

مطالعه مشاهده پذیری رویدادهای تک کوارک تاپ

مجید هاشمی^۱، سید محمد زبرجد^۱، زینب بزرگ تبار^۱

^۱بخش فیزیک دانشکده علوم دانشگاه شیراز، شیراز

چکیده

در این مقاله به مطالعه مشاهده پذیری رویدادهای تک کوارک تاپ می‌پردازیم. بدین منظور رویدادهای تولید تک کوارک تاپ از کانال t برای اندازه‌گیری سطح مقطع آن مورد بررسی قرار گرفته است. بنابراین با توجه به اهمیت و جایگاه این ذره بنیادی در مدل استاندارد و ویژگی‌های منحصر به فرد آن، ابتدا شرح مختصری از تاریخچه تولید این ذره و در ادامه روش محاسبه سطح مقطع آن در LHC با توجه به نمودارهای فاینمن موثر در فرآیند تولید آن ارائه می‌شود. در نهایت PDF مربوط به پروتون‌ها به محاسبات افزوده می‌شود.

انتظار داریم که در مدل استاندارد تک کوارک تاپ، از راه برهم‌کنش‌های الکتروضعیف جریان باردار تولید شود. با توجه به این که بوزون w فضاگونه، زمان‌گونه و یا حقیقی است به ترتیب سه کانال s ، t و w مشخص می‌شوند. تولید کوارک سنگین از راه گداخت w -gluon در برخوردهای پرنرژی پروتون-پروتون و پروتون-پادپروتون، در صورتی که اختلاف جرم بین دوتایی زیاد باشد، منبع مهم عضو سنگین‌تر دوتایی $SU(2)_L$ کوارک‌هاست. به لحاظ تاریخی انرژی‌های مورد مطالعه در برهم‌کنش ضعیف بسیار کوچک‌تر از جرم بوزون w بودند. سطوح مقطع فرآیندهای ضعیف، مقیاسی شبیه به $1/M_w^2$ دارند. این مقیاس از حضور یک انتشارگر فضاگونه بوزون w بدست آمده است. سطح مقطع آن به ناحیه‌ای از فضای فاز اختصاص دارد که $Q^2 \ll M_w^2$ است، این متناظر با گسیل بوزون‌های w در جهت پارتون کوارک ورودی است. فرآیندهای گداخت w -gluon با فرض اختلاف زیاد جرم‌ها، تنها یک ذره سنگین در حالت نهایی خود تولید می‌کنند. در ادامه سطح مقطع تولید کوارک سنگین تاپ در برخوردهای پرنرژی پروتون-پروتون را در فرآیندهای ضعیف مطالعه و محاسبه خواهیم کرد.

عوامل فیزیک زیادی در سطح مقطع ذره بنیادی موثر است. هر سطح مقطع بویژه به تکانه برخورد ذرات وابسته است. تکانه مورد نظر و در کل تمام داده‌های دینامیکی هر فرآیند در کمیتی به نام دامنه پراکندگی M خلاصه می‌شوند. این کمیت با ارزیابی نمودارهای فاینمن هر فرآیند با استفاده از قوانین فاینمن متناسب با برهم‌کنش، محاسبه می‌شود. نمونه‌ای از یک نمودار فاینمن موثر در فرآیند تولید تک کوارک تاپ، در شکل ۱ آمده است.



شکل ۱: تولید کوارک تاپ بوسیله گداخت یک بوزون مجازی w با کوارک b در دریای پروتون

برای برخورد ارایه شده در شکل ۱، دامنه پراکندگی بصورت زیر محاسبه می‌شود: برای هر راس الکتروضعیف یک فاکتور راس و برای بوزون سنگین اسپین ۱، w ، انتشارگر یک ذره مجازی و روابط ذرات و پادذرات ورودی و خروجی معرفی می‌شوند و با جایگذاری در رابطه زیر عنصر ماتریسی مربوط به فرآیند مورد نظر بدست می‌آید:

$$\overline{|M|^2} = \frac{1}{2} \sum_{spin} |M|^2 \quad (1)$$

$$\overline{|M|^2} = \frac{1}{2} \frac{g^2}{64} \times \frac{1}{(M_w^2 - q^2)^2} \times 256 (p_1 \cdot p_2) (p'_1 \cdot p'_2) \quad (2)$$

محاسبات در سیستم مرکز جرم و با استفاده از روابط پایستگی انرژی و تکانه بصورت زیر انجام شده است:

$$E_u + E_b = E_d + E_t \quad \text{پایستگی انرژی:}$$

$$P_u + P_b = P_d + P_t \quad \text{پایستگی تکانه:}$$

علاوه بر این تکانه ذرات ورودی با هم و تکانه خروجی‌ها نیز باهم مساوی است. در این چار چوب سطح مقطع دیفرانسیلی بصورت زیر تعریف می‌شود:

$$\left(\frac{d\sigma}{d\Omega}\right)_{com} = \frac{1}{64\pi^2 s} \frac{p'}{p} |M|^2 \quad (۳)$$

با توجه به شرایط ذکر شده و پس از جایگذاری‌های لازم برحسب متغیرهای ناوردای مندل استام، سطح مقطع بصورت زیر حاصل می‌شود:

$$\frac{d\hat{\sigma}}{d\hat{t}} = \frac{\pi}{4} \frac{\alpha^2}{\sin^4\theta_w} \frac{(\hat{s} - m_t^2)}{(\hat{s} - m_b^2)(\hat{t} - M_w^2)^2} \quad (۴)$$

با انتگرال‌گیری از این رابطه در بازه‌ی معین، سطح مقطع به ازای دو پارتون ورودی i و j بصورت زیر بدست می‌آید:

$$\hat{\sigma}_{ij(s)}^{total} = 0.389 \times 10^9 \times \frac{\pi}{4} \frac{\alpha^2}{\sin^4\theta_w} \frac{(x_i x_j s) - m_t^2}{(x_i x_j s) - m_b^2} \left(\frac{1}{M_w^2} - \frac{1}{(x_i x_j s)(1 - \frac{m_b^2}{(x_i x_j s)})(1 - \frac{m_t^2}{(x_i x_j s)}) + M_w^2} \right) \quad (۵)$$

و سطح مقطع کل پارتون-پارتون از تمام ترکیبات پارتون‌های ورودی، منجر به سطح مقطع کل پروتونی بصورت زیر می‌شود:

$$\sigma = \iint \sum_i \sum_j \hat{\sigma}_{ij} f_i(x_i, Q_1^2, i) f_j(x_j, Q_2^2, j) dx_i dx_j \quad (۶)$$

در این رابطه f_i و f_j ها که توابع توزیع پارتونی یا parton distribution function هستند و به اختصار PDF نامیده می‌شوند، برای مثال، احتمال شرکت پارتون i با کسر تکانه dx_i را در بر هم کنش می‌دهند. بنابراین رابطه فوق احتمال این که پارتون‌های i و j در فرآیند شرکت کنند را در سطح مقطع پارتونی مورد نظر آنها ضرب کرده و در نهایت روی پارتون‌های ممکن جمع می‌زند. این رابطه در محاسبه سطح مقطع تولید تک کوارک تاپ از کانال t ، برای دو انرژی ۷ و ۱۴ TeV منجر به مقادیر ارائه شده در جدول ۱ می‌شود. سطوح مقطع محاسبه شده با استفاده از نرم افزار LHAPDF برای انرژی‌های مرکز جرم ۷ و ۱۴ TeV به ترتیب زیر هستند:

$$\begin{aligned} \sqrt{s} = 7 \text{ TeV} &\rightarrow 65.568552 \text{ pb} \\ \sqrt{s} = 14 \text{ TeV} &\rightarrow 255.6591 \text{ pb} \end{aligned}$$

نتیجه گیری

مقادیر فوق که در توافق خوبی با نتایج LHC برای انرژی ۷ TeV (مقدار بدست آمده از ترکیب تحلیل‌های چند متغیره $67/2 \text{ pb}$) و برای انرژی ۱۴ TeV (مقدار محاسبه شده 245 pb) است به ثابت جفت شدگی α ، عدم قطعیت در جرم کوارک‌ها و نوع PDF بکار رفته وابسته است. از آنجا که LHC هم اکنون با انرژی حد اکثر ۸ TeV فعالیت می‌کند پیش بینی می‌شود اگر در آینده به انرژی‌های بالا تا حد ۱۴ TeV دست یابد، مقدار سطح مقطع تولید تک کوارک تاپ از راه برهم کنش الکتروضعیف در کانال t محاسبه شده برای برخورد پر انرژی پروتون-پروتون در این مقاله را مشاهده و اندازه‌گیری خواهد نمود.

جدول ۱: سطوح مقطع محاسبه شده برای نمودارهای موثر در تولید تک کوارک تاپ از کانال t با استفاده از برنامه LHAPDF

	Initial state	Cross section (pb)
$\sqrt{s} = 14$ TeV	u,b	۵۴/۸۵۰۸
	d,bbar	۲۹/۸۵۱۲
	c,b	۴/۵۲۷۴
	s,bbar	۷/۵۳۶۲
	dbar,b	۱۰/۲۳۵۴
	ubar,bbar	۸/۷۶۴۸۵
	sbar,b	۷/۵۳۶۲۵
	cbar,bbar	۴/۵۲۷۴
	$\sqrt{s} = \nu$ TeV	u,b
d,bbar		۸/۰۵۴۴۱
c,b		۰/۸۳۸۳۲۸
s,bbar		۱/۴۸۲۳۴
dbar,b		۲/۱۸۷۹۳
ubar,bbar		۱/۸۲۳۸
sbar,b		۱/۴۸۲۳۴
bar,bbar		۰/۸۳۸۳۲۸

سپاسگزاری

در پایان از استاد ارجمند جناب آقای دکتر مجید هاشمی برای راهنمایی در نگارش این مقاله صمیمانه سپاسگزارم.

مرجع‌ها

۱. T. Stelzer, Z. Sullivan, S. Willenbrock, Phys. Rev. **D56**, 5919, (1997).
۲. M. Beneke, I. Efthymiopoulos, M. L. Mangano, J. Womersley. arXiv: hep-ph/0003033, (2000).
۳. Scott S. D. Willenbrock and Duane A. Dicus, Phys. Rev. **D34**, 155, (1986).