

مقاله نامه بیست و دومین کنفرانس بهاره فیزیک (۳۱-۳۰ اردیبهشت ۱۳۹۴)

بررسی نرخ واپاشی بوزون هیگز در مدل استاندارد و بوزون هیگز باردار در فرای مدل استاندارد

پرستونباجیان^۱، فاطمه اربابی فر^۲

^۱گروه فیزیک، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکزی، تهران

^۲گروه فیزیک، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال، تهران

چکیده

در این مقاله نرخ واپاشی بوزون هیگز در کانالهای متنوع مورد مطالعه قرار می گیرد. سپس به طور خاص به بررسی و محاسبه نرخ واپاشی هیگز مدل استاندارد و هیگز باردار فرای مدل استاندارد در کانالهای مختلف واپاشی در تقریب NLO پرداخته و مدهای غالب واپاشی را شناسایی می کنیم. در نهایت نیز نمودارهای نرخ واپاشی کل بوزون هیگز در این دو مدل را ارائه و مقایسه خواهیم کرد.

آشکار شدن یک مکانیزم فیزیکی دقیق که بتواند تقارنهای الکتروضعیف را بشکند، یکی از مسائل کلیدی در فیزیک ذرات بوده و هست. در مدل استاندارد مکانیزم اساسی برای تولید جرم، شکست ناگهانی تقارن است که به مکانیزم هیگز معروف است [۱]. بعد از شکست تقارن، طیف ذره هیگز، شامل یک پنج گانه از حالت هاست: دو ذره خنثی و اسکالر CP زوج (h, H) ، یک ذره خنثی شبه اسکالر CP فرد (A) ، و یک زوج ذره از بوزون های هیگز باردار (H^\pm) . بوزون H که بدون بار و با اسپین صفر است، هیگز مدل استاندارد نامیده می شود. جرم بوزون هیگز، تنها پارامتر ناشناخته در بخش شکست تقارن در مدل استاندارد بوده که البته در ۴ ژوئن ۲۰۱۲ یک برآورد اولیه از جرم بوزون هیگز توسط گروه های آزمایشی $ATLAS$ و CMS اعلام شد [۲]. با این حال، حتی اگر نتوان جرم بوزون هیگز را در مدل استاندارد پیش بینی کرد، مرزهای دقیق بالا و پایین هنوز هم از شرایط سازگاری درونی و برون یابی های مدل در انرژی های بالا، می تواند استخراج شود [۳].

واپاشی هیگز

برای ذرات هیگز در محدوده جرم متوسط $O(M_Z) \leq M_H \leq 2M_Z$ ، مهمترین مدهای واپاشی، واپاشی به زوج های $b\bar{b}$ و زوج های W, Z هستند، که در این حالت یکی از بوزون های پیمانه ای زیر آستانه جرم مربوطه قرار گرفته و مجازی می شود. در محدوده انرژی بالای آستانه تولید زوج های W, Z ، ذرات هیگز تقریباً به همین دو مد واپاشی می شوند و ممکن است در نزدیک انرژی آستانه $t\bar{t}$ یک ترکیب کوچک از آن نیز وجود داشته باشد. در انرژی های کمتر از ۱۴۰ گیگا الکترون ولت واپاشی به مدهای $gg, c\bar{c}, \tau^+\tau^-$ در کنار واپاشی غالب به $b\bar{b}$ مهم می شود [۳].

پهنای نسبی واپاشی هیگز به زوج فرمیونی (لپتونی یا کوارکی) به صورت

$$\Gamma(H \rightarrow f\bar{f}) = N_c \frac{G_F}{4\sqrt{2}\pi} m_f^2 (M_H^2) M_H \quad (1)$$

مقاله نامه بیست و دومین کنفرانس بهاره فیزیک (۳۱-۳۰ اردیبهشت ۱۳۹۴)

نمایش داده می‌شود که در این رابطه $\mathcal{N}_c = 1$ یا ۳ ضریب رنگ و G_F جفت شدگی فرمی، M_H جرم بوزون هیگز و m_f جرم فرمیون است، پهنای فرمیونی به صورت خطی با جرم هیگز رشد می‌کند.

پهنای نسبی واپاشی های هیگز به زوج های بوزونی WW و ZZ برابر است با

$$\Gamma(H \rightarrow VV) = \partial_V \frac{G_F}{16\sqrt{2}\pi} M_H^3 (1 - 4x + 12x^2) \beta_V \quad (2)$$

که در آن، $x = \frac{M_V^2}{M_H^2}$ و δ_V برای Z برابر ۱ و برای W برابر ۲ است، سایر پارامترها در مرجع [۳] معرفی شده است. در انرژی‌های کمتر از انرژی آستانه برای تولید دو بوزون حقیقی، یکی از بوزون های برداری مجازی شده و ذره هیگز به زوج VV^* واپاشی می‌کند که در این حالت داریم

$$\Gamma(H \rightarrow VV^*) = \frac{3G_F^2 M_V^4}{16\pi^3} M_H \mathcal{R}(x) \delta_V \quad (3)$$

پارامترهای $\mathcal{R}(x)$ و δ_V در مرجع [۳] معرفی شده اند. مدهای واپاشی های هیگز به زوج های gg و $\gamma\gamma$ که در انرژی‌های کمتر از انرژی آستانه W و t قرار می‌گیرند از این قرارند

$$\Gamma(H \rightarrow gg) = \frac{G_F \alpha_s^2 (M_H^2)}{36\sqrt{2}\pi^3} M_H^3 \left[1 + \left(\frac{95}{4} - \frac{7N_F}{6} \right) \frac{\alpha_s}{\pi} \right] \quad \Gamma(H \rightarrow \gamma\gamma) = \frac{G_F \alpha^2}{128\sqrt{2}\pi^3} M_H^3 \left[\frac{4}{3} \mathcal{N}_c e_t^2 - 7 \right]^2 \quad (4)$$

که α_s ضریب جفت شدگی قوی و N_F ضریب طعم است و سایر پارامترها در مرجع [۳] معرفی شده است. با افزودن همه پهنای نسبی مدهای واپاشی ممکن برای بوزون هیگز، می‌توان عرض کل نرخ واپاشی آن را به دست آورد [۳]. مدل MSSM (بسط کمینه ابر تقارنی مدل استاندارد) Minimal Supersymmetric extension of the Standard Model یکی از چندین مدل تعمیم یافته برای مدل استاندارد است که توانایی حل برخی از مشکلات مدل استاندارد را از قبیل مشکل هایرایکی، عدم تقارن ماده و ضد ماده و انرژی تاریک را دارد. یکی از نشانه‌ها برای تایید این مدل مشاهده بوزون های هیگز باردار است. بنابراین پژوهش های وسیعی برای آشکارسازی این ذره در سال های اخیر در آزمایشگاه های LEP، TEVATRON و LHC(CERN) انجام گرفته است. فضای پارامتری در مدل کمینه ابر تقارنی مدل استاندارد معمولاً بر حسب دو پارامتر بیان می‌شود: جرم هیگز باردار و $\tan\beta$ که نسبت مقادیر چشم داشتی خلا است به دو میدان هیگز دوگانه در مدل کمینه ابر تقارنی مدل استاندارد. پژوهش های انجام شده پیرامون جرم ذره هیگز باردار در مدل کمینه ابر تقارنی مدل استاندارد توسط LEP II نشان دهنده این است که جرم هیگز باردار کوچک تر از 125 GeV نیست [8]. اگر بوزون هیگز باردار به اندازه کافی سبک باشد، می‌توان آن را تولید کرد زیرا محصول واپاشی کوارک بالا و بوزون هیگز باردار می‌تواند به تاو و نوترینو واپاشی نماید. برای بوزون هیگز پایدار سنگین، کانال تولید اصلی برابر است با $b\bar{g} \rightarrow H^+ t^-$. در MSSM، جفت شدگی بین بوزون هیگز باردار و کوارک ها را می‌توان به صورت زیر نوشت:

$$g(H^- \rightarrow du) = \frac{g}{\sqrt{2}m_W} (m_d \tan\beta P_L + m_u \cot\beta P_R) \quad (5)$$

که در آن $P_{L/R} = (1 \mp \gamma_5)/2$ تصویرگر کایرالیت است. در اینجا $\tan\beta$ همان پارامتر مهم MSSM است که در بالا اشاره شد. اگر بوزون هیگز باردار سنگین تر از کوارک بالا باشد، می‌توان آن را عمدتاً به سه شیوه تولید نمود:

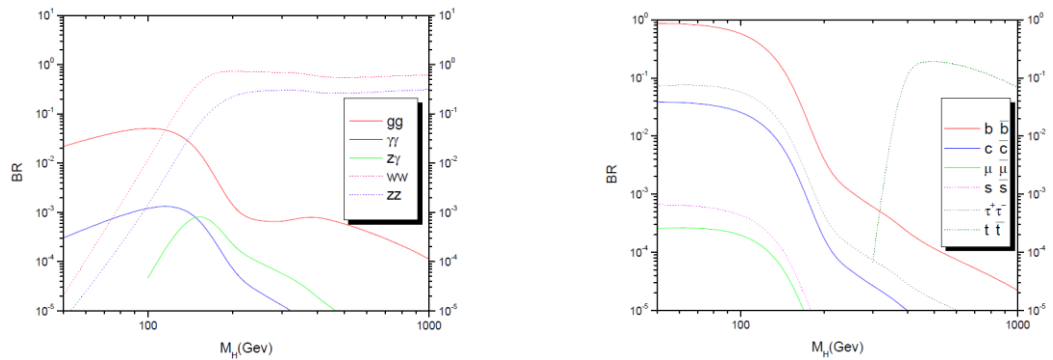
$$(1) \quad PP \rightarrow \gamma/Z \rightarrow H^+ H^- \quad (2) \quad gb \rightarrow tH^- (\bar{b}g \rightarrow \bar{t}H^+) \quad (3) \quad q\bar{q}' \rightarrow W \rightarrow AH^\pm / hH^\pm / HH^\pm$$

سریع تر از دو فرآیند دیگر کاهش می‌یابد [6].

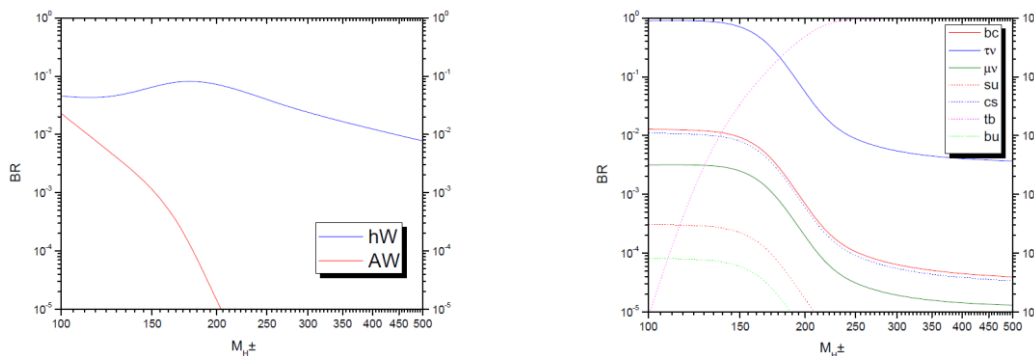
مقاله نامه بیست و دومین کنفرانس بهاره فیزیک (۳۱-۳۰ اردیبهشت ۱۳۹۴)

نتایج

با استفاده از روابط بخش قبل و اعمال آن در کد فرترن [7]، یازده نسبت واپاشی را برای هیگز مدل استاندارد در تقریب NLO بدست آوردیم که با تفکیک بر حسب دو دسته واپاشی به فرمیونها و بوزون های پیمانه ای در نمودارهای شکل ۱ ارائه کردیم. که $\tan\beta$ را برابر با ۳ در نظر گرفتیم، همانطور که انتظار داشتیم بیشترین نسبت واپاشی در محدوده جرم کمتر از 140 GeV مربوط به واپاشی به زوج های $b\bar{b}$ هستند. به عنوان مثال برای جرم 120 GeV نسبت واپاشی برای $b\bar{b}$ حدود ۷۰٪ و برای gg حدود ۷٪ است. برای جرم های بیشتر از 140 GeV مد غالب مربوط به WW, ZZ است. همچنین نسبت های واپاشی برای ۹ کانال مختلف را برای هیگز باردار محاسبه کردیم که در نمودارهای شکل ۲ ارائه شده اند. مشاهده می کنیم که بیشترین نرخ واپاشی برای جرم های بیشتر از 180 GeV مربوط به کانالهای واپاشی tb و برای جرمهای کمتر مربوط به $\tau\nu$ است. در شکل ۳ نرخ واپاشی کل بوزون هیگز در مدل استاندارد با نرخ واپاشی کل بوزون هیگز باردار در فرای مدل استاندارد با هم مقایسه شده اند. مشاهده می کنیم که نرخ واپاشی کل بوزون هیگز مدل استاندارد همواره بیشتر از نرخ واپاشی کل بوزون هیگز باردار فرای مدل استاندارد است و در نتیجه احتمال مشاهده محصولات واپاشی هیگز مدل استاندارد بیشتر می شود.

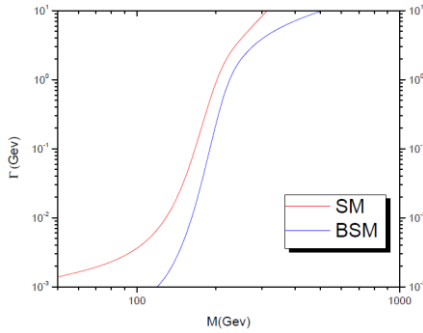


شکل ۱: نمودار نسبت واپاشی برای کانال های مختلف بوزون هیگز مدل استاندارد.



شکل ۲: نمودار نسبت واپاشی برای کانال های مختلف بوزون هیگز باردار در فرای مدل استاندارد.

مقاله نامه بیست و دومین کنفرانس بهاره فیزیک (۳۱-۳۰ اردیبهشت ۱۳۹۴)



شکل ۳: نمودار نرخ واپاشی کل برای بوزون هیگز مدل استاندارد و بوزون هیگز باردار فرای مدل استاندارد

مرجع ها

۱. David McMahon, "Quantum Field Theory Demystified"; Inc. (2008).
۲. G.Aad , et al. [ATLAS Collaboration] و *Phys.Lett. B* **716**, 1 (2012) [arXiv:1207.7214 [hep-ex]].
۳. M. Gomez-Bock, et al. arXiv:0712.2419 [hep-ph] (2007).
۴. M. Spira, A. Djouadi, D. Graudentz and P.M. Zerwas, *Nucl .Phys.* **B 453**:17-82 (1995).
۵. M. Spira, arXiv:9510347v1 [hep-ph] (1995).
۶. Shou-hua Zhu, arXiv:1410.4310v1 [hep-ph] (2014).
۷. A. Djouadi, J. Kalinowski and M. Spira, arXiv:hep-ph/9704448v1 (1997).
۸. مجید هاشمی، سید محمد زیرجد، حسین بخشعلی زاده، "سطح مقطع ذره هیگز باردار سنگین در فرایند تولید تک کوارک تاپ کانال S در LHC"