

اتحاد نیروها و نظریه سی. پی. اچ.

مقدمه:

امروزه فیزیکدانها موفق شده اند نشان دهند که در انرژیهای بسیار بالا، تفاوت بین نیروی الکترومغناطیسی و نیروی ضعیف از بین می رود و امکان دارد که در انرژی خیلی بالاتر، تفاوت بین نیروی قوی و نیروی ضعیف و همچنین تفاوت بین «لپتونها» و «کوارکها» نیز از بین برود، به گونه ای که فقط یک ذره اولیه و یک نیروی اولیه وجود داشته باشد. چنین روابطی را حتی با بزرگترین شتابدهنده ها نیز نمی توان مشاهده کرد ولی «وحدت نیروها» احتمالاً مدت بسیار کوتاهی پس از انفجار بزرگ وجود داشته بود. یعنی زمانی که هنوز تمام کیهان به صورت یک گوی آتشین فوق فشرده و دارای انرژی عظیمی بود. در قلمرو کوچکترین ها، هنوز مطالب قابل پژوهش زیادی وجود دارد. امروزه فیزیکدانان این پرسش را مطرح می کنند که آیا کوارکها و الکترونها هم از ذرات کوچکتری ساخته شده اند یا خیر؟

از دیدگاه نظریه سی. پی. اچ.، پاسخ این سؤال مثبت است و علاوه بر آن نه تنها فرمیونها از ذره ی واحدی ساخته شده اند، بلکه بوزونها نیز که حامل نیروها هستند، از همان ذره ی بنیادی یعنی سی. پی. اچ. ساخته شده اند. از این دیدگاه، سی. پی. اچ. ها کوانتومهای انرژی را تشکیل می دهند، انرژی به ماده و پادماده واپاشیده می شود و فرمیونها را بوجود می آورد و فرمیونها خود، به تولید بوزونها می پردازند. در بخش یک نگرش فیزیک مدرن در مورد ذرات تبدلی (بوزونها) که نیروها را حمل می کنند، بیان می شود و بخشهای بعدی دیدگاه نظریه سی. پی. اچ. مطرح می شود. لازم به ذکر است که در فیزیک مدرن هیچ توضیحی در مورد منشا و علت تولید بوزونها وجود ندارد، در حالی که در نظریه سی. پی. اچ. شرایط بوجود آمدن و نابود شدن آنها نیز توضیح داده می شود.

۱ ذرات تبادلی

نخستین گام برای توجیه نیروهای هسته ای قوی در سال ۱۹۳۲ توسط هایزنبرگ برداشته شد. وی نظر داد که پروتونها به وسیله نیروهای تبادلی در کنار یکدیگر قرار می گیرند. به این ترتیب می توان تصور کرد که دو ذره، به تبادل ذره ی سوم که ذره تبادلی^۱ نامیده می شود، می پردازند. این 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.

۱-۱ برد و جرم ذرات تبادلی

در مورد جاذبه و دافعه 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.

غیر قابل مشاهده بودن فوتون مجازی، امکان عدم بقای انرژی و اندازه حرکت را در بازه ی زمانی بین گسیل و در آشامیدن فوتون فراهم می کند. اصل عدم قطعیت انرژی فرض شده که توسط آن بقای انرژی نقض می شود، به مقدار زیر محدود می کند:

$$\Delta E \Delta t \approx mc^2 \geq \frac{\hbar}{2} \quad (1)$$

که در آن Δt برابر بازه ی زمانی بین گسیل و در آشامیدن فوتون مجازی است. ذراتی که در این رابطه صدق می کنند، ذرات مجازی نامیده می شوند و مدت حضور (طول عمر) آنها برابر Δt است. علاوه بر آن، این ذرات نمی توانند با سرعتی بالاتر از سرعت نور c حرکت کنند. همین محدودیت ها تعیین کننده جرم m و برد R ذرات تبادلی است. بیشترین برد ذرات تبادلی را می توان از رابطه زیر به دست آورد:

^۱ - Exchange Particle

اتحاد نیروها و نظریه سی. پی. اچ.

$$Range \approx ct \approx \frac{\hbar}{2m_0c} \quad (2)$$

رابطه برد ذرات تبدالی

که در آن m_0 جرم حالت سکون ذره است. بنابر نسبیت، هر ذره ای که با سرعت نور حرکت کند، دارای جرم حالت سکون صفر است، لذا با توجه به رابطه بالا، برد فوتون مجازی که ذره تبدالی نیروی الکترومغناطیسی است، بینهایت می باشد. ذراتی که نیروها را حمل می کنند، بوزون نامیده می شوند و دارای اسپینی برابر عدد صحیح صفر، یک، دو... می باشند.

این نظریه که نیروهای الکتریکی توسط فوتون های مجازی منتقل می شود، انگیزه ای شد تا یوکاوا^۱ فیزیکدان ژاپنی طرح ذرات تبدالی را در مورد برهمکنش قوی، نیرویی که پروتونها را در هسته کنار هم نگاه می دارد، بکار برد (در آن زمان هنوز بحثی در مورد اینکه نوکلئونها نیز از ذرات دیگری یعنی کوارکها ساخته می شوند، مطرح نشده بود). یوکاوا با توجه به برد کوتاه برهمکنش قوی، پیش بینی کرد ذره تبدالی برهمکنش قوی دارای جرمی در حدود سیصد برابر جرم حالت سکون الکترون است که بعدها چنین ذره ای کشف گردید و آن را مزون نامیدند. به همین ترتیب ذرات تبدالی برای برهمکنش ضعیف نیز قابل توضیح است. نتایج به دست آمده نشان داد برهمکنش ضعیف توسط سه بوزون W^+ , W^- و Z^0 حمل می شوند که همگی دارای جرم حالت سکون غیر صفر می باشند و برد آنها محدود است. پس از آنکه نظریه گراویتون (ذره تبدالی حامل نیروی گرانش) مطرح شد، با توجه به اینکه گراویتون با حد سرعت c حرکت می کند، جرم حالت سکونش صفر و برد آن نامحدود است.

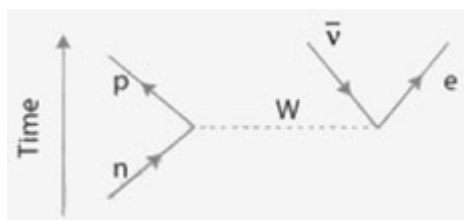
۲-۱ اتحاد الکترومغناطیسی و ضعیف

در سال ۱۹۶۷ یک نظریه جدید میدان کوانتومی ارائه شد که می توانست نیروی هسته ای ضعیف و الکترومغناطیس را با هم متحد کند. ذرات کنش ضعیف را بوزونهای برداری نیز می نامند. این نظریه با دیاگرامهایی شبیه دیاگرامهای فاینمن دقیقاً قابل توصیف بود، به جای جفت الکترون-پوزیترون، کافیس

^۱ - Hideki Yukawa (۱۹۰۷-۱۹۸۱)

اتحاد نیروها و نظریه سی. پی. اچ.

که الکترون - نوترینو را جایگزین کنیم و به جای فوتونها، ذرات W بگذاریم (شکل ۱). مشکل اینجا بود که نظریه با استفاده از تقارن قابل بهنجارش نبود و نظریه با بینهایت‌هایی درگیر بود که سالها فیزیکدانان درگیر آن بودند.



شکل ۱: نمودار کنش ضعیف

سرانجام عبدالسلام^۱، واینبرگ^۲ و شلدون گلاشو^۳ با استفاده از روابط مقارن ریاضی که تازه ارائه شده بود، توانستند نیروهای ضعیف و الکترومغناطیس را با هم متحد کنند. این سه فیزیکدان مستقلاً نظریات خود را در سال ۱۹۶۷ منتشر کردند و مشترکاً در سال ۱۹۷۹ جایزه نوبل را دریافت کردند.

۱-۳ کرومودینامیک کوانتومی یا الکترو دینامیک رنگی

پس از تایید نظریه الکترو - ضعیف و کاهش تعداد نیروهای اساسی از چهار به سه، از اوایل دهه ی ۱۹۷۰ نظریه پردازان این سؤال را مطرح کردند که آیا با استفاده از همین روش می توان تعداد نیروها را به دو یا یک کاهش داد؟

نیروی قوی بین کوارکها عمل می کند و کوارک ها علاوه بر بار الکتریکی معمولی که دارند، نوع دیگری بار را حمل می کنند که آنرا بار-رنگ می نامند. نظریه ای که برهمکنش موجود بین بارهای

^۱ - Abdus Salam (۱۹۲۶-۱۹۹۶)

^۲ - Steven Weinberg (۱۹۳۳-)

^۳ - Sheldon Lee Glashow (۱۹۳۲ -)

اتحاد نیروها و نظریه سی. پی. اچ.

الکتریکی ذرات را از طریق مبادله یک فوتون توصیف می کند، الکترودینامیک کوانتومی نامیده می شود. اصطلاح کوانتوم به ما می گوید که با ذرات سرو کار داریم و اصطلاح الکترودینامیک نشان می دهد که با پدیده های الکترومغناطیسی مواجه هستیم. بطور مشابه، نظریه ای به منظور توصیف برهمکنش قوی، بر اساس برهمکنشی شامل بار-رنگی کوارک ها پایه ریزی شده است که آنرا کرومودینامیک کوانتومی^۱

QCD می نامند، که پیشوند کرومو به رنگ اشاره دارد. کوارکها دارای بار الکتریکی $\frac{-e}{3}, \frac{+2e}{3}$ هستند.

کوارکها به دلیل بار الکتریکی که دارند، در کنش الکترومغناطیسی شرکت می کنند. علاوه بر آن در کنش قوی نیز شرکت می کنند. کنش قوی توسط ذره ی بدون بار الکتریکی به نام گلوئون حمل می شود. جرم حالت سکون گلوئون صفر و اسپین آن یک است (جدول ۱). تبادل گلوئون ها بین کوارک ها، ذرات بنیادی را یکپارچه و در کنار هم نگه می دارد، همانگونه که تبادل فوتون بین الکترونها و پروتونها، اتم را منسجم نگاه می دارد. تنها اختلاف واقعی آن است که تبادلات برای برهمکنش های قوی، اندکی پیچیده تر است.

۴-۱ وحدت بزرگ

برهمکنش در برگیرنده ی هر سه نیرو (قوی، الکترومغناطیسی و ضعیف) یک تقارن پیمانه ای به نمایش می گذارد که ما را مجاز می دارد تا بارهای الکتریکی و رنگی را به میل خود، در نقاط مختلف فضا تغییر دهیم. از آنجا که از ترکیب برهمکنش های ضعیف و قوی سخن می گوئیم، الزاما باید این تقارن را تعمیم دهیم و این امکان را فراهم آوریم که تبدیل کوارک ها به لپتونها به روش مشابهی صورت می گیرد. جهت جبران کردن این تبدیلات، باید خانواده ای از ذرات موجود باشند که تبادل آنها، عاملی برای نیروی وحدت یافته باشد. تغییر در این ذرات تبدلی، تغییر در ذرات اصلی را بطور کامل خنثی خواهد کرد و نظریه حاصل را تغییر ناپذیر خواهد نمود. در سیمای متقارن نظریه، کلیه ذرات تبدلی بدون جرم هستند. ولی به دلیل پدیده ی شکسته شدن خود بخودی تقارن، بعضی از این ذرات تبدلی در واقع دارای جرم می شوند. همانگونه که بوزون های برداری در وحدت نیروهای الکترومغناطیسی و ضعیف چنین بودند. نیروی

^۱ - Quantum Chromo-dynamic

اتحاد نیروها و نظریه سی. پی. اچ.

بنیادی عامل در این نظریه ی وحدت یافته، شامل خانواده ای از بیست و چهار ذره ی بدون جرم با اسپین یک ایجاد می کند. این ذرات در وحدت بزرگ، همان نقشی را ایفا می کنند که چهار ذره ی بدون جرم با اسپین یک در وحدت الکتروضعیف بر عهده دارند. در واقع چهار تا از این ذرات با چهار بوزون الکتروضعیف معادل هستند، در حالی که هشت تای دیگر معادل گلئون های حامل نیروی قوی هستند. دوازده ذره باقیمانده با حرف x نشان داده می شوند و معرف مجموعه جدیدی از ذرات می باشند. ذرات x حامل بار-رنگی و بار الکتریکی هستند.

ذرات x دارای این خاصیت هستند که وقتی توسط یک کوارک جذب می شوند، آن را به یک لپتون تبدیل می کنند و بالعکس. پس، این ذرات مهم ترین پیش بینی نظریه های وحدت یافته بزرگ، یعنی ناپایداری پروتون را نتیجه می دهند. هنگامی که انرژی موجود در برخوردهای بین ذرات از 10^{15}GeV تجاوز می کند، این حقیقت که x دارای جرم است و گلئون ها چنین نیستند، بی معنی می شود و تقارن های زمینه در سامانه، آشکار می شود. هنگامی که انرژی به پائین تر از این مقدار تنزل می کند، آثار شکسته شدن خود بخودی تقارن هویدا خواهد گشت و نیروی قوی، از لحاظ منش، بسیار متفاوت با نیروی الکتروضعیف بنظر خواهد رسید.

۱-۵ ابر تقارن، ابر گرانش و ابر وحدت

کاری که باید انجام شود، مشتمل بر دو قسمت است. نخست بسط یک نظریه گرانش کوانتومی بر مبنای تبادل ذرات و دیگری ترکیب کردن این نظریه با وحدت بزرگ است. وضعیتی که در اینجا با آن مواجه هستیم، مشابه چیزی است که در مورد وحدت بخشیدن و یکی کردن نیروی قوی با الکتروضعیف دیدیم. نخست به نظریه ای در مورد برهمکنشهای قوی نیاز داشتیم (کرومودینامیک کوانتومی) سپس باید راهی می یافتیم تا آن نظریه را با نظریه واینبرگ - عبدالسلام یکی کرده و به یک نظریه وحدت بزرگ GUT می رسیدیم. روشی که شرح داده شد، یعنی کوانتومی کردن گرانش و ترکیب آن با وحدت بزرگ که

اتحاد نیروها و نظریه سی. پی. اچ.

امروز ابر تقارن^۱ نامیده می شود و نظریه های گرانش کوانتومی که از ابرتقارن استفاده می کنند، نظریه های ابرگرانشی^۲ خوانده می شوند.

نظریه های ابر تقارن طوری عمل می کنند که تمایز بین بوزونها و فرمیونها محو می شود. سیمای کلی یک نظریه ابرگرانش، وحدت نیروی گرانشی با نیروهای بنیادین دیگر و معرفی برهمکنشهایی است که در آنها فرمیونها و بوزونها می توانند جای خود را با یکدیگر عوض کنند و به سامانه ای منتهی شوند که در آن فقط یک نوع ذره وجود دارد. در ورای این سیمای کلی، و این دیدگاه که وحدت باید در زمان پلانک رخ دهد، در حال حاضر در این باب هیچ نظریه محکمی وجود ندارد.

جدول ۱: بوزونها

Name	Charge	Spin	Mass (GeV)	Force mediated
Photon	0	1	0	Electromagnetism
W^{\pm}	± 1	1	80.4	Weak nuclear
Z^0	0	1	91.2	Weak nuclear
Gluon	0	1	0	Strong nuclear
Higgs	0	0	>112	Particle acquire mass by Higgs
Graviton	0	2	0	Gravity

گراویتون هنوز آشکار نشده و هیگز عامل جرم دار شدن ذرات است.

^۱ - Super Symmetry

^۲ - Super Gravitation and Super Unification

اتحاد نیروها و نظریه سی. پی. اچ.

همچنان که جدول ۱ نشان می دهد، سه بوزون حامل نیروی الکترومغناطیسی، کنش ضعیف و کنش قوی دارای اسپین یک هستند. در حالی که گراویتون (حامل کنش گرانشی) دارای اسپین ۲ و هیگز بوزون (عامل جرم دار شدن ذرات) دارای اسپین صفر است. همچنین این بوزونها به دو دسته تقسیم می شوند، بوزونهایی که با سرعت کمتر از سرعت نور حرکت می کنند که دارای جرم حالت سکون غیر صفرند (بوزونهای برداری و بوزون هیگز) و بوزونهایی که دارای جرم حالت سکون صفر هستند (فوتون، گراویتون و گلوئون). همچنین در فیزیک مدرن مکانیزم هیچ توضیحی برای کنش بوزون و فرمیون ارائه نمی شود و تنها به این اکتفا می شود که بوزونها عامل جذب یا دفع فرمیونها هستند.

در نظریه سی. پی. اچ. گراویتون با سرعت بالاتر از سرعت نور حرکت می کند، هنگامیکه گراویتونها به فوتون تبدیل می شوند، سرعت خطی فوتون به سرعت نور می رسد و در اینجا نیروهای الکترومغناطیسی ظاهر می شوند، هنگامیکه انرژی به ماده و پادماده (فرمیون) تبدیل می شود، سرعت آنها به کمتر از سرعت نور می رسد و بوزون حامل نیروی الکترومغناطیسی با سرعت نور حرکت می کند و بوزون از فرمیون جدا می شود. علاوه بر آن نظریه سی. پی. اچ. نشان می دهد که چگونه خود فرمیونها، بوزونهای مربوطه را تولید می کنند. این سازکار توضیح می دهد که چرا برد نیروهای هسته ای کوتاه است. در حالیکه طبق رابطه برد ذرات تبادلی (رابطه ۲)، برد گلوونها باید بینهایت باشد، زیرا جرم حالت سکون آنها نیز صفر است.

۱-۶ معمای جرم سکون

حال اجازه دهید تعریف خود را در مورد جرم حالت سکون تغییر دهیم. همچنانکه می دانیم بعضی از ذرات مانند فوتون در هیچ دستگاه لختی به حالت سکون (در شرایط سکون) قابل مشاهده نیستند. با توجه به نسبیت این ذرات نیز دارای جرم هستند که از رابطه زیر به دست می آید:

$$E=mc^2=h\nu \Rightarrow m=\frac{h\nu}{c^2} \quad (3)$$

اتحاد نیروها و نظریه سی. پی. اچ.

بنابراین با دو گونه ذرات مواجه هستیم:

- برخی ذرات که در همه دستگاه های لخت با سرعت نور C حرکت می کنند، این ذرات را ذرات $N.R.$ ^۱ یا ذراتی که هرگز مشمول شرایط حالت سکون نمی شوند، می نامیم.
- ذراتی نظیر الکترون که در هر دستگاه لختی همواره با سرعت v کمتر از سرعت نور ($v < C$) حرکت می کنند.

با توجه به تعریف بالا، فوتون و گراویتون ذرات NR هستند ولی الکترون ذره نامیده می شود.

۲ تعریف بار-رنگ و مغناطیس رنگ

تعریف بار-رنگ و مغناطیس رنگ با توجه به رفتار فوتون در میدان گرانشی ارائه می شود. در این نگرش ابتدا با استفاده از تغییرات انرژی الکترومغناطیسی در میدان گرانشی، ویژگیهای بار-رنگها را به دست می آوریم و با استفاده از بار-رنگها و مغناطیس رنگ سی. پی. اچ، یعنی سنگ بنای اولیه همه ی ذرات/اجسام موجود در جهان تعریف می شود. آنگاه خواهیم دید که این تنها ذره ی بنیادی است و سایر ذرات را پدید می آورد.

فرض کنیم یک فوتون با جرم NR برابر $m = \frac{h\nu}{c^2}$ و انرژی $E = h\nu$ در ارتفاع h نسبت به یک دستگاه لخت (که روی زمین قرار دارد) به طرف زمین در حال سقوط است. بسامد آن از ν به ν' افزایش می یابد. در واقع تعدادی بار-رنگ و مغناطیس رنگ ساختمان فوتون می شود که در نتیجه آن $\Delta\nu = \nu' - \nu$ را خواهیم داشت. این که ادعا می شود تعدادی بار-رنگ و مغناطیس رنگ وارد ساختمان فوتون می شود، به این دلیل است که با افزایش انرژی فوتون در میدان گرانشی، شدت میدان الکتریکی و مغناطیسی فوتون افزایش می یابد و انرژی فوتون چیزی بجز انرژی میدان الکتریکی و مغناطیسی وابسته به آن نیست.

^۱ - Never at Rest condition Particles

اتحاد نیروها و نظریه سی. پی. اچ.

مسئله این است که چه تعداد بار - رنگ و مغناطیس رنگ وارد فوتون می شود که موجب حداقل افزایش انرژی فوتون شود، یعنی اگر ΔV مینیمم باشد، آنگاه چه تعداد بار - رنگ و مغناطیس رنگ وارد فوتون شده است؟

با توجه به بیان بالا، برای محاسبه تعداد بار - رنگها و مغناطیس رنگ هایی که موجب تغییر بسامد فوتون ΔV (در حالت مینیمم) می شوند و خواصی که بار - رنگ و مغناطیس رنگ باید داشته باشند تا با ویژگی فوتون نیز سازگار باشد، به صورت زیر عمل می کنیم:

فرض کنیم یک فوتون با بسامد V از تعداد n_1 ذره تشکیل شده باشد و فوتون با بسامد V' شامل n_2 عضو باشد. توجه شود که این ذرات که ساختمان فوتون را شکل می دهند، نمی توانند یکسان باشند، زیرا باید خواص الکتریکی و مغناطیسی فوتون را بتوان توجیه کرد، لذا این ذرات متفاوتند که میدانهای متفاوت الکتریکی و مغناطیسی (اما وابسته به یکدیگر) را ایجاد می کنند. با توجه به این مطالب، ماتریس 4×1 زیر را در نظر بگیرید:

$$\begin{bmatrix} A \\ B \\ C \\ D \end{bmatrix}$$

حال باید A, B, C, D را طوری محاسبه کنیم که بتوانند با ویژگیهای فوتون نیز سازگار باشند. هنگامیکه گرانش روی فوتون کار انجام می دهد، بار - رنگها و مغناطیس رنگها وارد ساختمان فوتون می شوند و شدت میدان الکتریکی فوتون افزایش می یابد، اما بار الکتریکی ایجاد نمی شود، زیرا فوتون از نظر الکتریکی خنثی است. بنابراین A, B باید حامل اثر میدان الکتریکی باشند و علاوه بر آن، این آثار باید یکدیگر را خنثی کنند تا خنثی بودن فوتون را از نظر الکتریکی توجیه کنند، لذا بایستی حامل دو نوع اثر متضاد الکتریکی باشند که یکی میدان الکتریکی مثبت و دیگری میدان الکتریکی منفی را ایجاد کند. همچنین با توجه به نسبت شدت میدان الکتریکی و مغناطیسی فوتون، یعنی $E=cB$ می توان نوشت:

اتحاد نیروها و نظریه سی. پی. اچ.

$$A=cH^+, \quad B=cH^-, \quad c \text{ is speed of light}$$

که در آن H^+ بار-رنگ مثبت و H^- بار-رنگ منفی نامیده می شود. همچنین در رابطه بالا C باید یک عدد خالص باشد که تنها نسبت دو میدان الکتریکی و مغناطیسی را از نظر تعداد ذرات تشکیل دهنده آنها نشان دهد. لذا این ضریب ثابت را با $C=\kappa$ نشان می دهیم و روابط بالا به شکل زیر خواهد شد:

$$A=\kappa H^+, \quad B=\kappa H^-, \quad \kappa \text{ is pure number}$$

هنگامیکه تعدادی H^+ وارد ساختمان فوتون می شود، شدت میدان الکتریکی مثبت فوتون افزایش می یابد. با توجه به معادلات الکترومغناطیس ماکسول، شدت میدان مغناطیسی نیز افزایش می یابد، لذا عنصر C باید اثر مغناطیسی اطراف بار-رنگهای مثبت را افزایش دهد، بهمین ترتیب D نیز باید شدت میدان مغناطیسی اطراف بار-رنگهای منفی را افزایش دهد. این دو عنصر از نظر اثر، یکسان هستند، اما از نظر جهت گردش (که با میدان الکتریکی مربوطه متناسب است) متفاوت می باشند. بنابراین با توجه به نسبت شدت میدانهای الکتریکی و مغناطیسی می توان نوشت:

$$C=H^m, \quad D=-H^m$$

بنابراین ماتریس مورد نظر به شکل زیر در می آید که ماتریس CPH نامیده می شود:

$$[CPH] = \begin{bmatrix} \kappa H^+ \\ \kappa H^- \\ H^m \\ -H^m \end{bmatrix} \quad (4)$$

اتحاد نیروها و نظریه سی. پی. اچ.

با توجه به توضیحات بالا می توانیم کوچکترین مقدار انرژی فوتون را تعریف کنیم. یک فوتون با مقدار انرژی بسیار کم (کمترین مقدار انرژی ممکن) شامل تعدادی بار-رنگ مثبت H^+ ، به همان تعداد بار-رنگ منفی H^- ، یک مغناطیس-رنگ راست گرد H^m و یک مغناطیس-رنگ چپ گرد H^m است که در ماتریس CPH نشان داده شد. این مقدار انرژی طبق حد زیر تعریف می شود:

$$\text{Tiny energy} = E[(2\kappa + 2)E_{\text{CPH}}] \quad (5)$$

که در Tiny energy کمترین انرژی ممکن یک فوتون است که دارای تمام ویژگیهای الکترومغناطیسی فوتون باشد. انرژی سی. پی. اچ. (E_{CPH}) نیز در ادامه (رابطه ۱۰) تعریف می شود. حال در موقعیتی هستیم که برخی مفاهیم قابل اثبات را در مورد فوتون و گراویتون بیان کنیم.

۳ تعریف سی. پی. اچ.

سی. پی. اچ. چیست؟ سی. پی. اچ. مخفف:

Creative Particles of Higgs or CPH

(آفرینش ذرات از هیگز یا سی. پی. اچ.)

است و یک واحد هستی در طبیعت است که سازنده (سنگ بنای) سایر ذرات موجود در جهان می باشد. بنابراین سی. پی. اچ. به بنیادی ترین ذره ی موجود در طبیعت اشاره می کند. لازم به تذکر است که این تعبیر به معنای اینکه سی. پی. اچ. یک ذره است، نمی باشد. بلکه استفاده از کلمه ذره برای سی. پی. اچ. به این دلیل است که واژه ی دیگری برای آن یافت نشد.

سی. پی. اچ. یک ذره با NR جرم m_{CPH} است که همواره با مقدار سرعت ثابت $V_{\text{CPH}} > c$ نسبت به همه دستگاه های لخت حرکت می کند که در آن C سرعت نور است. با توجه به رابطه نسبیتی جرم -

اتحاد نیروها و نظریه سی. پی. اچ.

انرژی، جرم NR سی. پی. اچ. طبق رابطه (۶)، با استفاده از جرم NR فوتون، به صورت زیر تعریف می شود:

$$m_{\text{CPH}} < m = \frac{h\nu}{c^2} \quad \forall \nu, \quad V_{\text{CPH}} > c \quad (6)$$

رابطه جرم NR و انرژی سی. پی. اچ. نیز به صورت زیر ارائه می شود:

$$\langle E_{\text{CPH}} \rangle = \langle P_{\text{CPH}} \rangle V_{\text{CPH}} = \text{constant} \quad (7)$$

رابطه (۷) نشان می دهد، در هر کنش بین دو سی. پی. اچ. (یا بیشتر) و یا سایر ذرات، انرژی سی. پی. اچ. تغییر نمی کند، بنابراین مقدار V_{CPH} کاهش نمی یابد و با کاهش مقدار سرعت انتقالی، اسپین کسب می کند. به بیان دیگر در هر دستگاه لخت و مختصات کارتزین خواهیم داشت:

$$\begin{aligned} |V_{\text{CPH}}(x)| + |V_{\text{CPH}}(y)| + |V_{\text{CPH}}(z)| &= |V_{\text{CPH}}|, \text{ CPH has not spin} \\ |V_{\text{CPH}}(x)| + |V_{\text{CPH}}(y)| + |V_{\text{CPH}}(z)| &< |V_{\text{CPH}}|, \text{ CPH has spin} \end{aligned} \quad (8)$$

When CPH has spin, it calls graviton

به طور فشرده، گراویتون بدون اسپین، سی. پی. اچ. نامیده می شود.

اگر:

$$|V_{\text{CPH}}(x)| + |V_{\text{CPH}}(y)| + |V_{\text{CPH}}(z)| \geq c$$

باشد، در این حالت، سی. پی. اچ. نیروی گرانش را حمل می کند و مانند فرمیون رفتار می کند. بنابراین در چنین حالتی فقط بار-رنگها وجود دارند. اگر:

اتحاد نیروها و نظریه سی. پی. اچ.

$$|V_{CPH}(x)| + |V_{CPH}(y)| + |V_{CPH}(z)| \leq c$$

آثار مغناطیسی ظاهر می شود.

برای سایر ذرات، نظیر الکترون همواره:

$$|V_{CPH}(x)| + |V_{CPH}(y)| + |V_{CPH}(z)| < c$$

است که در چنین حالتی سایر بوزونها پدیدار می شوند. برای مثال به تولید و واپاشی زوج الکترون-پوزیترون توجه کنید که قبل از تولید زوج، تنها انرژی (فوتون) وجود دارد. اما پس از تولید زوج، یک الکترون (فرمیون) و یک پوزیترون (پاد فرمیون) و فوتون مجازی که بوزون است و نیروی الکتریکی بین آنها را حمل می کند، وجود دارد. بنابراین می توان نوشت:

$$|V_{CPH}(x)| + |V_{CPH}(y)| + |V_{CPH}(z)| < c \quad (9)$$

Spontaneous Symmetry Breaking has occurred.

در این حالت تمام تقارن ها خود بخود شکسته می شود

با توجه به اینکه هنگامیکه سی. پی. اچ. دارای اسپین است، گراویتون نامیده می شود، لذا فضا انباشته از سی. پی. اچ. است. هنگامیکه چگالی سی. پی. اچ. در فضا افزایش می یابد، فاصله آنها کاهش می یابد، آنگاه سی. پی. اچ. ها یکدیگر را احساس و با هم کنش می کنند.

۴ اصل سی. پی. اچ.

سی. پی. اچ. یک مقدار بسیار کوچک انرژی با جرم $m_{CPH} NR$ است که با مقدار سرعت ثابت $V_{CPH} > c$ نسبت به همه دستگاه های لخت حرکت می کند. بنابراین در هر کنشی بین سی. پی. اچ. و

اتحاد نیروها و نظریه سی. پی. اچ.

سایر ذرات موجود در محیط، لختی دورانی I سی. پی. اچ. ظاهر می شود که موجب اسپین دار شدن آن می گردد و مقدار سرعت سی. پی. اچ. ثابت باقی می ماند. به طوریکه خواهیم داشت:

$$\nabla V_{CPH} = 0, \text{ in all inertial reference frames and any space}$$

بر اساس اصل سی. پی. اچ.، نسبت به دستگاه لخت، هر سی. پی. اچ. دارای دو نوع انرژی است که از حرکت آن ناشی می شود. یکی انرژی انتقالی و دیگری انرژی اسپینی. در فیزیک مجموع انرژی پتانسیل و جنبشی پایانه را با استفاده از معادله هامیلتونی نشان می دهند. به همین ترتیب و با استفاده از هامیلتونی، انرژی کل هر سی. پی. اچ. را به صورت مجموع انرژی انتقالی و انرژی اسپینی آن نشان می دهیم که به صورت زیر ارائه می شود:

$$E_{CPH} = T + S = \text{constant} \quad (10)$$

که در آن T انرژی انتقالی و S انرژی اسپینی سی. پی. اچ. و مجموع آنها مقداری ثابت است. از طرف دیگر سی. پی. اچ. ها با ترکیب با یکدیگر تولید انرژی می کنند و انرژی نیز به ماده و پاد ماده تبدیل می شود، بنابراین همه چیز در جهان از سی. پی. اچ. ساخته می شود.

۵ سی. پی. اچ. و گروه دوری

همچنانکه در بخش سه توضیح داده شد، گراویتونها در کنش با یکدیگر به بار-رنگها و مغناطیس-رنگ تبدیل می شوند. همچنین هنگامیکه سی. پی. اچ. دارای اسپین است، گراویتون نامیده می شود. با توجه به این مطالب می توانیم، با استفاده از تعریف گروه دوری، گروه های دوری تولید شونده توسط گراویتون را تعریف کنیم:

اتحاد نیروها و نظریه سی. پی. اچ.

میدان الکتریکی یک گروه دوری $G\langle g \rangle$ است که توسط گراویتون تولید می شود و به صورت زیر ارائه می گردد:

$$G\langle g \rangle = \{nH^+, nH^- \mid n \in \mathbb{Z}\} \quad (11)$$

فرض کنیم 2κ بار-رنگ $(\kappa H^+, \kappa H^-)$ با یکدیگر ترکیب شده و در فضا در حرکت هستند. بنابراین دو میدان الکتریکی، یکی با علامت مثبت و دیگری با علامت منفی در فضا در حال انتشار است. در اطراف هر یک از این میدانها، یک میدان مغناطیسی ایجاد می شود که با در نظر گرفتن علامت میدانهای الکتریکی، جهت میدانهای مغناطیسی ایجاد شده نیز متفاوت است ولی عناصر یکسانی دارند. بنابراین می توان گروه دوری زیر را ارائه کرد:

$$G\langle g \rangle = \{kH^m \mid k \in \mathbb{Z}\} \quad (12)$$

در اینجا از مجموعه اعداد صحیح (نه طبیعی) استفاده کردیم تا عکس فرایند را نیز شامل شود، یعنی تبدیل بار-رنگ و مغناطیس به گراویتون را نیز در بر گیرد. زیرا هنگامیکه فوتون در حال فرار از میدان گرانشی است، انرژی آن نخست به بار-رنگ و مغناطیس رنگ و سرانجام به گراویتون تبدیل می شود.

۶ ذرات باردار از دیدگاه نظریه سی. پی. اچ.

همان طور که در بالا توضیح داد شد، گراویتون تولید کننده بار-رنگ و مغناطیس رنگ است، و فوتون از بار-رنگها و مغناطیس رنگها ساخته شده است. در حالت کلی انرژی E یک فوتون از رابطه زیر به دست می آید:

$$E = n(2\kappa + 2)m_{\text{CPH}}c^2 \quad (13)$$

اتحاد نیروها و نظریه سی. پی. اچ.

که در آن n یک عدد طبیعی، m_{CPH} جرم سی. پی. اچ. و K در رابطه (۵) تعریف می شود. در حالت کلی یک فوتون از دو قسمت تشکیل می شود:

۱- یک قسمت شامل تعدادی بار-رنگ منفی و مغناطیس -رنگ است. مغناطیس رنگ با ایجاد یک میدان مغناطیسی، بار -رنگ های منفی را در محدوده ای از فضا محصور می کند و مانع از خروج آنها می شود. این بار-رنگ های منفی یک میدان الکتریکی منفی تشکیل می دهند. اگر کمترین مقدار بارنگ های منفی و مغناطیس -رنگ را که میدان الکتریکی منفی و میدان مغناطیسی وابسته به آن را تشکیل می دهد با \langle نشان دهیم، خواهیم داشت:

$$\langle = (\kappa H^-, -H^m) \quad (14)$$

۲- قسمت دوم فوتون شامل بار -رنگ های مثبت و مغناطیس رنگ است. در مورد بار-رنگ های مثبت و مغناطیس -رنگ وابسته به آن نیز مانند حالت قبل، با انتخاب \triangleright خواهیم داشت:

$$\triangleright = (\kappa H^+, +H^m) \quad (15)$$

علامت مثبت و منفی در مغناطیس -رنگ ها، یعنی $(-H^m), (+H^m)$ مربوط به جهت جریان های مغناطیسی اطراف بار-رنگ ها است. در واقع تنها یک نوع مغناطیس -رنگ در ساختمان فوتون وجود دارد. بنابراین، در حالت کلی یک فوتون را می توان به صورت زیر نشان داد:

$$n|\langle\rangle + n|\triangleright\rangle = |E\rangle \quad (16)$$

از طرف دیگر، رابطه دیراک در مورد مجموع انرژی به صورت زیر داده می شود:

$$E^2 = \left(\alpha_0 mc^2 + \sum_{j=1}^3 \alpha_j cp_j \right)^2 \quad (17)$$

حال اگر مقدار انرژی را از رابطه (۱۶) در (۱۷) جایگزین کنیم، خواهیم داشت:

اتحاد نیروها و نظریه سی. پی. اچ.

$$E^2 = (n|\langle\rangle + n|\rangle\rangle)^2 \quad (18)$$

اگر از دو رابطه (۱۷) و (۱۸) جذر بگیریم، خواهیم داشت:

$$E = \pm \sqrt{\alpha_0 m_0 c^2 + \sum_{j=1}^3 \alpha_j c p_j} \quad (19)$$

$$E_- = - \sqrt{\alpha_0 m_0 c^2 + \sum_{j=1}^3 \alpha_j c p_j} = n \langle = n(\kappa H^-, -H^m) \quad (20)$$

$$E_+ = + \sqrt{\alpha_0 m_0 c^2 + \sum_{j=1}^3 \alpha_j c p_j} = n \triangleright = n(\kappa H^+, +H^m) \quad (21)$$

رابطه (۲۰) الکترون و رابطه (۲۱) پوزیترون را نمایش می دهد که در فرایند تولید زوج ایجاد می شوند. برای درک سازوکار این فرایند به واپاشی زوج توجه کنید. فرض کنیم یک الکترون و یک پوزیترون در فاصله d ، همدیگر را جذب می کنند و با یکدیگر ترکیب شده و دو فوتون ایجاد می شود. با توجه به روابط (۲۰) و (۲۱) می توان نوشت:

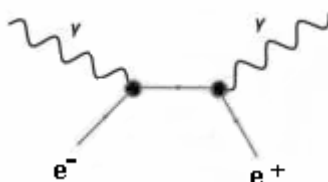
$$E_- = n \langle = n(\kappa H^-, -H^m)$$

$$E_+ = n \triangleright = n(\kappa H^+, +H^m)$$

اتحاد نیروها و نظریه سی. پی. اچ.

پس از ترکیب زوج الکترون و پوزیترون، هیچ اثر الکتريکی مشاهده نمی شود و فوتون های تولید شده از نظر الکتريکی خنثی هستند، بنابراین خواهیم داشت:

$$n \langle +n \rangle = \gamma + \gamma \quad (22)$$



شکل ۲: واپاشی زوج الکترون و پوزیترون به دو قسمت تقسیم و با هم ترکیب شده و دو فوتون تولید می شود

در این فرایند هر یک از ذرات (الکترون و پوزیترون) به دو قسمت تقسیم شده، هر قسمت از یک ذره با یک قسمت از ذره دیگر ترکیب می شود، در نتیجه دو فوتون تولید می شود (شکل ۲). معمولاً در فیزیک مدرن عادت شده که این فرایند را تنها به عنوان درستی رابطه $E=mc^2$ تعبیر کنند، در حالی که واقعیت این پدیده به این صورت است که الکترون و پوزیترون، تقسیم شده و دو باره با هم ترکیب می شوند. یعنی:

$$n \langle +n \rangle = \left(\frac{n}{2} \langle + \frac{n}{2} \rangle\right) + \left(\frac{n}{2} \langle + \frac{n}{2} \rangle\right) = \gamma + \gamma \quad (23)$$

فوتونهای تولید شده، از نظر الکتريکی خنثی هستند و حامل دو میدان الکتريکی و مغناطیسی می باشند. خنثی شدن دو ذره با بار الکتريکی متضاد و تبدیل آنها به دو فوتون، تنها در صورتی امکان پذیر است که این ذرات هنگام تبدیل به انرژی، تقسیم شوند و قسمت های تقسیم شده با یکدیگر ترکیب شوند. تاکنون هیچ فرایندی مشاهده نشده که در آن یک ذره ی باردار (مثلاً الکترون) به انرژی تبدیل شود، زیرا با قانون بقای بار مغایرت دارد. قانون بقای بار نه تنها در تولید و واپاشی زوج برقرار است، بلکه در ساختمان فوتون که تولید کننده ی دو بار متضاد است نیز برقرار می باشد.

یک نگاه کلی به مباحث مطرح شده در بالا نشان می دهد که انرژی الکترومغناطیسی (فوتون) در میدان گرانشی تغییر می کند. انرژی به ذره و پادذره تبدیل می شود، بنابراین می توان نتیجه گرفت که میدان گرانشی، یا به عبارت دیگر گراویتونها (که حالت خاصی از سی. پی. اچ. هستند) تولید کننده ی همه ی

اتحاد نیروها و نظریه سی. پی. اچ.

ذرات/اجسام موجود در جهان است. حال در موقعیتی هستیم که به بررسی و نحوه ی تولید بوزونها پردازیم. با این بررسی خواهیم دید که مشا تولید بوزونها فرمیونها هستند و مواد تشکیل دهنده ی بوزونها نیز سی. پی. اچ. ها می باشند.

۷ گرانش (گراویتون)

برای توضیح دادن نیروی گرانش، دوباره فرایند تاثیر میدان گرانشی بر روی فوتون را با توجه به قانون جهانی گرانش نیوتن بررسی می کنیم. فوتونی را در نظر بگیرید که در یک میدان گرانشی در حال سقوط است. فوتون از یک سطح انرژی پتانسیل به سطح انرژی پتانسیل دیگری می رود. در سطح اول شدت میدان گرانش، یا به عبارت صحیح تر، چگالی گراویتونها کمتر است و هرچه فوتون به جسم عامل میدان گرانشی نزدیکتر شود، چگالی گراویتون بیشتر می شود. با افزایش چگالی گراویتون، افزایش انرژی فوتون در فاصله های برابر، سریعتر انجام می شود.

باید توجه داشت که گراویتون یک گلوله ی صلب و بدون هیچگونه اثر نیست. گراویتون هم تاثیر گذار است و هم تاثیر پذیر می باشد. زیرا همانطور که موجب جذب اجسام به یکدیگر می باشد، خودش نیز دارای همین ویژگی جاذبه ای می باشد و با یکدیگر ترکیب می شوند و کوانتومهای انرژی را پدید می آورند. بنابراین هنگامیکه تعدادی گراویتون در اطراف فوتون قرار دارند و برخی از آنها وارد ساختمان فوتون می شوند، بقیه گراویتونها با فوتون (در واقع با بار -رنگها و مغناطیس -رنگها) در کنش هستند. میزان کنش یا جذب گراویتونها توسط فوتون تابع جرم فوتون و چگالی گراویتونهای موجود در محیط است. لذا اگر فوتون را مجرد در نظر بگیریم که خارج از میدان گرانشی باشد، شدت کنش فوتون با گراویتونها تابع جرم فوتون است. به عبارت دیگر در اطراف فوتون یک میدان گرانشی وجود دارد که با قانون گرانش عمومی نیوتن قابل توضیح است.

از آنجاییکه هر ذره یا جسمی در جهان از گراویتونها (به عبارت دقیقتر از سی. پی. اچ. ها) ساخته شده است، در اطراف آن نیز یک میدان گرانشی متشکل از گراویتونها وجود دارد که دقیقاً تابع جرم آن جسم

اتحاد نیروها و نظریه سی. پی. اچ.

است. این میدان گرانشی را می توان یک میدان پتانسیل انرژی در نظر گرفت که جهت آن به طرف مرکز جسم است. با استفاده از رابطه انرژی پتانسیل گرانشی می توان نوشت:

$$U = -\frac{Gm}{r} \quad (24)$$

که در آن U انرژی پتانسیل گرانشی، G ثابت جهانی قانون گرانش نیوتن، m جرم و r فاصله است. حال فرض کنیم تعداد k گراویتون در میدان گرانشی جرم m قرار دارد. این به آن معنی نیست که همه ی گراویتونها که تعداد آنها برابر k است با جرم m کنش دارند، بلکه این گراویتونها، لایه های مختلفی در اطراف جرم m تشکیل می دهند و گراویتونها هر لایه با گراویتونهای لایه قبلی و بعدی کنش دارند. اگر جسمی در میدان گرانشی جسم دیگری غوطه ور باشد، مانند سنگی که به طرف زمین سقوط می کند، آنگاه گراویتونهای میدان گرانشی بر تمام اجزای آن اعم ذرات تشکیل دهنده ی جسم و میدان گرانشی آن اثر می کند، بهمین دلیل انرژی جنبشی جسم افزایش می یابد.

وقتی که دو جسم به جرم m_1 , m_2 با انرژی پتانسیل $U_1 = -\frac{Gm_1}{r_1}$, $U_2 = -\frac{Gm_2}{r_2}$ یکدیگر را جذب کرده و تشکیل جسمی به جرم $m_1 + m_2$ می دهند، پتانسیل گرانشی آنها به صورت زیر در می آید:

$$U = -\frac{G(m_1 + m_2)}{r}$$

زیرا پتانسیل میدان گرانشی و همچنین شدت میدان گرانشی جسم جدید تابع تعداد گراویتونهای اطراف دو جسم است و آنها نیز تابع جرم جسم هستند. اینکه گرانش مستقل از خواص شیمیایی و شرایط فیزیکی اجسام و تنها تابع جرم آنها است، به این دلیل است که گراویتونهای هر میدان گرانشی، تابع تعداد سی. پی. اچ. های تشکیل دهنده ی اجسام است. آنچه را که ما به عنوان خواص فیزیکی و شیمیایی اجسام می شناسیم، یک ویژگی پیوستگی یا ترکیبی از سی. پی. اچ. ها است و اصولاً در ویژگی ذاتی سی. پی. اچ. ها تأثیری ندارد.

اتحاد نیروها و نظریه سی. پی. اچ.

همچنین باید توجه داشت که سرعت گراویتون از سرعت نور بیشتر است. زیرا بار - رنگها و مغناطیس = رنگهای موجود در ساختمان فوتون، همراه فوتون با سرعت نور حرکت می کنند، همچنین در اسپین فوتون نیز سهم هستند و علاوه بر آن خودشان نیز دارای اسپین هستند، پس مجموع مقدار این سرعتها بیشتر از سرعت نور خواهد شد.

اما چرا یک جسم در میدان گرانشی سقوط می کند؟ همچنانکه در بالا گفته شد، شدت میدان گرانشی در نقطه از میدان تابع تعداد گراویتونهای موجود در هر لایه از میدان گرانشی است. هرچه فاصله از مرکز جرم جسم بیشتر باشد، شدت میدان و در نتیجه چگالی گراویتونها کمتر می شود. حال سنگی را در نظر بگیرید که در ارتفاع h نسبت به سطح زمین قرار دارد. تعداد باز - رنگهایی که از بالای سنگ بر آن اثر می کنند و سنگ را به طرف خود می کشند، کمتر از تعداد بار - رنگهایی است که از پایین اثر می کنند و آن را بطرف خود می کشند. در یک فاصله کوچک dh سنگ سقوط می کند و تعداد k_1 گراویتون وارد ساختمان سنگ می شود. انرژی جنبشی سنگ به اندازه k_1 انرژی گراویتون افزایش می یابد. در موقعیت جدید ($h-dh$) باز هم همین فرایند تکرار می شود و تعداد k_2 گراویتون وارد سنگ می شود و انرژی آنرا افزایش می دهد و الا آخر تا سنگ به سطح زمین برسد. البته این عمل یکطرفه نیست، همچنانکه بار - رنگهای میدان گرانشی زمین روی سنگ اثر می کنند، بار - رنگهای میدان گرانشی سنگ نیز روی زمین اثر کرده و زمین را جا به جا می کنند.

هنگامیکه سنگ به سطح زمین می رسد و به حالت سکون در می آید، دو میدان گرانشی، ضمن آنکه با هم ترکیب می شوند و یک میدان گرانشی جدید ایجاد می کنند، در عین حال با یکدیگر نیز در کنش متقابلند. اتمهای سنگ و زمین که در مجاورت یکدیگر قرار دارند، به تبادل بار - رنگ می پردازند.

۸ میدان های الکترومغناطیسی

ذره ی باردار که طبق روابط (۲۰) و (۲۱) داده می شود، همراه با معادلات ماکسول با کمی تعدیل می تواند الکترودینامیک فراکوانتومی ذرات باردار و نحوه ی تولید میدان الکتریکی را توجیه کند. طبق قوانین الکترومغناطیس ماکسول، یک میدان مغناطیسی متغیر، یک میدان الکتریکی ایجاد می کند.

اتحاد نیروها و نظریه سی. پی. اچ.

همچنین یک میدان الکتریکی متغیر نیز یک میدان مغناطیسی تولید می کند. در مکانیک کلاسیک و مکانیک کوانتوم هیچ توضیحی در این مورد ارائه نمی شود که این میدان های الکتریکی و مغناطیسی چگونه تولید می شوند، مواد سازنده این میدانها چیست و سازوکار تبدیل نیرو به انرژی چگونه است. سال ها قبل از کشف الکترون، تجربیات اورستد، آمپر، فاراده و معادلات ماکسول وابستگی نیروهای الکتریکی و مغناطیسی را نشان داده بود. کشف ذرات باردار و توضیح میدان های الکتریکی، بیانگر این واقعیت است که یک ذره ی باردار، تولید کننده ی دائمی نیروی الکتریکی است. در حالی که هیچ سازوکاری برای نحوه ی تولید این نیروی الکتریکی ارائه نمی شود. الکترودینامیک کوانتومی و نمودارهای فاینمن، توضیح می دهند که ذره ی تبدالی بین دو ذره ی باردار، موجب جذب یا دفع آنها می شود، اما خود فرایند جاذبه یا دافعه و نحوه ی تولید ذره ی تبدالی که فوتون نامیده می شود، توضیح داده نمی شود. ذره ی بارداری (مثلا الکترون) را در نظر بگیرید که در اطراف خود یک میدان الکتریکی به وجود آورده و دائما در حال انتشار فوتون مجازی است. گستره ی انتشار این میدان الکتریکی تا بینهایت ادامه دارد. طبق قوانین شناخته شده، با انتشار فوتون مجازی حامل نیروی الکتریکی، در مقدار بار الکتریکی و جرم ذره ی باردار هیچگونه تغییری ایجاد نمی شود. بنابراین یک ماشین دائمی داریم که تولیدات آن را می دانیم، اما از سازوکار و مواد مصرفی آن هیچ گونه اطلاعی نداریم و در این مورد هیچ توضیحی داده نشده است. در اینجا سازوکار دینامیک جاذبه و دافعه ی بین الکترون و پوزیترون از دیدگاه نظریه سی. پی. اچ. مورد تجزیه و تحلیل قرار می گیرد، سازوکار سایر ذرات نظیر کوارک ها نیز به همین نحو است.

۸-۱ دینامیک ذرات باردار از دیدگاه سی. پی. اچ.

الکترون و پوزیترونی را در نظر بگیرید که طبق روابط (۲۰) و (۲۱) داده می شود (روابط زیر).

$$E_{-n} \triangleleft = n(\kappa H^-, -H^m)$$

$$E_{+n} \triangleright = n(\kappa H^+, +H^m)$$

اتحاد نیروها و نظریه سی. پی. اچ.

الکترون مجموعه‌ای از بار-رنگ‌های منفی است که توسط میدان مغناطیسی ناشی از مغناطیس-رنگ‌های اطرافش محافظت می‌شود. این کره‌ی چرخان(الکترون اسپین دار) در دریایی از گراویتون‌ها(بار-رنگ‌های مثبت و منفی) غوطه‌ور است و در اطراف آن یک میدان مغناطیسی وجود دارد. الکترون با دو ویژگی خاصی که دارد، روی بار-رنگ‌های موجود در اطراف خود اثر می‌کند. خود الکترون مجموعه‌ای از بار-رنگ‌های منفی است که بار-رنگ‌های مثبت را جذب می‌کنند، اما میدان مغناطیسی اطراف آن دافع بار-رنگ‌های مثبت است. تعدادی بار رنگ مثبت به طرف الکترون جذب می‌شوند و با دوران(اسپین) الکترون این تعداد بار-رنگ مثبت فشرده شده و بر اثر میدان مغناطیسی اطراف آن دفع می‌شود. در اینجا می‌توان عملگری تعریف کرد که فرایند تولید نیروی الکتریکی مثبت را توسط الکترون بیان کند. اگر این عملگر را با $\langle s = a \rangle$ نشان دهیم که روی الکترون اثر می‌کند و با گذشت زمان \triangleright ، یعنی نیروی الکتریکی مثبت تولید می‌کند، آنگاه می‌توان نوشت:

$$\frac{d}{dt} \langle s = a \rangle = a(\kappa H^+, +H^m) \quad (25)$$

که در آن a یک عدد طبیعی است. توجه شود که $\triangleright a$ مجموعه‌ای از بار-رنگ‌های مثبت است که یک میدان الکتریکی مثبت در اطراف الکترون ایجاد می‌کند. فرایند مشابهی اما با علامت منفی توسط پوزیترون انجام می‌شود. پس می‌توان نوشت:

$$\frac{d}{dt} \triangleright s = a \langle = a(\kappa H^-, -H^m) \quad (26)$$

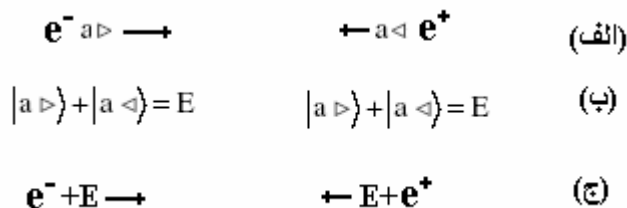
یعنی الکترون یک میدان الکتریکی مثبت در اطراف خود تولید و در فضا منتشر می‌کند و پوزیترون یک میدان الکتریکی منفی ایجاد می‌کند. میدان ایجاد شده در اطراف الکترون، بارهای منفی را می‌راند، زیرا هر ذره‌ی باردار منفی نیز فرایندی یکسان با الکترون را ایجاد می‌کند. لذا مشاهدات ما نشان می‌دهد که میدان موجود در اطراف الکترون، ذره‌ی باردار منفی را می‌راند. یعنی میدان ایجاد شده توسط ذره‌ی باردار به گونه‌ای است که ذرات تشکیل دهنده‌ی آن باید توسط میدان مغناطیسی آن دفع شوند. بنابراین در اطراف الکترون فوتون‌های مثبت، و در اطراف پوزیترون، فوتون‌های منفی تولید می‌شود.

اتحاد نیروها و نظریه سی. پی. اچ.

حال پوزیترونی را در نظر بگیرید که در میدان یک الکترون قرار دارد. فرض کنیم پوزیترون $a \leftarrow$ تولید کرده و در همان لحظه یک $a \triangleright$ به پوزیترون می رسد. در این صورت $a \leftarrow$ و $a \triangleright$ با هم ترکیب شده و یک کوانتوم انرژی الکترومغناطیسی تولید و جذب پوزیترون می شود. بنابراین می توان نوشت:

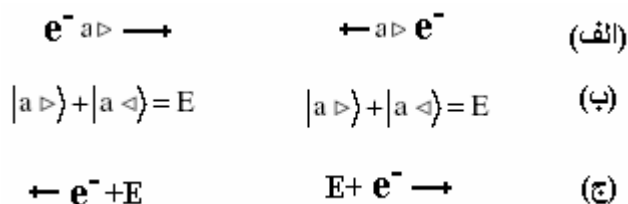
$$|a \triangleright\rangle + |a \leftarrow\rangle = E \quad (27)$$

جهت انرژی که جذب پوزیترون می شود، دقیقا به طرف الکترون است و پوزیترون به طرف الکترون به حرکت در می آید. فرایند مشابهی نیز برای الکترون روی می دهد. با توجه به رابطه (۲۷) می توان نمودار (۳) را رسم کرد.



شکل ۳: ذره ی باردار، بار -رنگ ها را متراکم کرده و نیروی الکترومغناطیسی تولید می کند

در شکل (۳ الف) ذرات باردار (الکترون و پوزیترون)، بار -رنگ ها را متراکم کرده و در فضا منتشر می کنند، در شکل (۳ ب) دو توده ی بار -رنگ مختلف علامه با هم ترکیب شده و جذب ذرات می شوند، در شکل (۳ ج) ذرات باردار با انرژی کسب شده به طرف یکدیگر شتاب می گیرند. فرایند معکوسی برای دو ذره ی باردار همانام روی می دهد (شکل ۴).



شکل ۴: دو ذره ی غیر همانام یکدیگر را می رانند.

اتحاد نیروها و نظریه سی. پی. اچ.

در شکل (۴ الف) دو الکترون نیروی الکتریکی تولید کرده و در فضا منتشر می کنند. وقتی بار -رنگ های تولید شده از هر ذره، به ذره ی دیگر می رسد، بار -رنگ های مثبت با بار -رنگ های منفی ترکیب شده و انرژی تولید می کنند (شکل ۴ ب). در شکل (۴ ج) دو ذره با کسب انرژی به طرف مخالف ذره ی دیگر شتاب می گیرد.

این که بگویم حامل نیروی الکترومغناطیسی فوتون است، از واقعیت پدیده ی کنش ذرات باردار به دور است. اما اگر برای کنش الکترومغناطیسی دو فوتون مثبت و منفی در نظر بگیریم که هر یک پادذره ی دیگری است، آنگاه به خوبی می توان فرایند کنش الکترومغناطیسی را به طور شهودی نیز توجیه کرد. بنابراین فرض کنیم:

$$\frac{d}{dt} \triangleleft s = \gamma^+ \quad (28)$$

$$\frac{d}{dt} \triangleright s = \gamma^- \quad (29)$$

آنگاه خواهیم داشت:

$$\gamma^+ + \gamma^- = \gamma \quad (30)$$

در این صورت به خوبی می توان توجیه کرد که چرا فوتون های حامل نیروی الکترومغناطیسی قابل مشاهده نیستند.

۹ برهم کنش قوی

برهمکنش قوی در هسته اتم وجود دارد و برد آن کوتاه و کمتر از شعاع اتم است. حامل نیروی برهمکنش قوی، گلوئون نامیده می شود که ذره ای با اسپین یک است (اسپین فوتون نیز یک است). برهمکنش قوی عامل یکپارچگی تعداد زیادی ذره ی باردار مثبت در هسته ی اتم است. بنابراین از نیروی دافعه الکتریکی بین ذرات باردار مثبت موجود در هسته قوی تر است. به عنوان مثال پروتون از سه کوارک، دو کوارک بالا (u) با بار الکتریکی $+2/3$ و یک کوارک پایین (d) با بار الکتریکی $-1/3$ تشکیل شده است، یعنی $p(udu)$. اینکه یک کوارک پایین جذب کوارک بالا شود، با نظریه الکترومغناطیس

اتحاد نیروها و نظریه سی. پی. اچ.

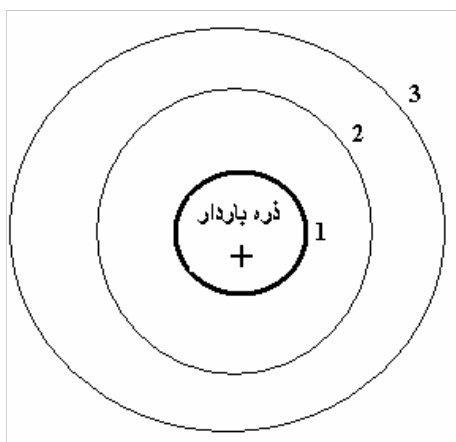
قابل توجیه است، زیرا دارای بار الکتریکی متضاد هستند. اما اینکه چگونه دو کوارک با بار الکتریکی همنام در کنار هم قرار می گیرند، مسئله ی دیگری است که هنوز توجیه نظری و شهودی که با تجارب سازگار باشد، وجود ندارد. تنها توضیحی که در فیزیک مدرن در این مورد ارائه می دهند، این است که بوزون (گلوئون) با اسپین یک، حامل نیروی بین کوارکها است. اما در نظریه سی. پی. اچ. دلیل و سازوکار برهمکنش قوی بسادگی قابل توضیح است.

در حالت کلی فرض کنیم دو ذره ی باردار الکتریکی A^+, B^+ ، با بار مثبت در فاصله ای بزرگتر از شعاع پروتون قرار دارند. همچنانکه که در بخش قبل بیان شد، هر ذره ی باردار مثبت، بار-رنگهای مثبت را می راند و بار-رنگهای منفی را جذب می کند. میدان مغناطیسی اطراف آن نیز این بار-رنگهای منفی را متراکم کرده و به صورت فوتون منفی در فضا منتقل می کند (روابط ۲۸ و ۲۹). هنگامیکه فاصله ی بین این دو ذره زیاد باشد (بیشتر از شعاع هسته اتم باشد)، قبل از آنکه فوتون منفی γ^- منتشر شده از ذره ی دوم به ذره ی اول برسد، بار-رنگهای مثبت دفع شده توسط ذره ی اول، محیط را ترک کرده اند. در حالیکه در فاصله های کوتاه، بار-رنگهای مثبت دفع شده توسط یک ذره، با بار-رنگهای منفی اطراف ذره ی دیگر، با هم ترکیب شده و انرژی الکترومغناطیسی تولید می کنند.

برای توضیح بیشتر، به رابطه $\frac{d}{dt} s = a \leq a (\kappa H^-, -H^m)$ توجه کنید. فرض کنیم ذره ی A^+ در هر مدت زمان dt یک فوتون منفی γ^- تولید می کند، در همین مدت نیز تعدادی بار-رنگ مثبت دفع می کند که می توانند یک فوتون مثبت γ^+ را تولید کنند. اگر فاصله این ذره A^+, B^+ را d در نظر بگیریم، با در نظر گرفتن سرعت γ^- که برابر c سرعت نور است، چنانچه $d > cdt$ باشد، بار-رنگهای مثبت دفع شده توسط هر ذره، روی بار-رنگهای منفی اطراف ذره ی دوم بی اثر است، اما اگر $d < cdt$ باشد، مکانیزم جاذبه و دافعه ی بار-رنگها توسط هر ذره، با مکانیزم جاذبه و دافعه ی بار-رنگهای ذره ی دوم تداخل کرده و بار-رنگهای مثبت و منفی تبدیل به انرژی الکترومغناطیسی شده و دو ذره یکدیگر را جذب می کنند. بنابراین چون $d < cdt$ است، نیروی پیوندی بین دو ذره، از نیروی الکتریکی دافعه ی بین آنها قویتر است. اما اگر $d = cdt$ باشد، آنگاه دو ذره از نظر بار الکتریکی (نسبت به یکدیگر) خنثی به نظر می رسند.

اتحاد نیروها و نظریه سی. پی. اچ.

این فرایند را به صورت زیر نیز می توان توضیح داد. ذره ی باردار مثبت را در نظر بگیرید که در یک میدان گرانشی غوطه ور است. در واقع تمام ذرات باردار در میدان گرانشی غوطه ورنند. میدان گرانش از تعداد نامتناهی گراویتون تشکیل شده که با سرعتی بالاتر (یا حداقل برابر) سرعت نور c در حرکتند.



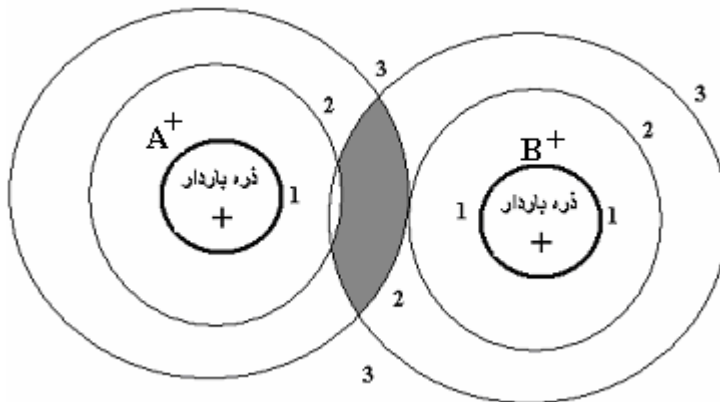
شکل ۵: فضای اطراف ذره ی باردار

گراویتونها در مجاورت ذره ی باردار یا میدان مغناطیسی آن، خواص بار-رنگی بروز می دهند. ذره ی باردار مثبت، بار-رنگهای منفی را جذب و بار-رنگهای مثبت را دفع می کند. بنابراین در یک ناحیه ای در اطراف ذره ی باردار مثبت، یک میدان بار-رنگی ایجاد می شود و از فاصله ای خاص، بار رنگهای مثبت نمی توانند به ذره ی باردار نزدیکتر شوند (شکل ۵).

در شکل (۵)، ناحیه ۳ میدان گرانشی متشکل از گراویتونها است. گراویتونها با سرعت $v \geq c$ در حرکتند. در ناحیه ۲ تحت تاثیر بار-رنگهای مثبت موجود در ذره ی باردار (یا بر اثر میدان مغناطیسی اطراف ذره ی باردار)، خواص بار-رنگی پیدا می کنند. (هرچند که گراویتونها در هر میدان گرانشی می توانند به بار-رنگ تبدیل شوند، اما در مجاورت ذرات باردار یا میدانهای الکترومغناطیسی با شدت بیشتری به بار-رنگ تبدیل می شوند). بار-رنگهای مثبت نمی توانند وارد ناحیه ۱ شوند و دفع می شوند، اما بار-رنگهای منفی

اتحاد نیروها و نظریه سی. پی. اچ.

وارد ناحیه یک می شوند و تحت تاثیر میدان مغناطیسی متراکم شده و به صورت فوتون منفی γ^- منتشر شده و میدان الکتریکی ایجاد می کنند.



شکل ۶: تداخل ناحیه بار-رنگی دو ذره ی باردار مثبت

حال دو ذره ی بار دار مثبت را در نظر بگیرید که ناحیه ۲ هر دو ذره تداخل داشته باشند(شکل ۶)، یعنی فاصله ی دو ذره به قدری کاهش یابد که این دو ناحیه یکدیگر را قطع کنند. قسمت تیره شکل(۶) ناحیه تداخلی دو ناحیه بار-رنگی ذرات باردار مثبت را نشان می دهد. در این محدوده بار-رنگهای مثبت و منفی قبل از آنکه فرار کنند یا در دام میدان مغناطیسی گرفتار شوند، با هم ترکیب شده و به انرژی الکترومغناطیسی تبدیل می شوند. این انرژی، انرژی پیوندی دو ذره را تامین می کند. و هر دو ذره را به طرف یکدیگر می کشد.

کاری که در مرکز ستارگان انجام می شود و تحت عنوان «جوش هسته ای» شناخته می شود، تکرار همین فرایند است. هسته آنها به دلیل سرعت(انرژی) زیادی که دارند، به اندازه ی کافی بهم نزدیک می شوند و پروتونها(در واقع کوارکها) در ناحیه بار-رنگی یکدیگر قرار می گیرند و انرژی پیوندی لازم را تامین می کنند و هسته ها جوش می خورند.

در یک هسته ی سنگین که تعداد زیادی پروتون(کوارک) وجود دارد، چندین کوارک می توانند دارای ناحیه بار-رنگی مشترک شوند و یکدیگر را جذب کنند. تولید کوانتوم انرژی در فضای کوچک پروتون،

اتحاد نیروها و نظریه سی. پی. اچ.

بر اثر برخورد با کوارکها می تواند به فروپاشی کوانتوم انرژی بیانجامد و به جای آن دو گلوئون با اسپین یک تولید شود. گلوئونها دارای جرم در حال حرکتند و قسمتی از اندازه حرکت پروتون را تامین می کنند. در شکل (۶)، در ناحیه ۲ ذره ی A یک مجموعه بار-رنگ مثبت و منفی تولید می کند که جهت حرکت بار-رنگهای مثبت به طرف خارج میدان A و جهت حرکت بار-رنگهای منفی به طرف داخل آن است. یعنی:

$$\{(H^+, H^-) | H^+, H^- \in \text{field A}\}$$

به همین ترتیب در ناحیه ۲ ذره B نیز یک مجموعه بار-رنگ تولید می شود که جهت حرکت آنها خلاف جهت حرکت بار-رنگهای تولید شده توسط ذره ی A است. یعنی:

$$\{(H^+, H^-) | H^+, H^- \in \text{field B}\}$$

بنابراین تعدادی بار-رنگ مثبت و منفی به طرف A (همهت) و تعدادی بار-رنگ مثبت و منفی به طرف B به حرکت در می آیند و به دلیل وجود گراویتون در این ناحیه ها، مغناطیس-رنگهای وابسته به آنها نیز تولید می شود و خواهیم داشت:

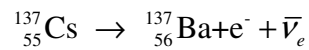
$$b|\langle\rangle + b|\rangle = |E\rangle$$

کوانتومهای انرژی تولید شده، انرژی پیوندی لازم را تولید می کنند. برای جداسازی ذرات A^+ , B^+ باید، مقداری انرژی به آنها داده شود. توجه شود که اگر فاصله ذرات که در کنش قوی شرکت می کنند، افزایش یابد، ناحیه تداخلی آنها از یکدیگر دور می شود و نمی توانند انرژی پیوندی لازم را تولید کنند.

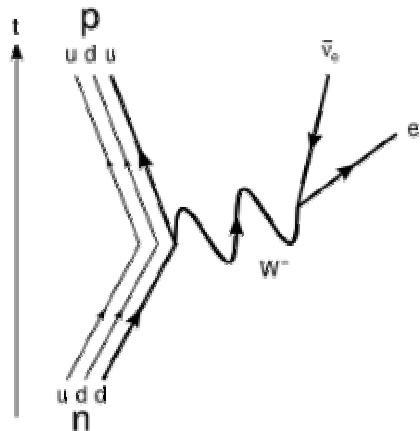
اتحاد نیروها و نظریه سی. پی. اچ.

۱۰ کنش ضعیف

کنش ضعیف عامل واپاشی عناصر رادیوآکتیو است. حامل نیروی کنش ضعیف بوزونهای برداری هستند که دارای جرم می باشند. این بوزونها شامل W^+ , W^- و Z^0 است. در یک در واپاشی بتا مانند:



عامل واپاشی بوزون برداری می دانند و در فیزیک مدرن هیچگونه توضیحی در مورد منشا تولید آن بیان نمی شود. این بوزون نیز نوترون را به پروتون تبدیل می کند، بنابراین باید در محدوده کوآرکها وارد عمل شود، زیرا نوترون و پروتون از کوآرک تشکیل شده اند (شکل ۷).

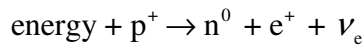


شکل ۷: واپاشی بتا

در شکل ۷ یک نوترون متشکل از دو کوآرک پایین هر یک با بار الکتریکی $-\frac{1e}{3}$ و یک کوآرک بالا با بار الکتریکی $+\frac{2e}{3}$ (خنثی) به پروتون مرکب از دو کوآرک بالا و یک کوآرک پایین (با بار الکتریکی

اتحاد نیروها و نظریه سی. پی. اچ.

(+e) تبدیل می شود. عامل این واپاشی بوزن W^- است. نکات جالبی در این فروپاشی مشاهده می شود. در واقع قبل از فروپاشی سه ذره که بار الکتریکی آنها کسری است وجود دارد، اما بعد از فروپاشی یک الکترون با بار الکتریکی صحیح $-e$ مشاهده می شود. اگر فرض کنیم یک الکترون از $E_- = n \triangleleft$ تشکیل شده است، بنابراین کوارک پایین با بار الکتریکی $-\frac{1e}{3}$ از $\frac{n \triangleleft}{3}$ تشکیل می شود و کوارک بالا با بار الکتریکی $+\frac{2e}{3}$ از $\frac{2n \triangleright}{3}$ تشکیل می شود. توجه شود که جرم کوارکها تنها ناشی از بار-رنگهای آن نیست، بلکه شامل جرم خنثی، یعنی مجموعه ای از بار-رنگهای منفی و مثبت نیز می باشد. به عنوان مثال در واپاشی β^+ یک پروتون با بار الکتریکی $+e$ که معادل است با $n \triangleright$ به یک نوترون خنثی و پوزیترون تبدیل می شود، رابطه زیر را در نظر بگیرید:



اما n^0 از دو کوارک پایین ($-\frac{1e}{3}$ یا $\frac{n \triangleleft}{3}$) و یک کوارک بالا ($+\frac{2e}{3}$ یا $\frac{2n \triangleright}{3}$) تشکیل شده است، در حالیکه پروتون از دو کوارک بالا ($+\frac{2e}{3}$ یا $\frac{2n \triangleright}{3}$) تشکیل شده است. بنابراین نقش انرژی در فرمول بالا جداسازی بار-رنگها و شکل بندی مجدد آنها است. در طرف راست فرمول بالا یک پوزیترون ($n \triangleright, +e$) وجود دارد. بنابراین بار الکتریکی کسری به بار الکتریکی صحیح تبدیل شده است.

در کنش ضعیف که سه بوزون W^+, W^-, Z^0 وارد عمل می شوند، هرگاه W^- منتشر شود، بار الکتریکی افزایش می یابد (فروپاشی بتا)، هرگاه W^+ منتشر شود، بار الکتریکی کاهش می یابد (فروپاشی بتای منفی) و چنانچه Z^0 منتشر شود بار الکتریکی تغییر نمی کند. از نقطه نظر سی. پی. اچ.، W^+, W^-, Z^0 معادل بار-رنگها و Z^0 معادل مجموع بار-رنگهای مثبت و منفی یعنی انرژی است، یعنی:

اتحاد نیروها و نظریه سی. پی. اچ.

$$W^+ \sim n \triangleright$$

$$W^- \sim n \triangleleft$$

$$Z^0 \sim (k \triangleright + k \triangleleft)$$

جمع بندی:

در فیزیک مدرن ابهامات بسیاری وجود دارد که نظریه های موجود در فیزیک مدرن نمی توانند آنها را توضیح دهند، در حالیکه نگرش نظریه سی. پی. اچ. با در نظر گرفتن بار - رنگها و مغناطیس رنگها بخوبی قادر به توضیح آنها می باشد. یکبار دیگر شکست تقارن را که در بخش ۳ بیان شد مرور می کنیم:

$$|V_{CPH}(x)| + |V_{CPH}(y)| + |V_{CPH}(z)| = |V_{CPH}| > c, \text{ CPH has not spin}$$

رابطه بالا یک سی. پی. اچ. منزوی را مجسم می کند که بهیچ وجه قابل مشاهده است و امکان آشکارسازی مستقیم یا غیر مستقیم آن وجود ندارد. زیرا هر نوع مشاهده یا آشکاری آن الزاما بکار بردن ابزار یا امواج الکترومغناطیسی است که خود آنها نیز از سی. پی. اچ. ساخته شده اند و سی. پی. اچ. منزوی را از انزوا خارج می کنند.

$$|V_{CPH}(x)| + |V_{CPH}(y)| + |V_{CPH}(z)| < |V_{CPH}|, \text{ CPH has spin} \quad (8)$$

When CPH has spin, it calls graviton

به طور فشرده، گراویتون بدون اسپین، سی. پی. اچ. نامیده می شود.

هر میدان گرانشی (حتی فضای بین کهکشانی که تصور می شود خلا است) انباشته از گراویتونها است و گراویتونها اجزای تشکیل دهنده ی انرژی هستند و انرژی تولید کننده ی ماده و پادماده می باشد.

اتحاد نیروها و نظریه سی. پی. اچ.

اگر:

$$|V_{\text{CPH}}(x)| + |V_{\text{CPH}}(y)| + |V_{\text{CPH}}(z)| \geq c$$

باشد، در این حالت، سی. پی. اچ. نیروی گرانش را حمل می کند و مانند فرمیون رفتار می کند. در چنین حالتی گراویتونها به صورت بار-رنگ یا مغناطیس-رنگ ظاهر می شوند. اگر:

$$|V_{\text{CPH}}(x)| + |V_{\text{CPH}}(y)| + |V_{\text{CPH}}(z)| \leq c$$

در این حالت آثار مغناطیسی ظاهر می شود. و در حالت تساوی به صورت امواج الکترومغناطیسی ظاهر می شوند که این امواج نیز حامل میدان مغناطیسی هستند. در حالت کوچکتر از c (مثلا الکترون) باز هم امکان وجود میدان مغناطیسی وجود دارد.

$$|V_{\text{CPH}}(x)| + |V_{\text{CPH}}(y)| + |V_{\text{CPH}}(z)| < c$$

است که در چنین حالتی سایر بوزونها و فرمیونها پدیدار می شوند. برای مثال به تولید و واپاشی زوج الکترون-پوزیترون توجه کنید که قبل از تولید زوج، تنها انرژی (فوتون) وجود دارد. اما پس از تولید زوج، یک الکترون (فرمیون) و یک پوزیترون (پاد فرمیون) و فوتون مجازی که بوزون است و نیروی الکتریکی بین آنها را حمل می کند، وجود دارد. همچنین بوزونهای برداری که دارای جرم هستند نیز در حالت پدیدار می شوند. بنابراین می توان نوشت:

$$|V_{\text{CPH}}(x)| + |V_{\text{CPH}}(y)| + |V_{\text{CPH}}(z)| < c \quad (9)$$

Spontaneous Symmetry Breaking has occurred.

اتحاد نیروها و نظریه سی. پی. اچ.

در این حالت تمام تقارن ها خود بخود شکسته می شود

شکست تقارن زمانی روی می دهد که با کاهش سرعت مواجه شویم و مفهوم انرژی بالا معادل است با افزایش سرعت که در آنجا دوبار تقارن برقرار می شود.

سایت:

<http://cph-theory.persiangig.com>

ایمیل:

Javadi_hossein@hotmail.com