بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه ارومیه

دانشکده علوم

گروه فیزیک

پایان نامه جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد رشته فیزیک هسته ای

عنوان

برهم کنش های ضعیف و نقض CP

اساتید راهنما

دکتر هادی گودرزی **پروفسور رسول خدابخش**

استاد مشاور

دکتر حسنقلی محمدی

تنظیم ونگارش

حمزه دلیلی

بهمن ۱۳۹۱

حق چاپ و انتشار مطالب این پایان نامه برای دانشگاه ارومیه محفوظ است

تقدیم به

مادر مهربانم که نگاهش همیشه مایه امید برای من، و همسر عزیزم که اسوه صبر و تحمل در مسیر مشکلاتم، و به گلهای زندگیم، علی و فاطمه.

تشکر و قدردانی:

از آن جایی که تجلیل از معلم، سپاس از انسانی است که هدف و غایت آفرینش را امر می کند بر حسب وظیفه و ازباب « من لم یشکر المنعم من المخلوقین لم یشکر الله عزو جل » .

از اساتید با کمالات و شایسته، جناب آقایان دکتر هادی گودرزی و پروفسور رسول خدابخش و دکتر محمدی که با سعه صدر و با حسن خلق از هیچ کمکی و یاری در این عرصه بر من دریغ ننموده اند کمال تشکر و قدردانی را دارم چراکه راهنمایی های علمی و اخلاق ارزشمند و انسانی آنها همیشه یاور ما در انجام مراحل مختلف این پایان نامه بوده است.

همچنین از راهنمایی های دانشجوی دکتری سرکار خانم خضرلو و همراهی دوستان عزیزم آقایان امیر موحدی فرو مرتضی پژمان فرو جلال قربانی و رحیم احمدزاده و حسین رشیدی و دیگر همکلاس هایم بی نهایت سپاسگزارم .

چکیده

برهمکنش های ضعیف هسته ای و نقض CP در آن فرایند ها یکی از جنبه های اساسی درک ما برای گشودن راز ماده وعدم تقارن ماده و پاد ماده در جهان است . در این پایان نامه سعی شده ضمن آشنایی با ذرات بنیادی و مدل استاندارد وممان مغناطیسی کوارکها، به برهم کنش های بین آن ذرات با استفاده ازنمودارهای فاینمن و قوانین آن پرداخته شود و فرایند های ضعیف لپتونی ونیمه لپتونی وکوارکی مورد بحث وبررسی قرار گیرد. و تقارن پاریته (P) وهمیوغی بار (C) و نقض هریک آنها در فرایندهای ضعیف مطالعه شده است. و تقارن CP و نقض آن در واپا شی مزون K و عدم ناوردایی شگفتی در آن واپاشیها بررسی شده تا جوا بی برای استیلای ماده بر پادماده در جهان باشد .

فهرست مطالب

چکیده

مقدمه ۱

فصل اول: آشنایی با ذرات بنیادی و تاریخچه کشف آنها

۱-۱- لپتون ها ۵

۱-۱-۱- الکترون ۶

۱-۱-۲- میون ۷

۱-۱-۳- نوترینو ۷

۱-۱-۴- لپتون تاو(τ) ۱۰

۱-۲- پاد ذرات ۱۰

۱-۳- کوارکها ۱۲

۱-۳-۱- خواص کوارکها ۱۶

۱-۴- بوزون های شاخص ۱۹

۱-۴-۱- ذره واسط نیروی الکترو مغناطیسی (فوتون) ۱۹

۱-۴-۲- ذره واسط نیروی ضعیف (بوزون های برداری میانه) ۲۰

۱-۴-۳- ذره واسط نیروی قوی (گلئون) ۲۱

۱-۴-۴-ذره واسط نیروی گرانش ۲۲

۱-۴-۵- بوزون هیگز ۲۲

۱-۵- مدل استاندارد ذرات بنیادی ۲۲

۱-۶- جرم ۲۳

۱-۷- پوزیترونیم ۲۴

۱-۸- جرم و ممان مغناطیسی کوارکی ۳۰

فصل دوم : دینامیک ذرات بنیادی

۲-۱- نیروی های طبیعت ۳۵

۲-۲- دیاگرام فاینمن ۳۷

۲-۲-۱- دیاگرام های فاینمن در برهمکنش های الکترومغناطیسی ۳۷

۲-۲-۲- نمودار های فاینمن در برهم کنش های قوی ۴۱

۲-۲- ۳- نمودار های فاینمن در برهمکنش های ضغیف..... ۴۴

۲-۳- فرمالیسم نسبیتی ۴۸

۲-۳-۱- معادله کلاین – گوردون ۵۰

۲-۳-۲- محاسبه چگالی احتمال برای معادله کلاین – گوردون ۵۲

۲-۳-۳- معادله دیراک ۵۳

۲-۳-۴- مروری بر معادله ویل – دیراک ۵۷

۲-۳-۵- حل معادله دیراک برای ذره آزاد ۶۰

فصل سوم : برهمکنش های ضعیف

۳-۱- برهمکنش های هسته ای ضعیف ۶۲

۳- ۲- قواعد فاینمن برای برهکنش های ضعیف ۶۳

۳-۳- روش محاسبه آهنگ واپاشی ۶۵

۳-۴- برهمکنش های ضعیف لپتونی ۶۸

۳-۵- برهمکنش های ضعیف نیمه لپتونی ۷۴

۳-۵-۱- واپاشی پیون ۸۰

۳-۶- برهمکنش ضعیف کوارکی ۸۳

فصل چهارم : نقض CP در فرآیندهای ضعیف

۴-۱- پاریته نقض آن در برهمکنش های ضعیف ۸۶

۴-۲- عمگلر همیوغی بار و نقض آن در فرآیندهای ضعیف ۸۹

۴-۳- تقارن CP ۹۱

۴-۴- مدل مزون k^0 برای نقض CP ۹۲

۴-۴-۱- نوسان شگفتی با فرض ناوردایی CP ۹۴

۴-۴-۲- واپاشی ویژه حالت های CP ۹۷

۴-۴-۳- نقض CP در واپاشی $\pi\pi$ ۹۸

نتیجه گیری و پیشنهادات ۱۰۴

منابع و ماخذ **۱۰۵**

فهرست اشکال و نمودار

فصل اول :

شکل ۱-۱- دستگاه تامسون برای کشف الکترون ۶

شکل ۱-۲- طیف واپاشی بتازای تریتیم ۸

شکل ۱-۳- واپاشی پیون به میون و نوترینو ۹

شکل ۱-۴- طیف ترازهای انرژی در پوزیترونیم ۲۹

فصل دوم :

شکل ۲-۱- نمودار فاینمن راس اصلی در برهمکنش الکترومغناطیس ۳۷

شکل۲-۲- نمودار فاینمن برهمکنش الکترون – الکترون در یک لحظه ۳۸

شکل۲-۳- نمودار فاینمن برهمکنش الکترون – پوزیترون در دولحظه مختلف ۳۸

شکل۲-۴- نمودار فاینمن برهمکنش الکترون- پوزیترون در یک لحظه.....۳۹

شکل۲-۵- دیاگرام پراکندگی کامپتون ، تولید زوج و نابود زوج ۳۹

شکل۲- ۶- دیاگرام پراکندگی مولر با رئوس بیشتر ۴۰

شکل۲-۷- دیاگرام راس اصلی در برهمکنش QCD ۴۱

شکل۲-۸- دیاگرام فاینمن برهمکنش کوارک – کوارک ۴۲

شکل۲- ۹- دیاگرام راس اصلی در برهمکنش قوی ۴۲

شکل ۲-۱۰- نمودارهای فاینمن توپ های گلئونی ۴۳

شکل ۲-۱۱- نمودار فاینمن برهمکنش قوی بین دو پروتون با مبادله ذره پیون ۴۳

شکل ۲-۱۲- نمودار فاینمن برخورد پروتون –پادپروتون برای تولید $t\bar{t}$ ۴۳

شکل ۲-۱۳- نمودار فاینمن برهمکنش ضعیف باردار لپتونی ۴۴

شکل ۲-۱۴- نمودار فاینمن فرآیند $\mu^- + \nu_e \rightarrow e^- + \nu_\mu$ ۴۴

شکل ۲-۱۵- نمودار فاینمن پایین ترین مرتبه واپاشی میون ۴۵

شکل ۲- ۱۶ – نمودار فاینمن راس بنیادی خنثی در برهمکنش ضعیف ۴۵

شکل ۲-۱۷ – نمودار فاینمن پراکندگی الکترون – نوترینو ۴۵

شکل ۲-۱۸- نمودار فاینمن راس بنیادی فرآیند باردار کوارکی ۴۶

شکل ۲-۱۹- نمودار فاینمن واپاشی ضعیف پیون منفی ۴۶

شکل ۲ – ۲۰- نمودار فاینمن واپاشی بتازای نوترون ۴۷

شکل ۲- ۲۱ – نمودار فاینمن واپاشی هادرونی ۴۷

شکل ۲- ۲۲- نمودار فاینمن پراکندگی نوترینو - پروتون ۴۸

شکل ۲- ۲۳- نمودار پاشندگی برای ذرات جرم دار ۵۹

شکل ۲- ۲۴- نمودار پاشندگی برای ذرات بدون جرم ۵۹

فصل سوم :

شکل ۳- ۱- طیف تجربی پوزیترون ها در واپاشی میون ۷۳

شکل ۳- ۲- توزیع انرژی الکترون از واپاشی بتا در نوترون ۷۸

فصل چهارم :

شکل ۴-۱- واپاشی بتایی کبالت ۶۰ ..... ۸۷

شکل ۴- ۲- تصویر آینه ای واپاشی بتایی کبالت ۶۰ ..... ۸۷

شکل ۴- ۳- واپاشی π^- ساکن ۸۸

شکل ۴- ۴- هلیسیته در چپگرد و راستگرد ۸۸

شکل ۴- ۵- اثر تبدیلات CP, P, C روی یک نوترینوی چپگرد ۹۱

شکل ۴ – ۶ – نوسانات $K^0, \overline{K}^0$ با زمان ۹۶

شکل ۴- ۷- نمودار تبدیل $K^0, \overline{K}^0$ و برعکس ۱۰۱

شکل ۴ – ۸- نمودار نرخ واپاشی کائون خنثی به دو پیون برحسب زمان ۱۰۲

شکل ۴ – ۹ – نمودار درختی و پنگوئن واپاشی کائون خنثی به دو پیون ۱۰۳

مقدمه

هدف فیزیک ذرات بنیادی گشودن راز ماده است در این راستا به مطالعه و بررسی ساختار درونی مواد و برهم کنش های آنها می پردازد که بعضی از این ذرات همچون الکترون بنیادی بوده و برخی دیگر مانند پروتون و نوترون زمانی تصور می شد که بنیادی اند که مطالعات اخیر در قرن بیستم نشان داد پروتون و نوترون از ذرات بنیادی بنام کوارک ساخته شده اند و تمام ذرات بنیادی را می توان در مدل استاندارد[1] پیش بینی کرد که این مدل بیان می دارد که تمام پدیده های مشاهده شده در جهان را می توان براساس سه نوع ذره (لپتون ها[2] ، کوارک ها [3] و ذرات واسطه) توصیف نمود که هر کدام ذرات براساس نیروی برهم کنش خاصی (نیروی گرانشی ، نیروی الکترومغناطیسی ، نیروی هسته ای قوی و ضعیف) می توانند توصیف کننده پدیده های فیزیکی باشند .

ذراتی که مورد بررسی قرار می گیرند چون بی نهایت کوچک و دارای سرعت بالایی هستند ، لذا قانونی که بتواند برهم کنش این ذرات را تفسیر کند همان تئوری کوانتومی میدانها[4] می باشدو هدف دینامیک ذرات بنیادی ، توصیف رفتار صحیح ذره با استفاده از نظریه میدان کوانتومی است. برهم کنش گرانشی در فیزیک ذرات به علت بسیار کم ذرات در مقایسه با بقیه برهم کنش ها قابل صرفنظر کردن است و آشناترین برهم کنش ، برهمکنش الکترومغناطیسی است که سرچشمه این برهم کنش ها بار الکتریکی است و ذره واسطه ای که به عنوان حامل نیرو بین بارها رد و بدل می شود فوتون می باشد و نظریه ای که نیروهای الکترومغناطیسی را توصیف می کند الکترودینامیک کوانتومی (EQD) نامیده می شود که فرمول بندی کلاسیک آن بیش از صد سال پیش ، توسط ماکسول انجام شده و برای سازگاری نظریه ی ماکسول با نسبیت خاص ، نظریه کوانتومی الکترودینامیک توسط توموگا ، فاینمن و شوئینگر تکمیل شده است .

1- standard Model
2-Leptons
3-Quarks
4-Quantum field Theory

پیوند بین نوکلئون ها در هسته اتم و غلبه آن بر دافعه کولنی ما را به سوی نیروی بسیار قوی بین نوکلئون ها رهنمون می سازد که این نیرو ، برهمکنش های هسته ای قوی نامیده می شود و اولین نظریه در این مورد توسط یوکاوا ارائه شد و طبق نظریه میدان های کوانتومی عامل آن با رنگ بوده و این برهمکنش ها با مبادله گلئون بین کوارک های محبوس انجام می شود که بررسی نیروی قوی در کرومودینامیک کوانتومی (QCD) صورت می گیرد و نیروی دیگر هسته ای، که عامل دیگردیسی و واپاشی ذرات است نیروی هسته ای ضعیف نامیده می شود که اگر عامل آن را بارضعیف بنامیم تمام لپتون ها و کوارک ها دارای این بار هستند و در برهمکنش های ضعیف دخالت دارند واسطه این برهمکنش ها بوزون های باردار w^- و w^+ و بوزون خنثی Z° می باشد که اولین نظریه ضعیف توسط فرمی در سال ۱۹۳۳ ارائه شد که بعداً لی و یانگ ، فاینمن ، گلمان آن را در دهه پنجاه اصلاح کردند و سرانجام کلاشو ، واینبرگ و سلام در دهه شصت به شکل امروزی در آوردند و به این خاطر نظریه ی برهمکنش های ضغیف (GWS) نامیده می شود .

برهمکنش های مختلف در طبیعت خواص تقارنی متفاوتی دارند ، آزمایشات ، هیچ نقضی از بقای انرژی و تکانه و بقای تکانه زاویه ای در همه برهمکنش های شناخته شده نیافته است که اینها نتایج تقارن فضا – زمان پیوسته است . [۱۶] عملگرهایی که می توان با اعمال پی در پی عملگرهای تقارنی بی نهایت کوچک به دست آورد عملگرهای تقارنی پیوسته نام دارد[۲۵] به عنوان مثال ، دَوران که می تواند با زاویای کوچک دلخواهی انجام پذیرد در گروه تقارن های پیوسته قرار می گیرد همچون تقارن های پیوسته ، تقارن های فضا – زمان گسسته وجود دارند که تقارن های ، ممکن یک دستگاه فیزیکی اند مانند تقارن وارونی فضایی یا تقارن پاریته [1]، تقارن وارونی زمان[2] و تقارن همیوغی بار(تقارن ذره – پاد ذره). تقارن همیوغی بار از این جهت به تقارن گسسته فضا – زمان مربوط می شود که یک پاد ذره را بنابرنظریه استوکلبرگ و فاینمن می توان به مانند ذره ای که در زمان به سمت عقب حرکت می کند در نظر گرفت[۱۶] .

1- parity
2- Time reversal

تقارن در مطالعات فیزیکی از اهمیت خاصی برخوردار است و ترکیب تقارن همیوغی بار(c) و پارینه (p) از اغلب آنها شگفت آورتر است . تقارن cp که نماد ترکیب دو عمل مزدوج کردن بارالکتریکی و وارونی فضایی یعنی پاریته است که همه ذرات را به پاد ذرات آنها تبدیل و جهت همه بردارها را وارون می کند [۱۷] در جهان فیزیکی ، برخی از تقارن ها پایدار و برخی از آنها شکسته شده اند که مطالعه هر دو نوع تقارن از اهمیت برخوردار است که این مطالعات ، اطلاعات بسیاری را برای درک اصول بنیادی عالم فراهم آورده است در فیزیک ذرات ، نقض cp که همان نقض تقارن cpدر قوانین فیزیک است، که نقض cp ظریف ترین شکست تقارن که تاکنون در طبیعت مشاهده شده را نشان می دهد و امکان بررسی پدیده شناختی بزرگی را برای فیزیکدانان مهیا می سازد .[۱۸]

مزونها از یک کوارک و پادکوارک ساخته شده اند یعنی مخلوطی مساوی از ماده و پادماده هستند و نقش اساسی در نقض cp دارند که خانواده مزون ها شامل ذراتی مانند پایون ها ، کائون ها ، مزونهای D,B و غیره می باشد .

اگر تقارن cp در یک سیستم فیزیکی وجود داشته باشد طبق قضیه نوتر باید هیچ حالت فیزیکی با عدد cp برابر ۱- نتواند به حالتی با عدد cp برابر ۱+ تبدیل شود یعنی کمیت فیزیکی عدد cp باید پایسته باشند تا پیش از سال ۱۹۶۴ ترکیب cp در برهمکنش های ضعیف پایسته تلقی می شد اما هنگامیکه در این سال جیمز کرونین ، وال فیچ و همکارانش در آزمایشگاه بین المللی بروکهیون مشاهده کردند که تقریباً یکی از هر ۵۰۰ کائون با عمرطولانی (کائون هایی که عدد cp مساوی ۱- دارند) به دو پایون واپاشیده می شوند این تلقی مخدوش شد . آنها با نقض اندک cp به میزان ۰/۲ درصد در واپاشی کائون روبرو شدند و این معما به وجود آمد که چرا طبیعت وقتی در آینه بار –پاریته منعکس می شود متفاوت به نظر می رسد.[۱۷]

فصل اول

آشنایی با ذرات بنیادی

و تاریخچه کشف آنها

۱-۱- لپتون ها

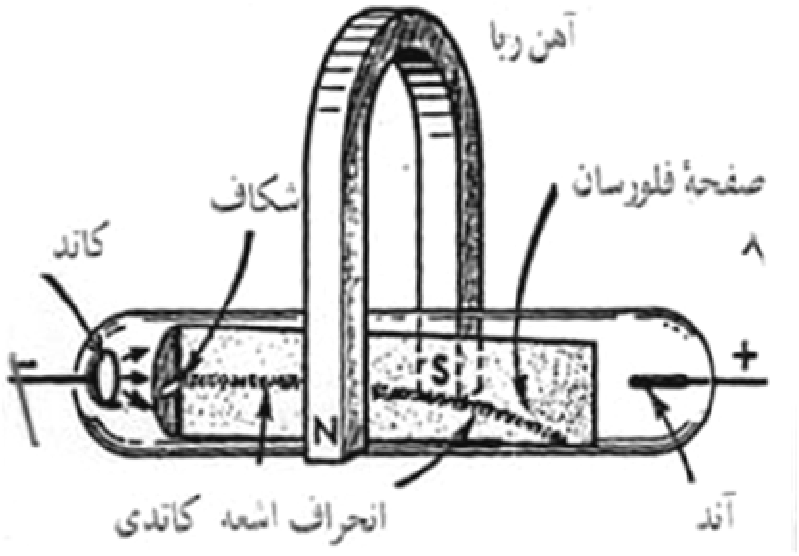
ریشه لپتون از کلمه یونانی ($\lambda E\pi TON$) به معنی سبک ریز می باشد و لپتون ها غیر قابل تقسیم به ذرات دیگر بوده و از ذرات بنیادی شناخته می شوند و دارای اسپین $\frac{۱}{۲}$ و از فرمیون ها می باشند و بطور کلی شش نوع لپتون وجود دارد که سه تا از آنها دارای بارالکتریکی بوده و سه تای دیگر فاقد بارالکتریکی هستند و معروفترین لپتون الکترون (e) می باشد و لپتون های باردار دیگر میون (μ)وتاو (τ) هستند که از نظر بار مثل الکترون ولی دارای جرمی خیلی بیشتر نسبت به آن هستند میون و تاو به ترتیب ۲۰۰ و۳۰۰۰ برابر سنگین تر از الکترون هستند و به هریک از این سه لپتون یعنی الکترون ، میون و تاو می توان ذره ای خنثی الکتریکی بنام نوترینو نسبت داد که مشهور به نوترینوالکترون و نوترینومیون و نوترینوتاو می باشند و این ذرات با نیروهای بنیادی ، نیروی هسته ای ضعیف و نیروی الکترو مغناطیسی بر همکنش می کنند و برحسب بار (Q) عدد الکترونی (L_e) ، عددموئونی L_μ و عددتاو دسته بندی شده و بطور طبیعی در سه نسل مطابق جدول زیر جا می گیرند و در برهم کنش ها عدد الکترونی و میونی و تاوی همواره پایسته می ماند .

جدول (۱- ۱)

	L	Q	L_e	L_μ	L_τ	جرم $(Mev/c^۲)$
نسل اول	e	-1	1	0	0	۰/۵۱۰۹۹۸۹۱۰
	ν_e	0	1	0	0	۰<۰/۰۰۰۰۰۲۲
نسل دوم	μ	-1	0	1	0	۱۰۵/ ۶۵۸۳۶۶۸
	ν_μ	0	0	1	0	< ۰/۱۷
نسل سوم	τ	-1	0	0	1	۱۷۷۶ /۸۴
	ν_τ	0	0	0	1	< ۱۵/۵

۱-۱-۱- الکترون

الکترون تنها لپتون موجود در ساختار اتم می باشد که در سال ۱۸۹۷ بوسیله تامسون کشف شد چرا که تامسون پرتوهای کاتدی را که از یک رشته سیم داغ گسیل می شدند ، با آهنربا منحرف کرده و این انحراف نشان می داد پرتوها حامل بارالکتریکی اند و در واقع جهت خمیدگی ایجاب می کرد که بار آنها منفی باشد بنابراین به نظر می رسد که آنها اصلاً پرتو نیستند بلکه جریانی از ذرات اند با عبور دادن آنها از میدان الکتریکی و مغناطیسی عمود برهم و تنظیم شدت میدان تا آن جا که انحراف خالص صفر شود تامسون توانست سرعت ذرات (حدود یک دهم سرعت نور) و نسب بار به جرمشان را تعیین کند و این نسبت بسیار بزرگتر از مقدار مربوط به هر یون شناخته شده ای بود و نشان می داد یا بار بسیار بزرگ یا جرم بسیار کوچک است و شواهد غیر مستقیم جرم بسیار کوچک را تأیید کرد و تامسون این ذرات ریز دارای بار منفی وپایدار را الکترون نامید و با کشف الکترون فیزیک ذرات بنیادی متولد شد . [۱]



شکل ۱-۱ (دستگاه تامسون برای کشف الکترون)

۱-۱-۲ میون

میون از خانواده لپتون ها و شبیه الکترون و دارای بارمنفی و دارای ۲۰۰ مرتبه سنگین تر از آن و طول عمر واپاشی $۲/۱۹۷۰۱۹\times۱۰^{-۶}$ می باشد که برای اولین بار توسط پاول و همکارانش کشف شد چرا که در بررسی پرتوهای کیهانی دریافتند که دو ذره میان وزن در پرتوهای کیهانی وجود دارد که آنها یکی از آن دو ذره را ، پیون (π) وذره دیگر میون (μ) نامیدند و دریافتند مزون واقعی یوکاوا همان پیون (π)می باشد که در جو بالایی اما خیلی قبل از آنکه به زمین برسد به طور طبیعی فرو می پاشد از اینرو گروه پاول ، امولسیونهای عکاسی خود را در قله کوه قرار دادند و مشاهده نمودند که یکی از محصولات واپاشی سبکتر و دارای طول عمر بیشتر می باشد و می توان آنرا در سطح دریا مشاهده نمود و این محصول واپاشی پیون همان میون است که شبیه الکترون و از لپتون هاست [۲]

$$\pi^- \rightarrow \mu^- + \overline{\nu}_\mu \qquad (۱-۱)$$

$$\pi^+ \rightarrow \mu^+ + \nu_\mu \qquad (۱-۲)$$

۱-۱-۳ – نوترینو

در واپاشی بتازا ، هسته پرتوزای A با گسیل یک الکترون به هسته B که اندکی سبکتر است تبدیل می شود.

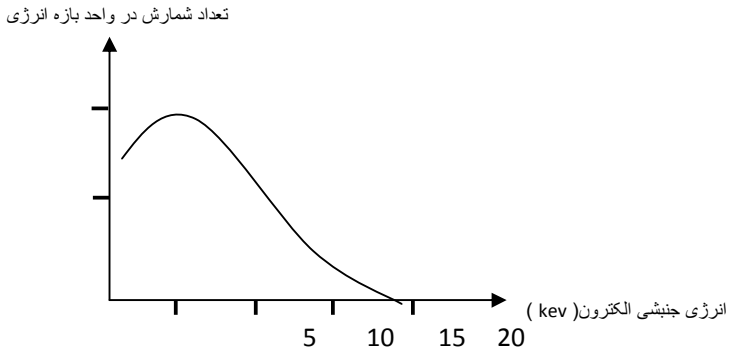
$$A \rightarrow B + \overline{e}$$

پایستگی بار مستلزم آن است که هسته دختر B حامل یک واحد بار مثبت بیش A باشد (اکنون فرآیند اساسی در این واپاشی تبدیل یک نوترون به یک پروتون و یک الکترون است ($n \rightarrow p + e^-$) پس هسته دختر B در خانه بعدی در جدول تناوبی جای میگیرد. [3]

از مشخصه های واپاشیهای دو جسمی تعیین انرژی خروجی بصورت سینماتیکی در چارچوب مرکز جرم است اگر هسته مادر A در حال سکون باشد باید هسته دختر B,e ، پشت به پشت ، با تکانه هایی مساوی و و در خلاف جهت هم حرکت کنند و پایستگی انرژی ایجاب می کند در واپاسی بتازای فوق انرژی الکترون از رابطه زیر قابل محاسبه می باشد .

$$E = (\frac{m_A^2 - m_B^2 + m_o^2}{2m_A})c^2 \qquad (۳-۱)$$

اگر در این رابطه جرمها مشخص شوند انرژی E برای الکترون بدست می آید ولی آزمایشات نشان می دهد طیف واپاشی بتازای تریتیم به صورت زیر می باشد



شکل ۱- ۲ طیف واپاشی بتازای تریتیم $({}_1^3H \rightarrow {}_2^3He + e)$

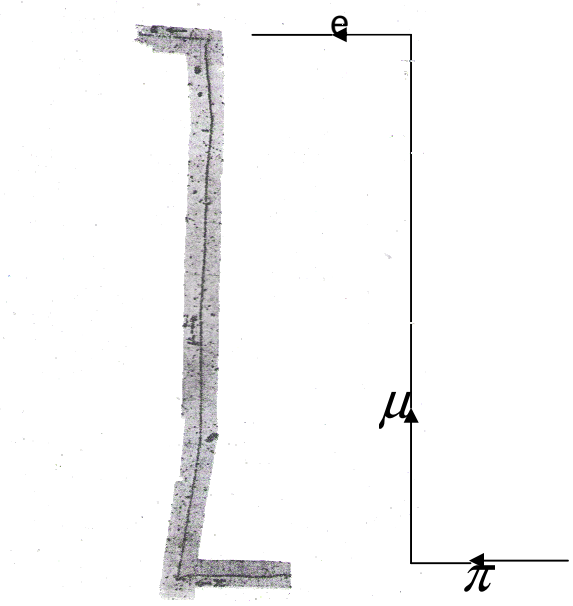
نمودار فوق نشان می دهد انرژی الکترون های گسیل شده تفاوت زیادی با همدیگر دارند و رابطه (۱-۳) فقط بیشینه انرژی الکترون را برای واپاشی بتازای تریتیم تعیین می کند .

پاول برای برقراری قانون پایستگی انرژی پیشنهاد نمود که ذره دیگری باید همراه الکترون گسیل شود که همدستی خاموش که حامل انرژی « گم شده » است این ذره باید برای پایسته نگه داشتن بار و برای توضیح اینکه ردی از خود به جا نمیگذارد به لحاظ الکتریکی خنثی باشد که بعداً این ذره را فرمی، نوتوینو نامگذاری کرد.

اگر به رد واپاشی پیون به میون در امولسیون عکاسی پاول نظری بیافکنیم (شکل ۱-۳)ملاحظه می کنیم میون در زوایه حدود ۹۰^{o}نسبت به جهت پیون فرودی خارج می شود و این ناشی از برخورد نیست چرا که در ضمن برخورد با اتمها در امولسیون موجب لرزش ردها می شود اما نمی تواند تغییر مسیر ناگهانی به وجود آورد و این تغییر مسیر دال بر آن است که در واپاشی پیون ذره دیگری نیز تولید می شود و این ذره ، هیچ ردی در امولسیون از خود به جای نمی گذرد بنابراین باید به لحاظ الکتریکی خنثی باشد و این ذره همان نوترینوی پائولی است که یکی از لپتون ها بوده که بی نهایت سبک‌است‌وجرم آن تقریباً برابر صفر است‌پس با این توصیف واباسی π و μبصورت زیر می باشد [۴]

$$\pi \rightarrow \mu \ + \overline{\nu}_{\mu} \qquad (۱-۴)$$

$$\pi \rightarrow e \ + \overline{\nu}_{e} + \nu_{\mu} \qquad (۱-۵)$$



شکل (۱-۳)

در اینجا یک پیون به یک میون و یک نوترینو وا می پاشد

و پس از آن میون به یک الکترون و دو نوترینو وا می پاشد