بررسی مکانیسم واپاشی دو بتایی بدون نوترینو $0\nu\beta\beta$ توسط تشدید S-الکترون تولید شده در LHC

حسین رشیدی، هادی گودرزی، رسول خدابخش

دانشگاه ارومیه، دانشکده علوم، گروه فیزیک

چکیده

در این مقاله امکان مشاهده تشدید تولید شده از ذرات باردار، پس از واپاشی به یک جفت دی-الکترون به همراه دو جت در LHC مورد بررسی قرار گرفته است. همچنین مکانیسم واپاشی دو بتایی بدون نوترینو ، در مقیاس جرمی Tev در نظر گرفته شده است. در واپاشی دو بتایی بدون نوترینو، پایستگی کل عدد لپتونی نقض می شود و باید مدلی فراتر از مدل استاندارد استفاده شود.

مقدمه

واپاشی دو بتایی بدون نوترینو $0\nu\beta\beta$ یک فرآیند نادر هسته ای است که در آن واپاشی دو بتا به طور همزمان در یک هسته رخ می دهد[۱]. در این واپاشی عدد اتمی Z دو واحد تغییر می کند اما عدد جرمی A ثابت می ماند که به فرم زیر است:

$$(Z, A) \to (Z+2, A) + 2e^{-} \quad (۱)$$

در این واپاشی نوترینوها منتشر نمی شوند که به نقض پایستگی عدد لپتونی منجر می شود $\Delta l = 2$ که در مدل استاندارد مجاز نیست، اما در بعضی مدل های خارج از مدل استاندارد مجاز است. در هر حال، در صورتی واپاشی دو بتا بدون نوترینو رخ می دهدکه نوترینو یک ذره مایورانا (ذره مایورانا یعنی نوترینو،پاد ذره خودش باشد) باشد که در این صورت عدد لپتونی دیگر کمیت پایسته ای نیست[۲]. تئوری این واپاشی شامل دو قسمت است: اولا یک فرآیند هسته ای است که نیاز به محاسبات دقیق عناصر ماتریس هسته ای دارد و دوم یک مکانیسم خاص باید پیشنهاد شود که در آن نوترینوها انتشار نیابند. نیمه عمرواپاشی دو بتا بدون نوترینو به فرم زیر است:

$$\left(T^{0\nu}\right)^{-1} = G^{0\nu}\left|M^{0\nu}\right|^2\left|\frac{m_{\beta\beta}}{m_e}\right|^2 \quad (۲)$$

که در رابطه بالا $G^{0\nu}$ عامل فضای فاز، $M^{0\nu}$ عناصر ماتریس هسته ای و $m_{\beta\beta}$ جرم نوترینو مایورانا است که نشان دهنده برهمکنش های مدل غیر استاندارد است.

مکانسیم واپاشی $0\nu\beta\beta$ و مشاهده پذیر LHC

درک اصل واپاشی دو بتایی بدون نوترینو بسیار سخت است. در این مکانیسم دامنه گذار به طور مستقیم با $m_{\beta\beta}$ متناسب نیست. یک سوال پیش می آید که چگونه مکانیسم های مختلف را از هم تمییز دهیم چون تفاوت مکانیسم ها به دامنه واپاشی $0\nu\beta\beta$ با ساختار و جریان های متفاوتی از کوارک ها و لپتون ها مربوط می شود. نزدیک ترین ارتباط بین LHC و دامنه واپاشی $0\nu\beta\beta$ وقتی است که این دو فرآیند به پارامترهای یکسانی وابسته باشند. در حقیقت برای

تراز یک پاراتون، نمودار فاینمن $0\nu\beta\beta$ می تواند دو تا چهار فرایند پراکندگی در یک رژیم سینماتیکی متفاوت داشته که به یک علامت یکسان دی-الکترون و دو حالت پایانی منجر می شود. به هر حال، برای بیشتر مکانیسم های این واپاشی، پارامترها محدود شده و ترادیسی دامنه قابل صرفنظر است.

تشدید S-الکترون تولید شده در نقض عدد لپتونی SUSUY

در نقض عدد لپتونی مدل SUSY، ابرپتانسیل به صورت زیر است[٤]:

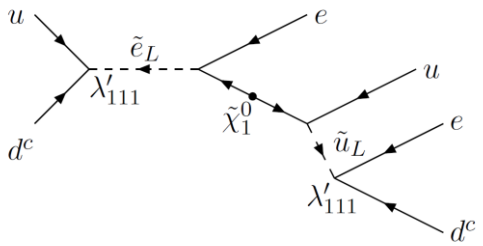
$$W = \lambda'_{111}\hat{L}\hat{Q}\hat{D}^C \quad (٣)$$

می توان واپاشی دو بتایی و تشدید تولید شده از یک S-اکترون را در LHCاستنتاج کرد. لاگرانژین موثر برای واپاشی دو بتایی بدون نوترینو به فرم زیر است:

$$L^{eff,\Delta l=2}_{\lambda'_{111}}(x_i) = \frac{G_F^{\ 2}}{2} m_p^{-1}[\bar{e}(1+\gamma_5)e^c][\eta(J_{PS}J_{PS} - \frac{1}{4}J_T^{\mu\nu}J_{T_{\mu\nu}} + \eta' J_{PS}J_{PS}] \quad (٤)$$

$$\eta = a\frac{\lambda'^{\ 2}_{111}}{G_F^2}\frac{m_p}{\Lambda^5_{susy}}, \eta' = b\frac{\lambda'^{\ 2}_{111}}{G_F^2}\frac{m_p}{\Lambda^5_{susy}}$$

در عبارت بالا $J_T^{\mu\nu}$ تانسور جریان های کوارکی است. ضرایبaوb شامل جفت های پیمانه ای و ماتریس های دوران بوده و Λ_{susy} تقریب مقیاس جرمی ذرات تبادل شده است. مشاهده نشدن واپاشی دو بتایی بدون نوترینو به محدود شدن روی η, η' منجر می شود. یک نمودار فاینمن تشدیدs-الکترون تولید شده در LHC،در شکل ١ نمایش داده شده است.



شکل١ : نمودار فاینمن تشدیدs-الکترون تولید شده در LHC. S-الکترون در یک نوترالینو واپاشی می کند، که از طریق این واپاشی به صورت یک فرآیند سه جسمی با علامت یکسانی از دی-الکترون و دو جت رخ می دهد.

سطح مقطع کلی این فرآیند به فرم زیر است:

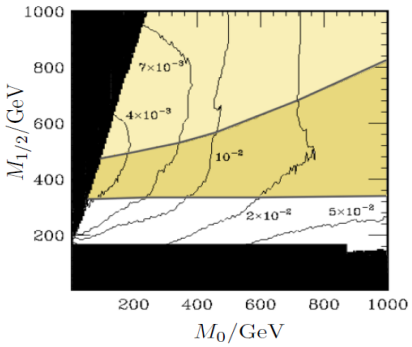
$$\hat{\sigma} = \frac{\pi}{12\hat{s}}\left|\lambda'_{111}\right|^2 \delta(1-\frac{m_e^2}{\hat{s}}) \quad (٥)$$

که اینجا $\hat{s}$ ، انرژی مرکز جرم پارتونی و $m_{\tilde{e}}$ جرمs-الکترون تشدیدی است. بنابر اثر تابع توزیع پارتون داریم

$$\sigma(pp \to \tilde{e}) \propto \frac{\left|\lambda'_{111}\right|^2}{m_e^3} \quad (٦)$$

که تقریب بسیار خوبی است. با ترکیب η, η' می توان در نظر گرفت که آزمایشات تحت محدودیت روی σ، به عنوان تابعی از مقیاس جرمsusy افزایش می یابد[٥]. فرض می کنیم که 5σ مشاهده پذیر از تکs-الکترون در

LHC در $14Tev$ با $10\,fb^{-1}$تولید شود در این صورت می توان نیمه عمر واپاشی دو بتایی بدون نوترینو را پیش بینی کرد. این پیش بینی در شکل۲ نشان داده شده است.



شکل۲: پیش بینی نیمه عمر $T_{1/2}^{0\nu\beta\beta}$برای^{76}Ge،با 5σمشاهده از تشدیدs-الکترون تولید شده در 14Tev LHC با $10\,fb^{-1}$به عنوان یک تابعی از $M_0, M_{1/2}$

نتیجه گیری

بنابراین مشاهده می شود که در مدل سادهSUSY ارائه شده به مقدار زیادی از فضای پارامترهای واپاشی دو بتایی بدون نوترینو اجازه داده شده که حاکی از مشاهده تشدید تک S-الکترون تولید شده درLHC باشد. علاوه بر این اگر سری بعدی از آزمایشات مشاهده واپاشی دو بتایی بدون نوترینو انجام شود، LHC یک شانس خوبی را برای مشاهده تک S-الکترون تولید شده فقط با $10\,fb^{-1}$دارد. همچنین در واپاشی دو بتایی بدون نوترینو، پایستگی کل عدد لپتونی نقض شده و باید از مدلی فراتر از مدل استاندارد استفاده شود.

مرجع‌ها

1. F. T. Avignone, S. R. Elliott, J. Engel, Rev. Mod. Phys.80, 481 (2008).
2. E. Majorana. NuovoCim., 14:171, 1937.
3. F.Šimkovic, A.Faessler, V.Rodin, P.Vogel, Phys. Rev.C 77 (2008)045503.
4. B. Allanach, C. Kom, and H. P¨as, Phys.Rev.Lett. 103.
5. Dreiner, Herbi, Peter Richardson, and Mike Seymour. "Resonant slepton production in hadron-hadron collisions." Physical Review D 63.5 (2001): 055008.
6. Petcov, Serguey T., Hiroaki Sugiyama, and Yasutaka, Phys. Rev. D 80 (2009)015005.