جرم کوارک TOP در کانال واپاشی های Semi leptonic

ساره محودیان مقدم

دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران

چکیده

کوارک تاپ جزء کوارک های نسل سوم در مدل استاندارد فیزیک ذرات است , این کوارک سنگین ترین ذره اولیه ای است که تاکنون مشاهده شده است . آشکارسازهای DØ و CDF صدها رویداد را که شامل واپاشی جفت های تاپ و آنتی تاپ در برخورد دهنده پروتون-پاد پروتون تواترون است به فاصله چند سال از کشف آن مشاهده کرده اند . فیزیکدانان از مشاهده این رویدادها برای اندازه گیری جرم کوارک تاپ با دقت یک درصد و همچنین مطالعه خصوصیات این کوارک استفاده می کنند . جرم کوارک تاپ یک پارامتر بنیادی نظریه مدل استاندارد است که تعیین دقیق آن با حداقل عدم قطعیت به ما اجازه پیش گویی خصوصیات بوزون هیگز را می دهد . امروزه جرم کوارک تاپ به همراه جرم بوزون W نقش مهمی در تعیین جرم بوزون هیگز(که به تازگی مشاهده شده است) ایفا می کند. جرم این کوارک در محدوده $175\ \mathrm{GEV}/C^2$ ***تخمین زده شده است. در این مقاله به ارائه مختصری از خصوصیات کوارک تاپ و محاسبه جرم این کوارک از طریق واپاشی های شبه لپتونی جفت تاپ _پاد تاپ پرداخته شده است .***

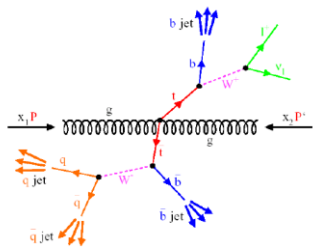
کانال واپاشی شبه لپتونی

می خواهیم جرم کوارک تاپ را با استفاده واپاشی شبه لپتونی جفت $t\bar{t}$ به دست آوریم . همانطور که می دانیم جفت $t\bar{t}$ تقریباً در ۱۰۰٪ موارد از طریق برهمکنش ضعیف به یک بوزون W و کوارک b واپاشی می کند , بوزون W نیز در $\frac{1}{3}$ موارد به لپتون و نوترینو ودر $\frac{2}{3}$ موارد به یک جفت کوارک و آنتی کوارک($q\bar{q}$) واپاشی می کند . در واپاشی کوارک تاپ اگر یکی از بوزون های W به لپتون و نوترینو و دیگری به کوارک و آنتی کوارک واپاشی کند ,واپاشی مربوطه شبه لپتونی نامیده می شود . در واپاشی شبه لپتونی همانطور که از شکل پیداست :

الف : یک لپتون باردار با انرژی بالا داریم .

ب : دو جت از کوارک b و دو جت سبک از جفت کوارک و آنتی کوارک ($q\bar{q}$) داریم .

ج : انرژی عرضی از دست رفته ($\not{E}_T$) ناشی از یک نوترینو حاصل از واپاشی لپتونی بوزون W داریم .



شکل ۱

همانطور که از شکل۱ مشخص است طبق قانون بقای اندازه حرکت خواهیم داشت :

$$M_{top}^{2} = P_{top}^{2} = (P_l + P_\nu + P_b)^{2} \qquad (1)$$

به منظور راحتی در محاسبه لپـتون مربوطه را میون در نظـر می گیریم . ($l = \mu$) در اینجا P ها معـرف چهار بردار اندازه حرکت هستند که به صورت زیر تعریف می شوند :

$$P^{2} = P_\mu P^\mu = \left(P_{.}, -\vec{P}\right)\left(P^{.}, \vec{P}\right) = P_{.}^{2} - |\vec{P}|^{2} = E^{2} - |\vec{P}|^{2} = M^{2} \qquad (2)$$

بـرای بوزون W نیز طبق قانون بقای اندازه حرکت داریم :

$$P_w^{2} = (P_\mu + P_\nu)^{2} = P_\mu^{2} + P_\nu^{2} + 2\, P_\mu . P_\nu \qquad (3)$$

$$P_w^{2} = E^{2} - |\vec{P}_W|^{2} = M_W^{2} \qquad (4)$$

با گذاشتن رابطه (٤) در (٣) خواهیم داشت :

$$M_w^{2} = \left(E_\mu^{2} - |\vec{P}_\mu|^{2}\right) + \left(E_\nu^{2} - |\vec{P}_\nu|^{2}\right) + 2\left(E_\mu E_\nu - |\vec{P}_\mu . \vec{P}_\nu|\right) \qquad (5)$$

از آنجا که جرم نوترون صفر است و جرم میون رامی توان تقریباً صفر گرفت بنابراین داریم :

$$M_\nu = 0 \Rightarrow P_\nu^{2} = 0 \Rightarrow E_{z,\nu}^{2} = |\vec{P}_{z,\nu}|^{2} \qquad (6)$$

$$M_\mu^{2} \simeq 0 \Rightarrow E_\mu^{2} = |\vec{P}_\mu|^{2} \qquad (7)$$

از طرفی می توان انرژی نوترینو را به صورت زیرنوشت , که مولفه عرضی آن$(\vec{E}_{T,\nu})$ همان انرژی عرضی از دست رفته نوترینو$(\not{E}_T)$ است.

$$\vec{E}_\nu = \vec{E}_{T,\nu} + \vec{E}_{z,\nu} \Rightarrow |\vec{E}| = \sqrt{\not{E}_T^{2} + E_{z,\nu}^{2}} \qquad (8)$$

با قرار دادن مولفه های $\vec{P}_\mu$ و $\vec{P}_\nu$ و جایگذاری روابط ٦, ٨ ,٧ در رابطه ٥ , رابطه زیر به دست می آید :

$$M_W^{2} = 2\left(E_\mu \sqrt{\not{E}_T^{2} + P_{z,\nu}^{2}} - \vec{P}_{T.\mu} . \vec{\not{E}}_T - P_{z,\mu} P_{z,\nu}\right) \qquad (9)$$

معـادله فوق یـک معـادلـه درجه دوم اسـت که تنها مجـهول آن , اندازه حرکت نوتـریـنو در راستای محور z ($P_{z,\nu}$) است که آشکارساز قادر به اندازه گیری آن نمی باشد . با مرتب کردن و حل معادله درجه دوم(٤-١٥) می توان ($P_{z,\nu}$) را به دست آورد .

$$\frac{M_W^2}{2} + \vec{P}_{T.\mu}.\vec{\not{E}}_T + P_{z,\mu}P_{z,\nu} = E_\mu\sqrt{\not{E}_T^{\,2} + P_{z,\nu}^2} \qquad (١٠)$$

دو طرف معادله بالا را به توان دو می رسانیم:

$$\frac{M_W^4}{4} + \left(\vec{P}_{T.\mu}.\vec{\not{E}}_T\right)^2 + M_W^2\left(\vec{P}_{T.\mu}.\vec{\not{E}}_T\right)+(P_{z,\mu}P_{z,\nu})^2 + +2\left(\vec{P}_{T.\mu}.\vec{\not{E}}_T\right)(P_{z,\mu}P_{z,\nu})+ M_W^2(P_{z,\mu}P_{z,\nu}) = E_\mu^2(\not{E}_T^{\,2} + P_{z,\nu}^2) \qquad (١١)$$

جملات بالا را بر حسب درجات $P_{z,\nu}$ می نویسیم :

$$P_{z,\nu}^2[P_{z,\mu}^2 - E_\mu^2] + P_{z,\nu}\,[2P_{z,\mu}\left(\vec{P}_{T.\mu}.\vec{\not{E}}_T\right) + M_W^2P_{z,\mu}\,]+ \frac{M_W^4}{4} + \left(\vec{P}_{T.\mu}.\vec{\not{E}}_T\right)^2 + M_W^2\left(\vec{P}_{T.\mu}.\vec{\not{E}}_T\right) - E_\mu^2\not{E}_T^{\,2} = 0 \qquad (١٢)$$

در نتیجه :

$$P_{z,\nu} = \frac{AP_{z,\mu}\pm\sqrt{\Delta}}{P_{T,\mu}^2} \qquad (١٢)$$

کـه در اینجا $A = \frac{M_W^2}{2} + \vec{P}_{T.\mu}.\vec{\not{E}}_T$ و $\Delta = E_\mu^2(A^2 - \not{E}_T^{\,2}P_{T,\mu}^2)$ اسـت . بـرای اینکه معادله ١٢ جواب داشته باشـد باید مقدار Δ مثبـت باشد , در ٣٠٪ رویدادها Δ دارای مقادیر منفـی می شود . با به دست آوردن $P_{z,\nu}$ جرم کوارک تاپ طبق رابطه زیر به دست می آِید :

$$M_{top}^2 = P_{top}^2 = (P_\mu + P_\nu + P_b)^2 = P_\mu^2 + P_\nu^2 + P_b^2 + 2P_\mu P_\nu + 2P_\nu P_b + 2P_\mu P_b = M_b^2 + M_w^2 +$$
$$2\left(E_b\sqrt{\not{E}_T^{\,2} + P_{z,\nu}^2} - \vec{P}_{T,b}.\vec{\not{E}}_T - P_{z,b}P_{z,\nu}\right) + 2\left(E_\mu E_b - |\vec{P}_\mu.\vec{P}_b|\right)$$

(١٣)

نتیجه گیری

کانال واپاشی شبه لپـتونی $\bar{t}\,t$ کانال طلایی نامیده می شود . برای محـاسبه دقیـق جـرم کـوارک تاپ علاوه بر ارائه شـیوه های جدید محاسبه نباید فرامـوش کرد شنـاخـت دقیـق نحـوه کـار آشـکارسـازها و محـدود کـردن خطای سیسـتمـاتـیک نقش بسـزایی در به دسـت آوردن دقـیق جـرم کوارک تاپ دارد , با این حال خطای سیستماتیکی دستـگاه چـیزی نـیست که به طور کلی بشود آن را حذف کرد .

با تشکر از راهنمایی های خانم کتر بتول صفرزاده

مرجع ها

A. Abulencia et al., Phys. Rev. Lett**. 96, 152002 (2006).** Phys. Rev**. D74, 032009** (2006). Phys. Rev. **D75, 031105** (2007)

C. Hill et al. ”*A method for measurement of the top quark mass using the mean decay length of b hadrons in t anti-t events”.* Phys. Rev**. D 71 054029** (2005)

Luis Anchordoqui and Francis Halzen, *Lessons in Particle Physics*, University of Wisconsin,2009

M. Herndon, *Higgs Searches*, presented at **ICHEP08** (2008)