توسط

رسالهٔ ارائه شده به عنوان بخشی از ملزومات برای دریافت درجهٔ

زیر نظر

دانشکدهٔ
دانشگاه

سرم را نه ظلم می تواند خم کند،نه مرگ،نه ترس،سرم فقط برای بوسیدن دستهایتان خم می شود.

تقدیم به پدرم که سایه پر از سخاوت و با ارزش وجودش مامنی است برای روزهای سخت و قوت قلبی است برای لحظه لحظه های زندگیم.

و تقدیم به صبر عظیم و بردباری مادرم که دل زلال و پاکش آینه امید و مهربانی است و خورشید وجودش روشنایی بخش روزها و شب هایم.

قدردانی

خدای را در وسعتی بی واژه سپاسگزارم و شادمان از این که در پرتو مهرش این پایان نامه مختصر به انجام آمد،سپاس سرشار از حق شناسی من،نثار استاد راهنما بزرگوار و اندیشمند جناب آقای دکتر کاویانی که در این راه همچون چراغی راهنمایم بودند.

چکیده

تقارن ها در فیزیک نقش مهمی دارند برخی از نظریه ها در فیزیک پایستگی بعضی از تقارن ها را حفظ نمی کند. از جمله تقارن هایی که در فیزیک ذرات بنیادی نقش مهمی دارد تقارن پاریته،همیوغی بار و برگشت زمان است. مدل استاندارد یکی از مدل های موفق در فیزیک ذرات بنیادی است که گروه تقارنی آن $SU_c()$۳ × SU_L(۲) × U_Y(۱) می باشد. یکی از ویژگی های مهم این مدل پیمانه ای بودن این نظریه است. در مدل استاندارد برای جرم دار کردن بوزون های پیمانه ای از مکانیزم هیگز و ایده شکست خود به خود تقارن استفاده می شود. این مدل یک مدل کایرال است،درنتیجه قسمت الکترو ضعیف این مدل پایستگی تقارن پاریته را نقض می کند. همچنین این بخش می تواند پایستگی تقارن همیوغی بار و تقارن ترکیبی پاریته-همیوغی بار را نقض کند،از روی شواهد آزمایشگاهی نقض این تقارن ها مشاهده شده است. در بخش اندرکنش های قوی هسته ای این مدل نیز،این تقارن ها به مقدار خیلی جزئی نقض می شود.در بخش جریان های باردار ما نقض این تقارن ترکیبی را خواهیم داشت که به خاطر فاز موجود در ماتریس CKM است که معرفی خواهد شد

واژه‌های کلیدی: *اندرکنش های ضعیف هسته ای،اندرکنش های قوی هسته ای،نیرو های الکترو مغناطیسی،نقض CP*

فهرست مطالب

۱ مدل استاندارد **۱**

۱.۱ مدل استاندارد و فر مالیسم لاگرانژی آن ۱

۲.۱ بر هم کنش های مدل استاندارد ۳

۳.۱ انواع بر هم کنش های ضعیف ۴

۴.۱ معرفی ماتریس های دیراک و هلیسیته و خواص آن ها و کایرال بودن مدل استاندارد ۸

۵.۱ تقارن آبلی ۱۳

۶.۱ تقارن های غیر آبلی ۱۷

۷.۱ نظریه گلاشو-واینبرگ سلام ۲۲

۸.۱ فرمیون ها و تبدیلات پیمانه ای ۲۵

۹.۱ شکست خود به خود تقارن ۳۰

۱۰.۱ تقارن آبلی سراسری ۳۱

۱۱.۱ مکانیزم هیگز ۳۵

۱۲.۱ شکستن تقارن پیمانه ای در مدل استاندارد ۳۹

۱۳.۱ لاگرانژی مدل استاندارد ۴۵

۲ معرفی تقارن های گسسته **۴۹**

۱.۲ تقارن های گسسته ۴۹

۲.۲ پاریته ۵۰
۳.۲ عملگر برگشت زمان ۶۳
۴.۲ عملگر مزدوج بار ۷۰
۵.۲ ناوردایی لاگرانژی الکترو مغناطیسی ۸۰
۶.۲ ناوردایی لاگرانژی مدل الکترو ضعیف ۸۲
۷.۲ بررسی ناوردایی لاگرانژی QCD تحت تبدیلات گسستهCP . . ۹۱
۸.۲ اثبات ناوردایی لاگرانژی هیگز ۹۷

۳ شواهد آزمایشگاهی برای نقض CP ۱۰۰
۱.۳ خواص پایون ها ۱۰۰
۲.۳ نقض پاریته و همیوغی باردر اندر کنش های ضعیف وتقارن های برهم کنش های ضعیف ۱۰۳
۳.۳ واپاشی نیمه لپتونی و ایده تقارن لپتون و کوارک و اختلاط کوارک ها۱۰۷
۴.۳ مکانیزم GIM ۱۱۱
۵.۳ نقض پایستگی CP و ترکیب $K^\circ - \overline{K}^\circ$ ۱۱۴
۶.۳ تولید دوباره K_s° ۱۲۰
۷.۳ نقض CP در واپاشی مزون هان B ۱۲۳
۸.۳ وجود نقض CP در صورت غیر صفر بودن ممان دو قطبی الکتریکی نوترون ۱۲۵
۹.۳ کیهان شناسی و نقض CP ۱۲۸
۱۰.۳ منشا باریون ها ونقض CP ۱۲۹
۱۱.۳ آیا معمای نقض CP حل می شود؟ ۱۳۲

۴ راه کارهایی برای حل مسئله نقض CP در مدل استاندارد ۱۳۴
۱.۴ اختلاط طعم لپتونی و کوارکی ۱۳۴
۲.۴ بسط کوارکی ۱۴۰

۳.۴ جریان های باردار و خنثی ۱۴۵
۴.۴ تغییردر بخش جریان باردار لاگرانژی به علت اختلاط کوارک ها ۱۴۸

فصل ۱

مدل استاندارد

۱.۱ مدل استاندارد و فر مالیسم لاگرانژی آن

مدل استاندارد نظریه ای پیمانه ای با گروه تقارن $SU_C(۳) \times SU(۲)_L \times U_Y(۱)$ است. و قادر است برهم کنش های قوی [۱] -ضعیف [۲] و الکترو مغنا طیسی [۳] را توصیف کند. برهم کنش های مدل استاندارد بین لپتون ها و کوارک ها است. در این مدل سه لپتون باردار به نام الکترون،موئون و تائون و سه لپتون بدون بار که عبارت اند از نوترینوی وابسته به هر یک از این ذرات ،وجود دارد.علاوه بر لپتون ها اندرکنش کوارک ها نیز در این مدل تو صیف می شود.در مدل استاندارد نیروهای الکترو مغنا طیسی،قوی هسته ای و ضعیف هسته ای توسط مبادله ذرات واسطه اسپین یک که به بوزون های پیمانه ای معروف اند منتقل می شود.این نیروها بین اجزای سازنده اصلی مواد که آن ها را کوارک ها و لپتون ها با اسپین $\frac{۱}{۲}$ می نامند وجود دارد.در مدل استاندارد فرض می کنیم همه ذرات مادی دارای اسپین $\frac{۱}{۲}$ هستند. و ذرات نیرو که به بوزون های پیمانه ای معروف هستند اسپین یک دارند. به این علت که لاگرانژی دیراک توصیف گر ذرات با اسپین $\frac{۱}{۲}$ است

[۱] Strong
[۲] Weak
[۳] Electromagnet

لاگرانژی آزاد برای این ذرات همان لاگرانژی دیراک است.

$$L = \overline{\psi}(i\gamma^{\mu}\partial_{\mu} - m)\psi \qquad (۱.۱)$$

بوزون های پیمانه ای مدل استاندارد عبارتند از:

۱. فوتون γ که بین ذرات با بار الکتریکی مبادله می شود و مسئول بر هم کنش های الکترو مغناطیسی است.

۲. هشت گلوئون که بین کوارک ها مبادله می شوند و مسئول نیروی قوی هستند.

۳. بوزون های پیمانه ای W^{+} و W^{-} که دارای بار الکتریکی مثبت و منفی می باشند و Z° که از لحاظ بار الکتریکی خنثی است.

یک بر هم کنش ضعیف با جریان باردار [۴] توسط تبادل بوزون های باردار $W^{\pm}$ برقرار می شود. یک مثال از این جریان در اندرکنش

$$n \to p + e^{-} + \nu_e \qquad (۲.۱)$$

دیده می شود. یک برهم کنش ضعیف با جریان خنثی [۵] توسط تبادل بوزون خنثی Z° برقرار می شود مانند

$$v_{\mu} + p \to v_{\mu} + p \qquad (۳.۱)$$

که مثالی از این نوع جریان است.

---

[۴] Charged Current
[۵] Neutral Current

۲.۱ بر هم کنش های مدل استاندارد

۱. نیروهای الکترو مغناطیسی
این نیرو ها تقریبا عهده دار تمامی وقایع فیزیکی اطراف ماست. مانند برهم کنش هایی که الکترون را به هسته مقید می کند. الکترون ها با مبادله فوتون می توانند با هسته اندرکنش الکترومغناطیسی داشته باشند. در نتیجه فوتون ها حامل نیروی الکترومغناطیسی می باشند و دارای جرم در حال سکون صفر هستند و بردشان بی نهایت است. تئوری ای که این برهم کنش را توصیف می کند QED [۶] است.
۲. نیروی قوی هسته ای نیرویی است که در اثر تبادل گلوئون هایی که بین کوارک های درون پروتون ها و نوترون ها وجود دارد صورت می گیرد. گلوئون ها بوزون های پیمانه ای بدون جرم و بار هستند. نظریه نیروی قوی هسته ای را QCD [۷] می نامند. تعداد گلوئون ها هشت عدد است و برای هر کوارک سه رنگ وجود دارد. عدد کوانتومی رنگ مانند عدد بار الکتریکی پایسته است. در واقع رنگ در نیروهای قوی هسته ای نقش بار الکتریکی را در QED بازی می کند. در بر هم کنش قوی $q(quark) \rightarrow q(quark) + g(gloun)$ گلوئون ها [۸] اختلاف رنگ دو کوارک را حمل می کند و به این دلیل که گلوئون ها خودشان رنگ دارند می توانند مستقیما با گلوئون دیگر جفت شود (بر خلاف فوتون های خنثی که نمی توانند با هم جفت شوند)
۳. نیرو های ضعیف هسته ای همانند برهم کنش های قوی و الکترو مغناطیسی نیز توسط بوزون هایی با اسپین یک انتقال می یابد که مسئول انتقال نیرو بین لپتون ها و یا کوارک ها هستند. و همان طور که ذکر شد در مقایسه با بوزون های پیمانه ای دیگر سنگین هستند در نتیجه برد آن ها کوتاه است. برای نیروی ضعیف هسته ای سه بوزون پیمانه ای برداری $W^{\pm}$ و Z° وجود دارد. نیروهای ضعیف برای واپاشی هسته ای بتا(همچنین واپاشی پایون،میون و ذرات شگفت)

[۶] Quantom Electrodynamics
[۷] Quantom Chromodynamics
[۸] Gloun

معرفی شدند. به کمیت بقادار در اندرکنش ضعیف بار ضعیف می گویند به طوری که همه لپتون های چپ دست و کوارک ها آن را حمل می کند. پس لپتون های چپ دست و کوارک ها در اندر کنش ضعیف هسته ای شر کت می کنند

.

۳.۱ انواع بر هم کنش های ضعیف

۱. واکنش های کاملا لپتونی که فقط شامل لپتون ها هستند از قبیل واپاشی :

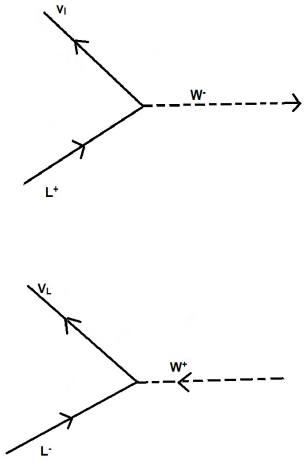
$$\mu^- + \nu_e \to e^- + \nu_\mu$$

۲. واکنش های شبه لپتونی که شامل لپتون ها و هادرون ها است از قبیل واپاشی بتا: $n + \nu_e \to p + e^-$

۳. واکنش ضعیف هادرونی که فقط شامل هادرون ها است از قبیل واپاشی کائون به پایون: $K^\circ \to \pi^+ + \pi^-$

برهم کنش های ضعیف لپتونی

الف. راس های باردار عبارتند از

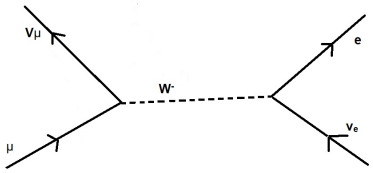


یعنی یک لپتون منفی با گسیل W^- و یا جذب W^+ به نوترینوی متناظر با همان لپتون تبدیل می شود:

$$\ell^- \to \nu_\ell + W^- \qquad (۴.۱)$$

که منظور از ℓ لپتون است در این راس اصل پایستگی عدد لپتونی برقرار است(البته راس $\ell^+ \to \nu_\ell + W^-$ هم مجاز است) می توانیم با اتصال این دیاگرام ها به هم و با به کارگیری قوانین پایستگی ،واکنش های پیچیده تری مثل واکنش زیر را داشته باشیم:

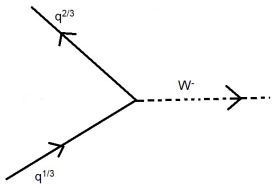
$$\mu^- + \nu_e \to e^- + \nu_\mu \qquad (۵.۱)$$



ب. راس خنثی به گونه ای است که ذره واسطه در این بر هم کنش Z° است. لذا هر لپتونی (ازجمله نوترینو) که وارد گره شود همان لپتون از گره خارج می شود به گو نه ای که $\ell \to \ell + Z^\circ$ را نتیجه دهد. رویدادهای جریان خنثی به واسطه جرم زیاد Z° (در مقایسه با سایر بوزون های پیمانه ای) و برد کوتاهشان در سایه برهم کنش های الکترو مغناطیسی تقریبا محو می شوند.

برهم کنش های ضعیف هادرونی

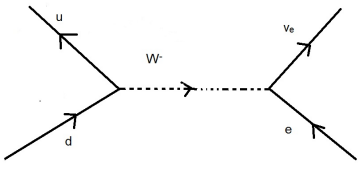
در بر هم کنش های ضعیف بین هادرون ها می توان مشابه راس لپتونی، راس کوارکی را به این صورت نشان داد که یک کوارک با بار $\frac{-۱}{۳}$ (b،s،d) به یک کوارک دیگر با بار $\frac{۲}{۳}$ (u،c،t) با گسیل W^- تبدیل شود.



کوارک خروجی باید همان رنگ کوارک ورودی را داشته باشد زیرا ذره Wبه صورت طبیعی در آزمایشگاه آشکار شده و لذا انتظار داریم که بدون رنگ باشد به همین دلیل در راس ضعیف هادرونی کوارک ورودی و خروجی دارای یک رنگ است. اما به دلیل پایستگی بار الکتریکی طعم کوارک ها تغییر می کند که نشان می دهد در این برهم کنش طعم بقا ندارد انتهای خط W در شکل بالا می تواند به نسلی از لپتون ها وصل شود که یک فرایند نیمه لپتونی، و یا به یک راس کوارکی وصل شود که یک فرایند خالص هادرونی تشکیل می دهد.
نمونه ای از یک فرایند نیمه لپتو نی را می توان در واپاشی

$$\pi^- + \nu_e \to e^- \qquad (۶.۱)$$

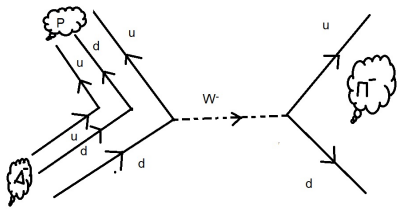
مشاهده نمود که دیاگرام کوارکی آن به صورت زیر است.



به عنوان نمونه ای از یک فرایند خالص ضعیف هادرونی می توان به وا پاشی

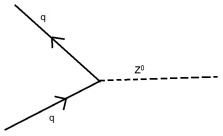
$$\Delta^\circ \to P + \pi^- \qquad (۷.۱)$$

اشاره کرد که دیا گرام کوارکی آن به صورت زیر است



راس خنثی در فرایند خالص هادرونی دقیقا شبیه راس خنثی لپتونی است به گونه ای که نوع کوارک ورودی و خروجی به دلیل پایستگی بار یکسان است و فرایند کوارکی آن را می توان به صورت زیر نمایش داد:

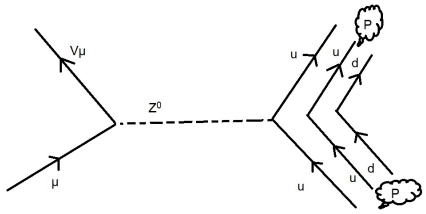
$$q \to q + Z^{\circ}$$



راس دیگر فرایند خنثی هادرونی می تواند نشان دهنده یک فرایند نیمه لپتونی باشد. برهم کنش

$$\nu_{\mu} + p \to \nu_{\mu} + p \qquad (۹.۱)$$

می تواند نشان دهنده چنین فرایندی باشد.



۴.۱ معرفی ماتریس های دیراک و هلیسیته و خواص آن ها و کایرال بودن مدل استاندارد

ماتریس های دیراک در نمایش وایل به صورت چهار ماتریس ۴ × ۴ به صورت زیر است

$$\gamma^{۰} = \begin{pmatrix} ۰ & ۱ \\ ۱ & ۰ \end{pmatrix}$$

و

$$\gamma^{i} = \begin{pmatrix} ۰ & \sigma^{i} \\ -\sigma^{i} & ۰ \end{pmatrix} (i = ۱, ۲, ۳)$$

که σ^{i} ماتریس های پائولی هستند. می توانیم ماتریس $\gamma^{۵}$ را از روی این چهار ماتریس به صورت زیر تعریف کنیم $\gamma^{۵} = i\gamma^{۰}\gamma^{۱}\gamma^{۲}\gamma^{۳}$

$$\gamma^{۵} = \begin{pmatrix} -۱ & ۰ \\ ۰ & ۱ \end{pmatrix}$$

بعضی از خواص این ماتریس ها عبارتند از:

۱. $(\gamma^{۵})^{+} = \gamma^{۵}$

۲. $(\gamma^{۵})^{۲} = ۱$

۳. $\{\gamma^5, \gamma^\mu\} = 0$

تعداد ماتریس های γ به بعد فضا مربوط است . [۴] رد حا صلضرب تعداد فردی از ماتریس های γ صفر است با توجه به این اصل که هر ماتریس 2×2 را می توان بر حسب سه ماتریس پائولی و یک ماتریس یکه نوشت و به این علت که تعداد ماتریس های γ برابر با بعد فضا- زمان یعنی چهار است این ماتریس نمی تواند 2×2 باشد و به خاطر خواص رد نمی تواند به صورت ماتریس های 3×3 باشد پس حد اقل بعد ماتریس هایγ چهار است. γ^μ بردار است (vector) و$\gamma^\mu\gamma^5$ شبه بردار(Axial-vector) است. ما در (۱.۱) لاگرانژی دیراک را معرفی کردیم در این حالت معادله اویلر-لاگرانژ به معادله زیر که معادله دیراک [۹] نام دارد منجر می شود.

$$(i\gamma^\mu \partial\mu - m)\Psi = 0 \qquad (۱۰.۱)$$

به میدانی که در این معادله صدق می کند اسپینور دیراک می گویند که به خاطر وجود ماتریس های γ در معادله، یک میدان چهار مولفه ای است. این اسپینور را به صورت دو مولفه ای در زیر نشان می دهیم.

$$\psi = \begin{pmatrix} \psi_R \\ \psi_L \end{pmatrix} \qquad (۱۱.۱)$$

که در آن ψ_R و ψ_L هر یک دارای دو مولفه اند. حال این میدان را در معادله دیراک قرار می دهیم و به دست می آوریم.

$$(\partial_0 - \sigma.\nabla)\psi_R - m\psi_L = 0 \qquad (۱۲.۱)$$

[۹] Dirac Equion