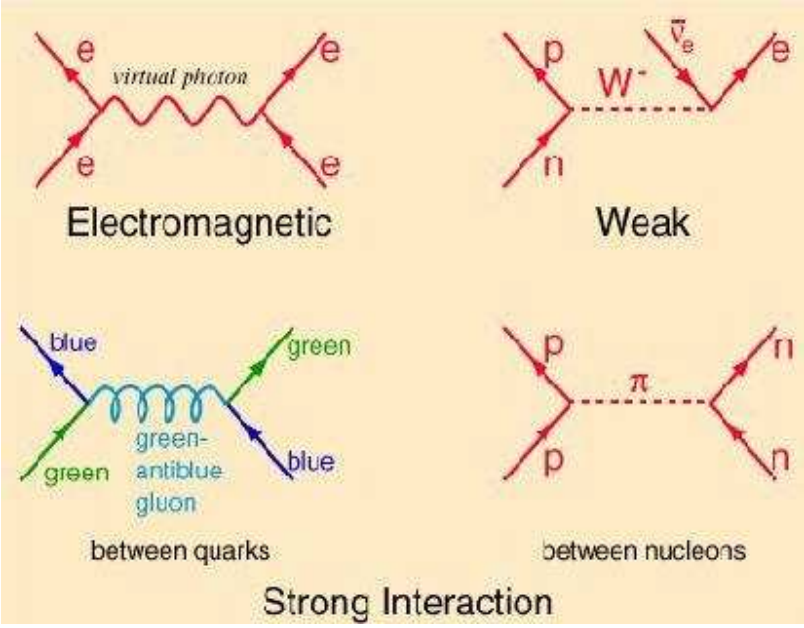
در طرف چپ میدان الکتریکی متشکل از بار – رنگهای مثبت و منفی و یک میدان مغناطیسی ضعیف وجود دارد.
در سمت راست دو بار الکتریکی مثبت و منفی وجود دارد، که میدان الکتریکی و میدان مغناطیسی ایجاد می کنند.

چگونگی ایجاد میدان الکتریکی

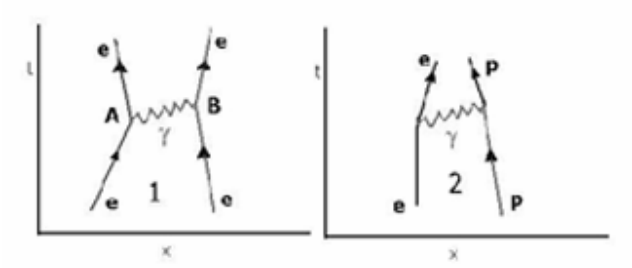
در فرآیند تولید زوج، بعد از آنکه الکترون و پوزیترون شکل گرفتند، خواص بار الکتریکی از خود نشان می دهند. این خواص از طریق میدان الکتریکی اطراف آنها که با انتشار فوتون (ذرات حامل نیروی الکتریکی) ایجاد می شود، قابل مشاهده است.
حال الکترون تولید شده را در نظر بگیرید که مجموعه ای از بار – رنگهای منفی است که با هم ترکیب شده اند. این الکترون در دریایی از بار – رنگها (گراویتونها) غوطه ور است. الکترون مانند یک ماشین بار – رنگهای منفی را متراکم کرده و بصورت فوتون (حامل بار الکتریکی منفی) منتشر می کند و بدین ترتیب میدان الکتریکی منفی اطراف خود را بوجود می آورد. بنابراین الکترون ماشینی است که ورودی آن بار – رنگهای منفی و خروجی آن فوتون منفی است. روند تولید فوتون مثبت توسط پوزیترون (یا پروتون) نیز بهمین ترتیب است.
بوتونهای منفی (ذرات حامل نیروی الکتریکی منفی) بطرف بارهای مثبت حرکت می کنند و فوتونهای مثبت بسوی بارهای منفی بحرکت در می آیند.

ذرات تبادلی در مکانیک کوانتوم

نخستین گام برای توجیه نیروهای هسته ای قوی در سال ۱۹۳۲ 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. نظریه هایزنبرگ، همه ی نیروهای جاذبه و دافعه نتیجه ی ذرات تبادلی هستند. به شکل زیر توجه کنید.



در مورد جاذبه و دافعه ی الکترومغناطیسی، ذره ی تبادلی فوتون است. 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. در شکل زیر نمودار فضا-زمان ذرات تبادلی بین دو الکترون که اثر آن دافعه است و یک الکترون و یک پروتون که اثر آن جاذبه است، نشان داده شده است.



در شکل بالا الکترونی در راس A

یک فوتون مجازی تولید کرده و می فرستد والکترون 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.

ذرات تبادلی در نظریه سی. پی. اچ.

قسمت بالا گفته شد در نظریه سی. پی. اچ. بارهای الکتریکی با استفاده از بار – رنگهای مجود در محیط به تولید و انتشار فوتونهای مجازی که حامل نیروی الکتریکی هستند، می پردازند. الکترون فوتون منفی و پروتون فوتون مثبت تولید و در فضا منتشر می کنند و بدین ترتیب در اطراف خود میدان الکتریکی ایجاد می کنند.
حال دو ذره (پروتون و الکترون) را با بار الکتریکی مثبت و منفی در نظر بگیرید. پروتون یک فوتون مثبت ارسال می کند. فوتون مثبت بسمت الکترون حرکت کرده و جذب آن می شود. الکترون که دارای بار پایه الکتریکی منفی است، فوتون مثبت را جذب می کند. اما بمحض اینکه فوتون مثبت با الکترون ترکیب می شود، موجودیت الکترون را دچار اختلال می کند و الکترون برای برطرف کردن اختلال ایجاد شده، فوتون مثبت را تجزیه کرده و به بار – رنگهای مثبت تبدیل و از ساختمان خود می راند. بار – رنگهای مثبت که با سرعتی بالاتر از سرعت نور بحرکت در می آیند، الکترون را بدنبال خود می کشند. این عمل موجوب می شود که الکترون بسمت پروتون کشیده شود. بار – رنگهای مثبت نیز در فضا پخش می شوند.
به همین ترتیب در مورد فوتون منفی و پروتون می توان توضیح داد. الکترون با تولید و انتشار فوتون منفی، پروتون را بسمت خود می کشد و پروتون نیز با متلاشی کردن فوتون منفی بار – رنگهای منفی در فضا پخش می کند و این بار - رنگهای منفی پروتون را بطرف الکترون می کشند.
همچنانکه ملاحظه می شود هیچ نیازی به استفاده از اصل عدم قطعیت برای توضیح وجود و کنش های الکترومغناطیسی نیست.

دلیل تشعشع بار شتاب دار از دیدگاه سی. پی. اچ.

از موارد مهم الکترودینامیک تشعشعات الکترومغناطیسی توسط یک بار شتاب دار است. در نظریه الکترومغناطیس کلاسیک چنین پیشگویی شده که هرگاه یک ذره ی باردار شتاب بگیرد، تشعشعات الکترومغناطیسی تابش می کند. این موضوع تا زمانی که دانش فیزیکدانان در مورد ساختمان اتم اندک بود، با اشکالی مواجه نمی شد. اما بعد

از آزمایش راترفورد مشخص شد که اتم از یک هسته نسبتاً سنگین تشکیل شده است و فاصله بین الکترونها و هسته نسبت به اندازه اتم خیلی زیاد است. در واقع قسمت عمده ای از ساختمان اتم، فضای خالی است.

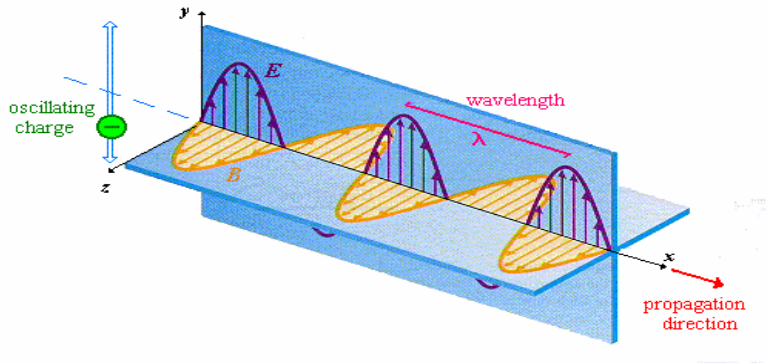
بور با در نظر گرفتن این موضوع مدل اتمی خود را ارائه کرد. طبق مدل اتمی بور، اتم از یک هسته نسبتاً سنگین تشکیل شده است و الکترونها و مدارات ثابتی به دور آن در حال چرخش هستند. این مدل نشان می داد که الکترونها در ساختمان اتم دارای شتاب هستند و طبق نظریه الکترومغناطیس می بایست انرژی تابش کند. پس می بایست بتدریج انرژی از دست بدهند و سرانجام در هسته سقوط کنند.

این مدل با نظریه ی الکترومغناطیس سازگار نبود. زیرا الکترونها ضمن آنکه به دور هسته می چرخند (دارای شتاب هستند) اما انرژی از دست نمی دهند و در هسته سقوط نمی کنند. بور برای دوری از این مشکل فرض کرد اتم هیدروژن مانند نوسان کننده های پلانک، در حالت های ثابت و معینی وجود دارد که در آنها تابشی از خود گسیل نمی کنند. وقتی تابش گسیل می شود که الکترون از یک حالت پایه به حالت دیگری با انرژی کمتر انتقال یابد به طوریکه:

$$h\nu = E_2 - E_1$$

که در آن انرژی فوتون گسیل شده برابر است باهرچند مدل اتمی بور دارای نارسایی هایی است، اما مفهوم $h\nu$ کوانتیزه بودن را در قالب فیزیک کلاسیک با بیان ریاضی ساده ای نشان داد.

پیش از ادامه بحث لازم به یادآوری است که الگوی مکانیک موجی جایگزین مدل اتمی بور شد، اما کاملاً پذیرفته شده است که الکترونها در مدار ثابت انرژی تابش نمی کنند. هنگامیکه الکترون انرژی کسب می کند به مدار بالاتر صعود می کند و هنگام بازگشت به مدار پائین تر انرژی از دست می دهد. الکترومغناطیس کلاسیک پیش بینی می کند که وقتی بار الکتریکی شتاب داشته باشد، انرژی تابشی از خود گسیل می کند. بهمین دلیل است که آنتن یک فرستنده رادیویی که در آن الکترونها به عقب و جلو رانده می شوند، امواج الکترومغناطیسی تابش می کنند. الکترونهای متحرک در اثر تابش مقداری انرژی از دست می دهند که در آنتن رادیو بوسیله یک نوسان کننده جبران می شود. شکل زیر



حال باید دید این پدیده را چگونه می توان با نظریه سی. پی. اچ. توضیح داد. در حالیکه در مکانیک کوانتوم این پدیده به عنوان یک فرض پذیرفته شده است و هیچگونه تحلیلی برای آن وجود ندارد. اما اجازه بدهید این پدیده (گسیل تابش توسط بار شتاب دار) را در حالت کلی مورد توجه قرار دهیم. آیا این پدیده حالت کلی و عمومی دارد که هرگاه یک ذره باردار شتاب بگیرد تشعشعات الکترومغناطیسی تابش می کند یا در موارد خاصی چنین است و اصولاً چرا هنگام شتاب انرژی تابش می کند؟

می دانیم هرگاه جسمی در میدان گرانشی سقوط (یا صعود) کند شتاب می گیرد. سئوال این است که اگر یک ذره ی باردار در میدان گرانشی سقوط کند، انرژی تابش می کند؟

جواب نسبیت به این سئوال مثبت است. اما هنوز یک توافق کلی و تجربی در این مورد وجود ندارد. در هر صورت طبق نسبیت هرگاه یک ذره ی باردار در میدان گرانشی شتاب بگیرد، انرژی تابش می کند. اما چون گرانش نیروی بسیار ضعیفی است، هنوز بطور تجربی نتوانسته اند گسیل انرژی توسط یک ذره ی باردار را در میدان گرانشی بطور آزمایشی ثابت کنند. معمولاً اثبات آن را به دستگاه های مقایسه ای و از دید ناظر مورد بحث قرار می دهند.

تشعشع و سی. پی. اچ.

در نظریه سی. پی. اچ. نیرو و انرژی قابل تبدیل به یکدیگر هستند، یعنی نیرو به انرژی تبدیل می شود و انرژی نیز به نیرو تبدیل می گردد. هرگاه نیرو به جسمی وارد شود و روی آن کار مثبت انجام دهد، نیرو به انرژی تبدیل می شود. اما اگر کار انجام شده منفی باشد، انرژی به نیرو تبدیل می شود، یعنی با توجه به رابطه

$$W=dE$$

اگر کار مثبت باشد، انرزی جسم (یا ذره) افزایش می یابد که در این صورت نیرو به انرژی تبدیل می شود و انرژی جسم افزایش می یابد. اگر کار انجام شده روی جسم منفی باشد، یعنی جسم انرژی از دست بدهد، انرژی به نیرو تبدیل می شود. اگر کار انجام شده برابر با صفر باشد، هیچ تغییری در انرژی جسم ایجاد نمی شود.

بنابراین هنگامیکه الکترون در ساختمان اتم روی مدار خاصی به دور هسته می گردد، هرچند دارای شتاب است اما کار انجام شده روی آن صفر است. و تغییری در انرژی آن ایجاد نمی شود. اما هنگامیکه الکترون شتاب بگیرد، بطوریکه کار انجام شده روی آن صفر نباشد ، امواج الکترومغناطیسی تابش می کند. یعنی تابش امواج الکترومغناطیسی توسط ذره ی باردار تابع کاری است که روی آن انجام می شود. در این بحث هنوز دو نکته مشخص نشده است، یکی اینکه اصولاً چگونه تابش امواج الکترومغناطیسی توسط ذره ی باردار شتاب دار قابل توضیح است؟ و دیگر اینکه چرا هنوز تابش ذره ی باردار در میدان گرانشی (آنچنان که نسبیت پیش گویی کرده) با تجربه ثابت نشده است؟

طبق نظریه ی سی. پی. اچ. هرگاه یک ذره ی باردار حرکت کند، گرانش در مقابل این حرکت مقاومت می کند و مقامت گرانش با حرکت ذره ی باردار به صورت نیروی مغناطیسی ظاهر می شود. اما اگر ذره ی باردار علاوه بر سرعت، شتاب نیز داشته باشد بطوریکه کار انجام شده روی آن مخالف صفر باشد، امواج الکترومغناطیسی تابش می کند. در ساختمان اتم جون کار انجام شده روی الکترون صفر است ، لذا انرژی تابش نمی کند.

بطور کلی می توان برای یک ذره ی شتاب دار چنین گفت :

$$W_{(on\ charge\ particle)}=E$$
$$W=0 \rightarrow E=0$$

بنابراین تابش امواج الکترومغناطیسی بار شتاب دار تابع مقدار کاری است که روی آن انجام می شود.

در مورد سقوط یک ذره ی باردار در میدان گرانشی باید به جرم ناچیز ذره توجه کرد که با توجه به رابطه ی

$$W=F.d=mgh$$

کاری که نیروی گرانش روی ذره ی باردار انجام می دهد بسیار ناچیز است و اندازه گیری آن به ابزار بسیار دقیقی نیاز دارد. در اینجا لازم به یادآوری است که امواج الکترومغناطیسی دارای طیف بسیار گسترده ای است و یک ذره که در میدان گرانشی سقوط می کند، می تواند امواج الکترومغناطیسی با طول موج بسیار بلند تولید کند. یعنی از دیدگاه سی. پی. اچ. نیز اگر بار الکتریکی در میدان گرانشی سقوط کند، تابش خواهد کرد.

بار شتاب دار و فوتونها

حال اگر دو مبحث بالا را با هم در نظر بگیریم، می توان گفت که اصولاً بار الکتریکی تحت هر شرایطی تابش می کند. اما این تابش ها به دو گونه است، یکی تابش فوتونهای مجازی که نیروی الکتریکی را حمل می کنند و دیگری فوتونهای حقیقی که انرژی الکترومغناطیسی را حمل می کنند.

برای تابش فوتونهای مجازی وجود بار- رنگ (گراویتون) الزامی است و برای تابش فوتون حقیقی وجود انرژی لازم است. زیرا همانطور که در بالا گفته شد، فوتون حقیقی مجموعه ای از بار – رنگ مثبت و منفی و مغناطیس – رنگ است. بنابراین برای آنکه بار شتاب دار فوتون حقیقی تابش کند، بایستی مواد اولیه آن به بار داده شود که از طریق کاری که روی بار انجام می شود، این مواد اولیه به بار منتقل می گردد.

تاثیر گرانش بر امواج الکترومغناطیسی

همجنانکه می دانیم طبق طبق پیشگویی نسبیت عام هرگاه فوتونی از میدان گرانشی عبور کند، فرکـانس و در نتیجـه انرژی آن تغییر می کند. که طبق نسبیت از رابطه ی زیر تبعیت می کند.

$$\nu' = \nu\left(1 \pm \frac{GM_s}{R_s c^2}\right)$$

که در آن ν' فرکانس ثانویه ν فرکانس اولیه G ثابت جهانی گرانش
M_s جرم جسم مثلا ستاره R_s شعاع جسم c سرعت نور است

علامت جمع مربوط به سقوط (جابجایی بسمت آبی) و علامت منفی مربور به صعود فوتون (جابجایی بسمت سرخ) گرانش است. موسذوئر روش آزمایش این پیشگویی را نشان داد و آزمایش پوند و ربکا نیز آن را تایید کرد.

آزمایش پوند و ربکا در مورد اشعه ی گاما بکار رفت و نتیجه ی آن بخوبی با پیش بینـی نظـری توافـق داشـت. امـا مشاهدات تجربی نشان می دهد که رابطه ی بالا برای تمام طول موجها سازگار نیست. مثلاً امواج رادیویی که طـول موج بلندی دارند در میدان گرانش مانند امواج گاما که دارای طول موج بسیار کوتـاهی هـستند، رفتـار نمـی کننـد. یعنی جابجایی بسمت سرخ یا آبی گرانش برای همه ی طول موج ها از یک رابطـه یکـسان کـه در بـالا ارائـه شـده، پیروی نمی کنند. که نسبیت برای آن توجیهی ندارد.

اما از دیدگاه نظریه سی. پی. اچ. تاثیر گرانش بر امواج الکترومغناطیسی تابع ساختمان فوتون و پیچیـدگیهای وابـسته به آن است. هنگامیکه فوتون دارای انرژی کافی است (نظیر تابش گاما) مانند یک پرتابـه در میـدان گرانـشی رفتـار می کند که بخوبی با پیش بینی نسبیت سازگار است. اما زمانیکه انرژی فوتون در حد پائینی باشد (فرکانس آن کـم باشد)، مانند پرتو گاما رفتار نمی کند.

بنابراین از دیدگاه سی. پی. اچ. بایستی رابطه ی بالا تصحیح شود و برای تصحیح آن نیز مـی تـوان از یـک ضـریب احتمال استفاده کرد. این ضریب احتمال برابر است با نسبت فرکانس تابش مورد نظر به فرکانس تابش گاما و چـون فرکانس فوتون با انرژی (یا جرم) آن متناسب است، می توان از نسبت انرژی ها نیز استفاده کرد. یعنی:

$$P(GEMW) = P(\text{Gravity effect on EMW}) = \frac{\text{Energy of Photon}}{\text{Energy of Gamma Photon}}$$

لذا رابطه ی انیشتین را می توان بصورت زیر تعمیم داد.

$$\nu' = P(GEMW)\nu\left(1 \pm \frac{GM_s}{R_s c^2}\right)$$

بنابراین تاثیر گرانش بر امواج بلند مانند امواج رادویی بسیار اندک خواهد بود.

در نمودار زیر یک فون با جرم m در میدان گرانشی با شدت g به اندازه h تغییر مکان می دهد. چون هر سه کمیت فوق متغییر هستند، لذا با یک انتگرال سه گانه برو برو هستیم که بصورت زیر در می آید.

The Effect of Gravitation on EMW is a Probably Function

Gravitaion Effect on Electromagnrtic Waves

$$P(GEMW) = P(\text{Gravity effect on EMW}) = \frac{\text{Energy of Photon}}{\text{Energy of Gamma Photon}}$$

A Photon in a Gravitational Field

$$\Delta E = P(GEMW) \int_{m_0}^{m} \int_{g_0}^{g} \int_{0}^{h} dm\, dg\, dh$$

m is mass of phtoton
g is gravity intensity
h is high

for radio wave, P(GEMW) is around 10^{-15}

for white light, P(GEMW) is around 10^{-6}

for CPH, P(GEMW) is very less than 10^{-20}

for Blue-Shift ΔE is positive

for Red-Shift ΔE is negative

همچنانکه در بالا مشاهده می شود، هرچه فرکانس فوتون کاهش می یابد، تاثیر میدان گرانشی نیز بر روی آن کاهش می یابد. تا حدیکه در انتهای طیف امواج الکترومغناطیسی به بار- رنگ (گراویتون) می رسیم که تاثیر آن بسمت صفر میل می کند. بهمین دلیل گراویتونها (بار – رنگها) می توانند از میدان گرانش (حتی میدان گرانشی بسیار قوی نظیر سیاه چاله ها) بگریزند و آثار گرانشی آن را نتقل کنند. اما این امر نیز محدودیتی دارد و سرانجام اگر سیاه چاله خیلی چگال باشد، می تواند مانع از خروج گراویتونها (بار – رنگها) گردد که اصطلاحاً گفته می شود سیاه چاله گرانش را می بلعد. این مورد موضوع فصول آتی است.