Downloaded from ijpr.iut.ac.ir at 10:10 IRST on Saturday February 24th 2018

مجلهٔ پژوهش فیزیک ایران، جلد ۱۷، شمارهٔ ۵، زمستان ۱۳۹۶

تولید کوارک تاپ منفرد به عنوان قیدی برای بوزون W'

سعید پاک‌طینت مهدی‌آبادی

۱. پژوهشکدهٔ ذرات و شتابگرها، پژوهشگاه دانش‌های بنیادی، تهران

پست الکترونیکی: paktinat@ipm.ir

(دریافت مقاله: ۱۳۹۵/۱۲/۲۱ ؛ دریافت نسخهٔ نهایی: ۱۳۹۶/۰۲/۲۵)

چکیده

وجود بوزون باردار جدید، W'، می‌تواند سطح مقطع تولید کوارک تاپ منفرد را تغییر دهد. در این مقاله، داده‌های مختلف آزمایش‌های CMS و ATLAS مورد استفاده قرار گرفته‌اند تا وجود این ذره مقید شود. با فرض اینکه W' فقط چپگرد یا راستگرد باشد، حد پایین جرم می‌تواند تا حدود ۱۹۰۰ GeV در شرایط خاص بالا برود.

واژه‌های کلیدی: کوارک تاپ، بوزون W'، فیزیک LHC

۱. مقدمه

وجود یک بوزون پیمانه ای باردار جدید که به اسم W' شناخته می‌شود در بسیاری از نظریه‌های ورای مدل استاندارد ذرات بنیادی پیش‌بینی شده است. برانگیختگی‌های کلاوزا- کلاین بوزون W که در مدل‌های ابعاد اضافی مطرح می‌شوند یکی از مثال‌های معروف این مدل‌ها می‌باشد [۱]. در این مقاله، مدل خاصی به عنوان منشأ معرفی این ذره فرض نمی‌شود و تا حد امکان مسئله به صورت کلی بررسی می‌شود.

لاگرانژی این مدل به صورت زیر تعریف می‌شود [۲ و ۳]:

$$L = \frac{V'_{ij} g_w}{2\sqrt{2}} \bar{f}_i \gamma_\mu (a^R_{i,j}(1+\gamma^5) + a^L_{i,j}(1-\gamma^5)) W'^{\mu} f_j + h.c, \quad (1)$$

که در آن V'_{ij} یک ماتریس ۳x۳ یکانی برای لپتون‌ها یا ماتریس CKM برای کوارک‌ها، g_w ثابت جفت شدگی برهم‌کنش ضعیف، $a^R_{i,j}$ $(a^L_{i,j})$ ضریب جفت شدگی به فرمیون‌های راستگرد (چپگرد) می‌باشد.

جستجوهای مختلفی برای مشاهدهٔ اثرات وجود این ذره انجام شده است که همه ناکام بوده و فقط توانسته‌اند حد پایین مجاز برای جرم این ذره را افزایش دهند. یکی از بهترین نتایجی که تاکنون به دست آمده مربوط به آزمایش ATLAS می‌باشد که با استفاده از داده‌های سال ۲۰۱۵ که مربوط به انرژی مرکز جرم ۱۳ TeV می‌باشد به دست آمده است [۴]. در این جستجو $a^R_{i,j}$ صفر و $a^L_{i,j}$ یک فرض شده است و توزیع جرم عرضی یک لپتون که به همراه یک نوترینو از تلاشی W' به وجود آمده است متغیر جستجو می‌باشد. این جستجو W' سبک‌تر از ۴/۷۴ TeV را با ۹۵٪ حد اعتماد (Confidence Level) رد کرده

Archive of SID

www.SID.ir

Downloaded from ijpr.iut.ac.ir at 10:10 IRST on Saturday February 24th 2018

جدول ۱. داده‌های به کار رفته در این مطالعه جمع مربعی خطاهای آماری و سیستماتیک به عنوان خطای کل گزارش شده است. خطای مقیاس انرژی جت‌ها مهم‌ترین خطای سیستماتیک این اعداد می‌باشد.

انرژی مرکز جرم	۷ TeV	۸ TeV		
نوع داده‌ها	$CMS\mu$	$CMS\mu$	CMS electron	ATLAS
تاپ منفرد کانال s	۱۲۹±۵	۴۵۲±۱۶	۳۴۷±۱۲	۵۴۰±۱۶۰
رویدادهای زمینه	۱۹۲۰±۱۱۰	۷۰۶۰±۳۷۰	۶۲۴۰±۳۲۰	۱۴۶۷۰±۱۸۰
داده مشاهده شده	۱۸۸۳	۷۰۲۳	۶۳۰۱	۱۴۶۷۷

است. اگر W' را کاملاً راستگرد ($a^R_{i,j}$ یک و $a^L_{i,j}$ صفر) فرض کنیم تلاشی به لپتون‌ها صفر می‌شود و فقط تلاشی به کوارک‌ها مجاز است. مطالعهٔ تلاشی به کوارک‌های سبک به علت زمینهٔ شدید ناشی از رویدادهای چند جتی خیلی سخت است ولی اگر جرم W' از حدود ۱۸۰ GeV بیشتر باشد تلاشی به کوارک‌های تاپ و باتم مجاز می‌شود که می‌تواند حالت نهایی تمیز پذیری ایجاد کند. با استفاده از این حالت نهایی بهترین نتیجه توسط آزمایش CMS گزارش شده است. این آزمایش با استفاده از داده‌های ۱۳ TeV جرم‌های کمتر از ۲/۳۸ TeV را رد کرده است [۵]. همین آزمایش با استفاده از داده‌های ۸ TeV جرم‌های کمتر از ۲/۰۵ TeV را قبلاً رد کرده بود [۶]. این حالت نهایی شبیه حالت نهایی تولید کوارک تاپ منفرد در کانال s می‌باشد. جایی که W با چهار برداری که با جرم آن ناسازگار است تکانه را منتقل می‌کند و یک کوارک تاپ به همراه کوارک باتم به وجود می آورد. اگر W' وجود داشته باشد می‌تواند در این رویداد مشارکت کند و سطح مقطع تولید را تغییر دهد، بنابراین اندازه‌گیری سطح مقطع تولید کوارک تاپ منفرد در کانال s می‌تواند حضور W' را مقید کند. مشارکت W' در تولید کوارک تاپ منفرد در مقالات دیگری نیز بحث شده است [۷ – ۱۰] ولی در این مقاله برای اولین بار از سطح مقطع اندازه‌گیری شده کوارک تاپ منفرد، برای مقید کردن W' استفاده شده است. در مرجع شماره [۷] نشان داده شده است که فقط W' چپگرد می‌تواند با W در تولید کوارک تاپ تداخل داشته باشد ولی این اثر نیز به علت کوچک بودن در این گزارش در نظر گرفته نشده است و کانال‌های تولید مختلف مستقل از هم در نظر گرفته شده اند.

دقیق‌ترین اندازه‌گیری سطح مقطع تولید کوارک تاپ منفرد در کانال s توسط آزمایش ATLAS گزارش شده است که مقدار آن $۴/۸\pm۰/۸(stat.)^{+۱/۶}_{-۱/۳}(syst.)pb$ برای انرژی مرکز جرم ۸ TeV می‌باشد [۱۱].

۲. تحلیل و نتایج

در این مطالعه تعداد رویدادهای سیگنال و زمینه که در اندازه‌گیری سطح مقطع تولید کوارک تاپ منفرد در کانال s گزارش شده اند استفاده می‌شود تا حد بالایی برای مشارکت W' به دست آید. داده‌های مورد استفاده در این مطالعه شامل:

CMS μ ۷ TeV: جستجوی تولید کوارک تاپ منفرد در کانال s در رویدادهای شامل یک میون در انرژی مرکز جرم ۷ TeV در آزمایش CMS [۱۲].

CMS μ ۸ TeV: همان مطالعه در انرژی مرکز جرم ۸ TeV

CMS electron ۸ TeV: همان مطالعه در رویدادهای شامل یک الکترون.

ATLAS ۸ TeV: جستجوی تولید کوارک تاپ منفرد در کانال s در رویدادهای شامل یک میون یا یک الکترون در انرژی مرکز جرم ۸ TeV در آزمایش ATLAS [۱۱].

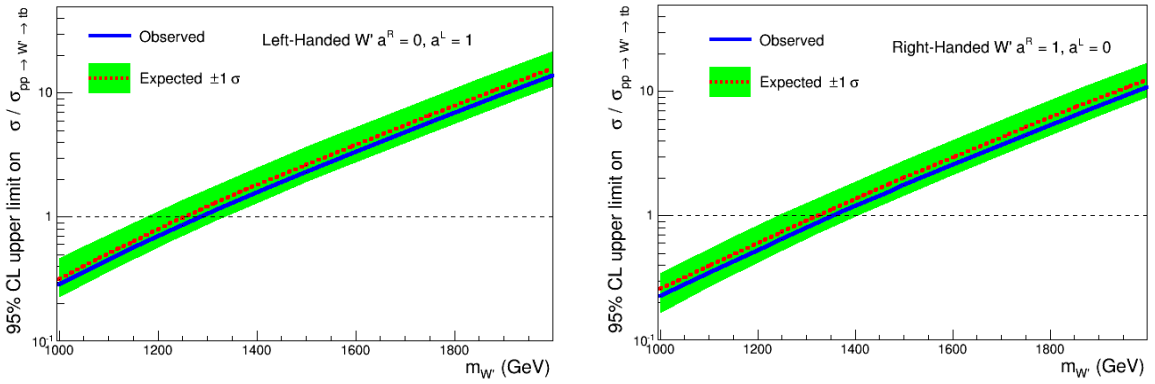
داده‌های به کار رفته در جدول ۱ نشان داده شده است. داده‌های دیگری نیز وجود دارد که می‌توان استفاده کرد ولی مطالعهٔ ما نشان می‌دهد که آنها نتایج را بهتر نمی‌کنند. داده‌های فهرست شده در بالا تنها داده‌هایی هستند که در نتایج نهایی مؤثرند و حذف هر یک از آنها نتیجهٔ نهایی را ضعیف‌تر می‌کند.

برای تحلیل آماری داده‌ها از برنامه‌های موجود در نرم‌افزار ROOT [۱۳] بهره برده‌ایم. در هر مجموعه داده، تعداد

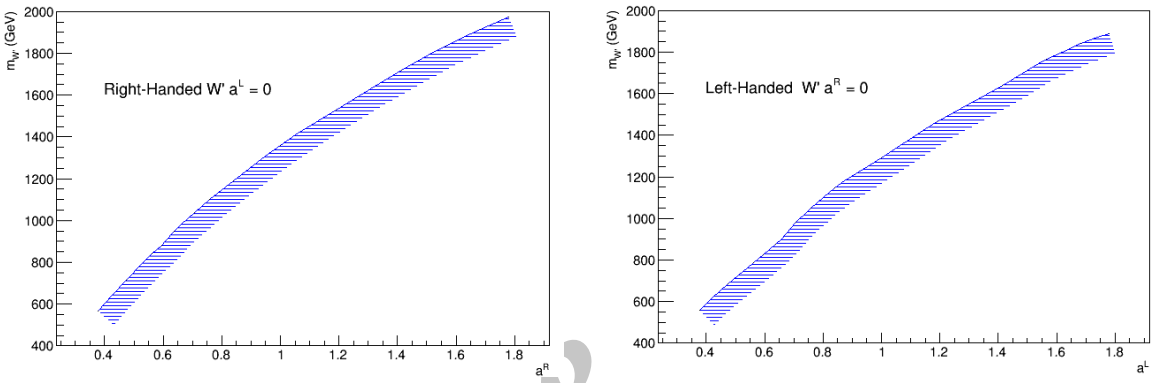
Archive of SID

www.SID.ir

Downloaded from ijpr.iut.ac.ir at 10:10 IRST on Saturday February 24th 2018



شکل ۱. (رنگی در نسخهٔ الکترونیکی) حدهای پیش‌بینی شده و مشاهده شده روی سطح مقطع تولید ′W و تلاشی آن به یک کوارک تاپ و یک کوارک باتم.



شکل۲. (رنگی در نسخهٔ الکترونیکی) ناحیه رد شده در صفحه جرم بر حسب ضریب جفت شدگی نیمه سمت راست- پایین در هر دو شکل رد شده است.

رویدادهای زمینه و دادهٔ مشاهده شده و خطاهای آنها موجود است و می‌توان با تحلیل آماری حد بالای تعداد رویدادهای ناشی از فیزیک جدید را به دست آورد. ترکیب آماری همه داده‌ها این حد بالا را خیلی محدودتر می‌کند. بازدهی بازسازی و انتخاب رویدادهای ناشی از مشارکت ′W با بازدهی رویدادهای تولید کوارک تاپ منفرد مدل استاندارد یکسان فرض شده است. سطح مقطع ناشی از مشارکت ′W تا مرتبهٔ NLO در محاسبات QCD در مرجع [۳] گزارش شده است. خطای نسبی روی تعداد رویدادهای ناشی از ′W ۳۰٪ فرض شده، که البته مقداری بدبینانه است و معمولاً خطای نسبی کمتر از این مقدار است. شکل ۱ حد بالای مشارکت ′W در تولید کوارک تاپ منفرد را در ۹۵٪ حد اعتماد بر حسب جرم این ذره برای دو حالت کاملاً راستگرد و کاملاً چپگرد نشان می‌دهد. در شکل ۱ (چپ) که مربوط به حالت کاملاً چپگرد می‌باشد، می‌توان مشاهده کرد که ′W با جرم کمتر از ۱۲۹۰ GeV به وسیلهٔ داده‌های مشاهده شده رد می‌شود. مقدار پیش‌بینی شده برای این رد کردن ۱۲۵۵ GeV می‌باشد ولی به علت کمتر بودن دادهٔ مشاهده شده نسبت به پیش‌بینی مدل استاندارد در حالت مشاهده حد قوی‌تری به دست آمده است. در شکل ۱ (راست) ′W راستگرد با جرم کمتر از ۱۳۲۵ GeV (۱۳۶۰ GeV) در حالت پیش‌بینی شده (مشاهده شده) رد می‌شود.

یک امکان دیگر آن است که $a^R_{i,j}$ $(a^L_{i,j})$، ضریب جفت شدگی به فرمیون‌های راستگرد (چپگرد)، مقادیری غیر از یک و صفر داشته باشند. در این قسمت باز ′W را کاملاً راستگرد یا کاملاً چپگرد فرض می‌کنیم ولی ضریب جفت شدگی غیر صفر را بین ۰/۴ و ۱/۸ تغییر می‌دهیم و حد بالای سطح مقطع را که معادل حد پایین جرم است به دست می آوریم. شکل ۲ نتیجه این مطالعه را نشان می‌دهد. همان گونه که توقع می‌رود، افزایش

Archive

www.SID.ir

Downloaded from ijpr.iut.ac.ir at 10:10 IRST on Saturday February 24th 2018

ضریب جفت شدگی باعث افزایش حد پایین جرم W' می‌شود و کاهش آن نتیجهٔ معکوس می‌دهد.

حدود به دست آمده در این مطالعه به شدت حدود جستجوهای مستقیم نیستند ولی سادگی روش و عدم نیاز به مطالعهٔ جزییات می‌تواند نقطهٔ قدرتی برای این روش باشد و می‌توان این روش را برای مدل‌های تازهٔ پیشنهاد شده به کار برد و آنها را محدود کرد. نتایج این مطالعه بایستی با حد بالای ۲٫۰۵ TeV که آزمایش CMS در داده‌های مشابه در انرژی مرکز جرم ۸ TeV به دست آورده مقایسه شود.

۳. خلاصه

در این مقاله داده‌های مورد استفاده در اندازه‌گیری سطح مقطع تولید کوارک تاپ منفرد کانال s برای مقید کردن مشارکت W' در این رویدادها و یافتن حد پایین جرم این ذره به کار رفته است. داده‌های مختلفی که از آزمایش‌های CMS و ATLAS گزارش شده‌اند، به طور آماری با هم ترکیب شده‌اند. با فرض اینکه W' فقط چپگرد یا راستگرد باشد و مقدار ضریب جفت شدگی صفر یا یک باشد، جرم‌های کمتر از ۱۳۶۰ GeV (۱۲۹۰) برای حالت راستگرد (چپگرد) رد شده‌اند. اگر ضریب جفت شدگی تا مقدار ۱٫۸ افزایش یابد، حد پایین جرم می‌تواند تا حدود ۱۹۰۰ GeV در شرایط خاص بالا برود.

سپاس‌گزاری

نویسنده وظیفه خود می‌داند از حمایت‌های پژوهشگاه دانش‌های بنیادی و دانشکدهٔ فیزیک دانشگاه یزد کمال تشکر را داشته باشد.

مراجع

1. G Burdman, B A Dobrescu and E Ponton, *Phys. Rev*. D **74** (2006) 075008.
2. Z Sullivan, *Phys. Rev*. D **66** (2002) 075011.
3. D Duffty and Z Sullivan, *Phys. Rev*. D **86** (2012) 075018.
4. ATLAS collaboration, G Aad *et al*., *Search for new resonances decaying to a charged lepton and a neutrino in pp collisions at sqrt(s) = 13 TeV with the ATLAS detector*, CERN, ATLAS-CONF (2016) 061.
5. CMS collaboration, C Collaboration, *Search for W′ boson resonances decaying into a topquark and a bottom quark in the leptonic final state at sqrt(s) = 13 TeV*, CERN, CMS-PAS-B2G-15-004.
6. CMS collaboration, S Chatrchyan *et al*., *JHEP* 05 (2014) 108.
7. E Boos, V Bunichev, L Dudko and M Perfilov, *Phys. Lett*. B **655** (2007) 245.
8. E Drueke, J Nutter, R Schwienhorst, N Vignaroli, D G E Walker and J H Yu, *Phys. Rev*. D **91** (2015) 054020.
9. T M P Tait and C P Yuan, *Phys. Rev*. D **63** (2000) 014018.
10. S Yaser Ayazi and M Mohammadi Najafabadi, *J. Phys*. G **38** (2011) 085002.
11. ATLAS collaboration, G Aad *et al*., *Phys. Lett*. B **756** (2016) 228.
12. CMS collaboration, V Khachatryan *et al*., *JHEP* **09** (2016) 027.
13. R Brun and F Rademakers, *Nucl. Instrum. Meth*. A **389** (1997) 81.

Archive of SID

www.SID.ir