



Quá trình rã $h \rightarrow Z\gamma$ trong mô hình inter Zee

Trịnh Thị Hồng^{a*}, Trương Tín Thành^a, Lê Thọ Huệ^b, Nguyễn Thủy Nga^c

^aĐại học An Giang

^bViện Vật lý, Viện Khoa học và Công nghệ Việt Nam

^cTrường Đại học Tân Trào

*Email: tthong@agu.edu.vn

Thông tin bài viết

Ngày nhận bài:

26/02/2019

Ngày duyệt đăng:

10/3/2019

Từ khóa:

Rã Higgs; Bỏ đỉnh bậc 1 vòng; Inter Zee.

Tóm tắt

Bằng cách thêm vào các phổ hạt mới của các lepton, mô hình inter Zee được giới thiệu gần đây đã giải thích tốt các dữ liệu thực nghiệm về khối lượng neutrino và vật chất tối. Chúng tôi sẽ chỉ ra rằng mô hình này hứa hẹn dự đoán các tín hiệu mới của Higgs boson, rã $h \rightarrow Z\gamma$ mà đã bị chặn trong các mô hình trước. Đóng góp bậc một vòng sẽ được tính trong chuẩn unitary. Dựa trên số liệu quan sát thực nghiệm, chúng tôi tìm tỷ lệ rã nhánh của quá trình rã $h \rightarrow Z\gamma$. Giá trị bề rộng rã nhánh thu được có thể nằm trong khoảng giá trị mong đợi, các vùng không gian tham số phù hợp thỏa mãn dữ liệu thực nghiệm cũng sẽ được chỉ ra.

1. Giới thiệu

Hạt vô hướng Higgs được coi là mảnh ghép cuối cùng và đóng vai trò rất quan trọng trong mô hình chuẩn (Standard Model-SM). Nó được đưa ra nhằm sinh khối lượng cho các hạt cơ bản thông qua cơ chế Higgs. Năm 2012 thực nghiệm đã khẳng định sự tồn tại của hạt Higgs này với khối lượng cỡ 125 GeV [1]. Đây lại là một thành công nữa của lý thuyết SM. Tuy nhiên, mô hình này không thể giải thích được một số kết quả thực nghiệm được công bố gần đây [1, 4]. Vì vậy SM cần được mở rộng thành các mô hình mới (Beyond the SM-BSM) để có thể giải thích được các vấn đề thực nghiệm nói trên. Trong số đó, một lớp các mô hình đơn giản được xây dựng nhằm giải thích hợp lý hai vấn đề lớn: sự sinh khối lượng Majorana - dao động của neutrino thông qua cơ chế bỏ đỉnh bậc một vòng và vật chất tối mới được giới thiệu gần đây đó là mô hình inter Zee [3, 8, 9]. Mô hình được xây dựng dựa trên mô hình Zee, trong đó thêm vào 2 fermion là đơn tuyến của nhóm $SU(2)_L$ và lưỡng tuyến của nhóm $SU(2)_L$ và 2 vô hướng. Mô hình này đã được khảo sát trong một số công bố gần đây [3, 8, 9], tuy nhiên phần rã của Higgs vẫn chưa được khảo sát. Đặc biệt kênh rã $h \rightarrow Z\gamma$

đang được thực nghiệm tích cực tìm kiếm gần đây và đã được SM dự đoán cùng bậc giá trị với kênh rã $h \rightarrow \gamma\gamma$. Do đó, có sự đóng góp của các hạt mới trong mô hình và tỷ lệ rã nhánh của quá trình rã nói trên sẽ bị thay đổi so với SM. Trong nghiên cứu này chúng tôi sẽ tìm hiểu cụ thể đóng góp của các hạt mới đó là higgs và các hạt lepton mới được thêm vào mô hình vào cường độ rã nhánh $\mu_{Z\gamma}$.

2. Mô hình inter Zee

Mô hình inter Zee (IZM) là mô hình mở rộng mô hình Zee [4, 5] bằng cách thêm vào các fermion, là đơn tuyến, $SU(2)_L - \varepsilon$ và lưỡng tuyến của $SU(2)_L - \Psi = (N, E)^T$, và 2 vô hướng là đơn tuyến của $SU(2)_L - S^-$ và lưỡng tuyến của $SU(2)_L - H_2$ [3, 9]. Toán tử điện tích của mô hình $Q = T_3 + \frac{Y}{2}$. Chi tiết các hạt mới được cho trong bảng 1 [9].

	Spin	$SU(3)_C, SU(2)_L, U(1)_Y, Z_2$
ε	$\frac{1}{2}$	(1,1, -2, -)
Ψ	$\frac{1}{2}$	(1,2, -1, -)

H_2	0	(1,2, 1, -)
S^-	0	(1,1, -2, -)

Bảng 1: Các hạt mới trong mô hình và các đặc tính biến đổi của chúng theo nhóm đối xứng $SU(3)_C \otimes SU(2)_L \otimes U(1)_Y \otimes Z_2$

Lagrangian bất biến của mô hình được viết theo [3]

$$\mathcal{L}_{IZM} = \mathcal{L}_{SM} + \mathcal{L}_F + \mathcal{L}_S + \mathcal{L}_1 + \mathcal{L}_2, \quad (1)$$

trong đó $\mathcal{L}_F, \mathcal{L}_S, \mathcal{L}_1, \mathcal{L}_2$ bao gồm

$$\begin{aligned} \mathcal{L}_F &\supset i\bar{\Psi}_L \gamma^\mu D_\mu \Psi_L + i\bar{e}_R \gamma^\mu D_\mu e_R + i\bar{N}_R \gamma^\mu D_\mu N_R + i\bar{E}_R \gamma^\mu D_\mu E_R, \\ \mathcal{L}_S &= (D_\mu H_2)^\dagger (D_\mu H_2) - \mu_2^2 (H_2^\dagger H_2)^2 - \frac{\lambda_2}{2} (H_2^\dagger H_2)^2 + (D_\mu S)^\dagger (D_\mu S) \\ &\quad - \mu_S^2 (S^\dagger S) - \lambda_S (S^\dagger S)^2 \\ \mathcal{L}_1 &= \lambda_3 (H_1^\dagger H_1)(H_2^\dagger H_2) + \lambda_4 (H_1^\dagger H_2)(H_2^\dagger H_1) + \frac{\lambda_5}{2} [(H_1^\dagger H_2) + H.c.] \\ &\quad + \lambda_6 (S^\dagger S)(H_1^\dagger H_1) + \lambda_7 (S^\dagger S)(H_2^\dagger H_2) + \mu \varepsilon_{ab} [H_1^\dagger H_2^a S^b + H.c.], \\ \mathcal{L}_2 &= \eta_i \bar{L}_i H_2 \varepsilon + \rho_i \bar{\Psi} H_2 e_{Ri} + y \bar{\Psi} H_1 \varepsilon + f_i \bar{L}_i^c \Psi^s + H.c. \end{aligned} \quad (2)$$

với $\varepsilon_{12} = 1$. Hai lưỡng tuyến higgs H_1, H_2 :

$$H_2 = \begin{pmatrix} H_2^+ \\ \frac{1}{\sqrt{2}}(H_0 + iA_0) \end{pmatrix}, H_1 = \begin{pmatrix} G_W^+ \\ \frac{1}{\sqrt{2}}(h + v) \end{pmatrix}, \quad (3)$$

với h là Higgs boson được đồng nhất với higgs trong SM và $v = 246 GeV$. Các gauge bosons của mô hình giống như trong mô hình Zee [4, 5] và SM.

$$\begin{pmatrix} W_\mu^3 \\ B_\mu \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} c_W & s_W \\ -s_W & c_W \end{pmatrix} \begin{pmatrix} Z_\mu \\ A_\mu \end{pmatrix} \quad (4)$$

3. Quá trình $h \rightarrow Z\gamma$ trong mô hình IZM

Trong phần này, chúng tôi quan tâm đến đỉnh tương tác liên quan đến các higgs mang điện và lepton mới được thêm vào. Các đỉnh khác được lấy trực tiếp như trong SM. Lagrangian Yukawa biểu diễn tương tác mới của fermion và higgs có dạng [9],

$$\begin{aligned} -\mathcal{L} &\supset \{\eta_i \bar{L}_i H_2 \varepsilon + \rho_i \bar{\Psi} H_2 e_{Ri} + y \bar{\Psi} H_1 \varepsilon \\ &\quad + f_i \bar{L}_i^c \Psi^s + H.c.\} + m_\Psi \bar{\Psi} \Psi + m_e \bar{e} e, \end{aligned} \quad (5)$$

ở đây, L_i và e_{Ri} là lưỡng tuyến lepton và đơn tuyến nhóm $SU(2)$, $\Psi = (N, E)^T$, y, η_i, ρ_i và f_i là hằng số tương tác Yukawa mới và i là chỉ số thế hệ.

$$M = \begin{pmatrix} m_\Psi & \frac{y\nu}{2\sqrt{2}} \\ \frac{y\nu}{2\sqrt{2}} & m_e \end{pmatrix}, L_{mass} = (\bar{\Psi}, \bar{e}) \begin{pmatrix} m_\Psi & \frac{y\nu}{2\sqrt{2}} \\ \frac{y\nu}{2\sqrt{2}} & m_e \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \Psi \\ \varepsilon \end{pmatrix}, \quad (6)$$

trong đó trạng thái riêng khối lượng E_1 và E_2 xác định bởi

$$\begin{aligned} \begin{pmatrix} E_{L,R}^+ \\ E_{L,R}^- \end{pmatrix} &= \begin{pmatrix} c_\alpha & -s_\alpha \\ s_\alpha & c_\alpha \end{pmatrix} \begin{pmatrix} E_1^\pm \\ E_2^\pm \end{pmatrix}_{L,R}, \\ \sin 2\alpha &= s_{2\alpha} = \frac{y\nu}{\sqrt{2(m_{E_2} - m_{E_1})}}, \end{aligned} \quad (7)$$

$$m_{E_{1,2}} = \frac{1}{2} (m_\Psi + m_e \mp \sqrt{(m_\Psi - m_e)^2 + 2y^2\nu^2}).$$

Sau khi phá vỡ đối xứng điện yếu các higgs CP chẵn H^0 , các higgs CP lẻ A^0 và 2 trạng thái vật lý của higgs mang điện $h_{1,2}^\pm$ [3],

$$m_{H^0, A^0}^2 = \mu_2^2 + \frac{1}{2} (\lambda_3 + \lambda_4 \pm \lambda_5) v^2, \quad (8)$$

$$m_{h_{1,2}}^2 = \frac{1}{2} \{m_{H_2^\pm}^2 + m_{S^\pm}^2 \mp [(m_{H_2^\pm}^2 - m_{S^\pm}^2)^2 + 2\mu^2 v^2]^{1/2}\},$$

trong đó $m_{H_2^\pm}^2 = \mu_2^2 + \frac{1}{2} \lambda_3 v^2$ và $m_{S^\pm}^2 = \mu_S^2 + \frac{1}{2} \lambda_6 v^2$.

Góc trộn của các trường vô hướng φ được xác định bởi $\sin 2\varphi = s_{2\varphi} = (\sqrt{2}\mu\nu) / (m_{h_2^\pm}^2 - m_{h_1^\pm}^2)$. Liên hệ giữa các trạng thái đầu với các trạng thái vật lý

$$\begin{pmatrix} h_1^+ \\ h_2^+ \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} s_\varphi & c_\varphi \\ c_\varphi & -s_\varphi \end{pmatrix} \begin{pmatrix} S^+ \\ H_2^+ \end{pmatrix} \quad (9)$$

Để tính đỉnh $h\bar{f}f$ ta thay H_1, H_2 vào trong (5), chỉ có số hạng sau cho đóng góp vào đỉnh đang xét

$$\begin{aligned} y\bar{\Psi} H_1 \varepsilon &\supset y\bar{\Psi} \begin{pmatrix} 0 \\ \frac{1}{\sqrt{2}}(h+v) \end{pmatrix} \varepsilon \supset y\bar{E} \frac{h}{\sqrt{2}} \varepsilon + H.c., \\ &\supset \frac{m_{E_1}}{v} c_\alpha s_\alpha h \bar{E}_1 E_1 - \frac{m_{E_2}}{v} c_\alpha s_\alpha h \bar{E}_2 E_2 \\ &\quad + \frac{m_{E_2} - m_{E_1}}{v} (c_\alpha^2 - s_\alpha^2) s_{2\alpha} h \bar{E}_1 E_2. \end{aligned} \quad (10)$$

Kết quả đỉnh tương tác giữa higgs trung hòa và $E_{1,2}$ cho trong bảng 2. Tương tác giữa Z boson và các lepton xuất phát từ phương trình (2). Khai triển các số hạng từ 1 đến 4 trong Lagrangian \mathcal{L}_F

ta có

$$\begin{aligned} \bar{\Psi}_L \gamma^\mu D_\mu \Psi_L &\supset \frac{ig}{2} \bar{E}_L (W_\mu^3 + t_W B_\mu) \gamma^\mu E_L \supset \frac{ig}{2} \frac{c_W^2 - s_W^2}{c_W} \bar{E} \gamma^\mu P_L E Z_\mu, \\ \bar{E}_R D_\mu \gamma^\mu E_R &\supset \bar{E}_R (\partial_\mu + \frac{ig'}{2} B_\mu) \gamma^\mu E_R \supset -\frac{igs_W^2}{2c_W} \bar{E} \gamma^\mu P_R E Z_\mu, \\ \bar{\varepsilon}_R D_\mu \gamma^\mu \varepsilon_R &\supset \bar{\varepsilon}_R (\partial_\mu + ig' B_\mu) \gamma^\mu \varepsilon_R \supset -\frac{igs_W^2}{c_W} \bar{\varepsilon} \gamma^\mu P_R \varepsilon Z_\mu. \end{aligned} \quad (11)$$

Đỉnh tương tác được viết ở bảng 2. Do H_1 không chứa higgs mang điện nên khi tính đỉnh tương tác giữa Z boson và higgs mang điện ta chỉ cần xét Lagrangian sau

$$\mathcal{L} = (D_\mu H_2)^\dagger (D_\mu H_2) + (D_\mu S^+)^\dagger (D_\mu S^+), \quad (12)$$

bằng cách thay các đạo hàm hiệp biến và H_2 vào (11), kết quả cho trong bảng 2. Tương tự như vậy đỉnh tương tác giữa SM-like higgs với các higgs mang điện xuất phát từ thế higgs \mathcal{L}_1 trong (2) và khai triển bằng cách thay các giá trị của H_1, H_2 từ (3). Các kết quả cho trong bảng 2.

Đỉnh	Hệ số đỉnh	Đỉnh	Hệ số đỉnh
$hW_\mu^+ W_\mu^-$	$igm_W g_{\mu\nu}$	$Z^* h_{2,1}^+ h_{2,1}^-$	$-\frac{igs_W^2}{2c_W} (P_{1,2\mu} - P_{2,1\mu})$
$h h_1^+ h_1^-$	$-i[v(\lambda_3 c_\beta^2 + \lambda_3 s_\beta^2) - \sqrt{2} \mu c_\beta s_\beta]$	$h \bar{E}_1 E_1$	$-\frac{im_{E_1}}{v} s_\alpha c_\alpha$
$h h_1^+ h_2^+$ $h h_1^+ h_2^-$	$-i[s_\beta c_\beta (\lambda_3 - \lambda_1) - \mu(c_\beta^2 - s_\beta^2) / \sqrt{2}]$	$h \bar{E}_2 E_2$	$\frac{im_{E_2}}{v} s_\alpha c_\alpha$
$h h_2^+ h_2^-$	$-i[v(\lambda_3 s_\beta^2 + \lambda_3 c_\beta^2) + \sqrt{2} \mu c_\beta s_\beta]$	$h \bar{E}_1 E_2$	$-\frac{i(m_{E_1} - m_{E_2})}{v} s_{2\alpha} (c_\alpha^2 - s_\alpha^2)$
$A^* h_{1,2}^+ h_{1,2}^-$	$i\mu(P_{1,2\mu} - P_{2,1\mu})$	$Z^* \bar{E}_1 E_1$	$\frac{ig}{2c_W} [(c_W^2 - s_W^2) c_\alpha^2 P_1 - s_W^2 (1 + s_\alpha^2) P_2]$
$Z^* h_1^+ h_1^-$	$\frac{ig}{2c_W} (c_W^2 c_{2W} - 2s_W^2 s_{2W}^2) (P_{1,\mu} - P_{1,\mu})$	$Z^* \bar{E}_2 E_2$	$\frac{ig}{2c_W} [(c_W^2 - s_W^2) s_\alpha^2 P_1 - s_W^2 (1 + c_\alpha^2) P_2]$
$Z^* h_2^+ h_2^-$	$\frac{ig}{2c_W} (s_W^2 c_{2W} - 2c_W^2 s_{2W}^2) (P_{2,\mu} - P_{2,\mu})$	$Z^* \bar{E}_1 E_2$	$-\frac{ig}{2c_W} s_{2\alpha} [(c_W^2 - s_W^2) P_1 + 4s_W^2 P_2]$

Bảng 2: Bảng các hệ số đỉnh tương tác đóng góp vào biên độ rã $h \rightarrow Z\gamma$ ở gần đúng bậc 1 vòng trong chuẩn unitary, trong đó $e = gs_W$.

Bề rộng rã riêng phần $h \rightarrow Z\gamma$ dự đoán từ IZM được viết như sau:

$$\Gamma^{IZM}(h \rightarrow Z\gamma) = \frac{m_h^3}{32\pi^2} \left(1 - \frac{m_Z^2}{m_h^2}\right)^3 |F_{21}^{IZM}|^2, \quad (13)$$

với

$$F_{21}^{IZM} = F_{21W}^{IZM} + \sum_f F_{21f}^{IZM} + \sum_{i,j=1}^2 F_{21,h_{i,j}^\pm}^{IZM}, f$$

$$= e, \mu, \tau, u, d, c, s, b, t, E_\alpha$$

và $F_{21W}^{IZM}, F_{21f}^{IZM}, F_{21,h_{i,j}^\pm}^{IZM}$ lần lượt là các đóng góp của boson chuẩn W, fermion và các higgs mang điện, trong đó F_{21W}^{IZM} giống như SM. Biểu thức cho đóng góp chung của các fermion có dạng như sau [6]

$$\begin{aligned} F_{21,f} = &-\frac{eQ_f N_f}{16\pi^2} [4(K_{LL,RR}^+ + K_{LR,RL}^+ + c.c.)(C_{12} + C_{22} + C_2) \\ &+ 2(K_{LL,RR}^+ - K_{LR,RL}^+ + c.c.)(C_1 + C_2) + 2(K_{LL,RR}^+ + c.c.)C_0], F_{5,f_{ij}} = 0, \end{aligned} \quad (14)$$

và

$$K_{LL,RR}^+ = m_f (Y_{h_{fL}} g_{ZfL}^* + Y_{h_{fR}} g_{ZfR}^*), K_{LR,RL}^+ = m_f (Y_{h_{fL}} g_{ZfR}^* + Y_{h_{fR}} g_{ZfL}^*). \quad (15)$$

Trong mô hình IZM, $Y_{h_{fL}} = Y_{h_{fR}}$ và nhận giá trị thực, dẫn đến $K_{LL,RR}^+ = K_{LR,RL}^+ = m_f Y_{h_{fL}} (g_L + g_R)$. Thay các hệ số đỉnh tương ứng trong bảng 2, kết quả viết lại như sau:

$$\begin{aligned} F_{21,E_1}^{IZM} = &-\frac{egQ_{E_1} N_f m_{E_1}^2}{32\pi^2 v c_W} \cos \alpha \sin \alpha [(c_W^2 - s_W^2) \cos^2 \alpha \\ &- s_W^2 (1 + \sin^2 \alpha)] \times [16(C_{12} + C_{22} + C_2) + 4C_0], \end{aligned} \quad (16)$$

$$\begin{aligned} F_{21,E_2}^{IZM} = &\frac{egQ_{E_2} N_f m_{E_2}^2}{32\pi^2 v c_W} \cos \alpha \sin \alpha [(c_W^2 - s_W^2) \sin^2 \alpha \\ &- s_W^2 (1 + \cos^2 \alpha)] \times [16(C_{12} + C_{22} + C_2) + 4C_0], \end{aligned} \quad (17)$$

$$\begin{aligned} F_{21,E_{12}}^{IZM} = &-\frac{egQ_E N_f (m_{E_1} - m_{E_2})^2}{32\pi^2 v c_W} (\cos^2 \alpha - \sin^2 \alpha) \sin^2 2\alpha [(c_W^2 - s_W^2) \\ &\times [16(C_{12} + C_{22} + C_2) + 4C_0]], \end{aligned} \quad (18)$$

Tương tự như vậy

$$F_{21,h_{i,j}^\pm}^{IZM} = \frac{eA_{ij}}{(16\pi^2)} \times 4[C_2 + C_{22} + C_{12}],$$
 các

thừa số $A_{ij} = 2 \left(g_{Zh_i^+ h_j^-} \lambda_{hh_i^+ h_j^+} \right)$ được liệt kê trong bảng 3 và $m_Z = m_W / c_W = gv / (2c_W)$.

Bảng 3: Thừa số A_{ij}

A_{11}	$2m_Z(c_\phi^2 c_{2W}^2 - 2s_\phi^2 s_W^2)[(\lambda_3 c_\phi^2 + \lambda_6 s_\phi^2) - \mu s_{2\phi} / (v\sqrt{2})]$
A_{12} A_{21}	$-m_Z s_{2\phi} [(-\lambda_3 + \lambda_6) - \sqrt{2}\mu \cot(2\phi) / v]$
A_{22}	$2m_Z(s_\phi^2 c_{2W}^2 - 2c_\phi^2 s_W^2)[(\lambda_3 c_\phi^2 + \lambda_6 s_\phi^2) + \mu s_{2\phi} / (v\sqrt{2})]$

Bề rộng rãi toàn phần có thể xem $\Gamma_h^{IZM} \approx \Gamma_h^{SM}$. Theo đó đại lượng thực nghiệm chúng tôi quan tâm là cường độ tín hiệu $\mu_{Z\gamma}$ [2] trong IZM có dạng sau

$$\mu_{Z\gamma} \equiv \frac{Br^{IZM}(h \rightarrow Z\gamma)}{Br^{SM}(h \rightarrow Z\gamma)} = \frac{\Gamma^{IZM}(h \rightarrow Z\gamma)}{\Gamma^{SM}(h \rightarrow Z\gamma)} = \left| \frac{F_{21}^{IZM}}{F_{21}^{SM}} \right|^2$$

Để chọn được vùng tham số thỏa mãn thực nghiệm hiện nay [2] cho SM-like Higgs boson h đang xét, chúng tôi phải xét đến giới hạn thực nghiệm hiện nay cho $h \rightarrow \gamma\gamma$. Thực nghiệm cho thấy các hệ số đỉnh tương tác hW^+W^- và $h\bar{f}f$ phải ngược dấu nhau và có độ lớn rất gần với kết quả dự đoán từ SM. Chọn tham số trộn các Higgs mang điện ϕ và khối lượng các Higgs mang điện là các tham số độc lập dùng để khảo sát số, tham số μ trong hệ số tự tương tác $hh_i h_j$ được

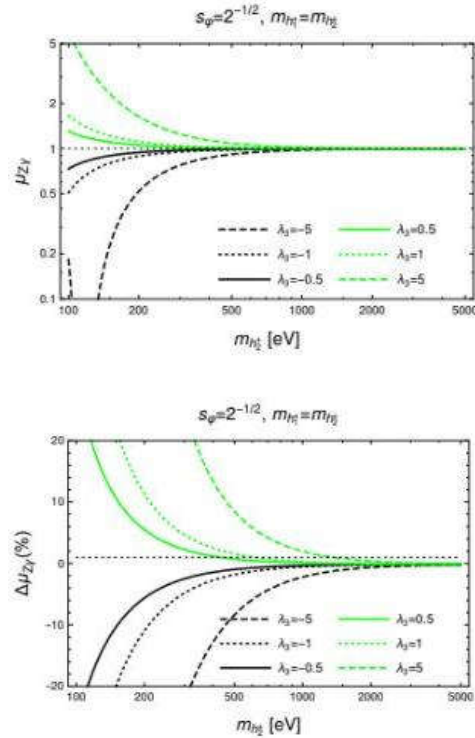
xác định theo hệ thức: $\mu = \frac{(m_{h_2}^2 - m_{h_1}^2) s_{2\phi}}{\sqrt{2}v}$. Hệ số

đỉnh $hh_i h_j$ chỉ phụ thuộc thêm hai tham số $\lambda_{3,6}$, chúng tôi chọn $\lambda_6 = -\lambda_3$ sao cho các hằng số tương tác cho đóng góp vào $h \rightarrow Z\gamma$ là nhỏ nhất và đảm bảo giới hạn thực nghiệm. Với các điều kiện nêu trên, các tham số độc lập chưa biết trong phần khảo sát này là: khối lượng Higgs mang điện $m_{h_{1,2}}^+$, khối lượng lepton mới, góc trộn ϕ , hệ số tự tương tác λ_3 . Dựa theo các kết quả khảo sát trong tài liệu [3, 5], các khoảng giới hạn tham số được chọn là:

$100 GeV \leq m_{h_{1,2}}^+ \leq 1.5 \times 10^3 GeV$, $0.5 \leq s_\phi \leq 1$, $100 GeV \leq m_{E_\nu} \leq 500 GeV$
 và $0 \leq \lambda_3 \leq 4\pi$. Các tham số đã biết từ thực nghiệm được lấy theo [2]. Các hằng số khác được tính như sau:
 $e = \sqrt{4\pi\alpha_{em}}$, $g = 2m_W / v$.

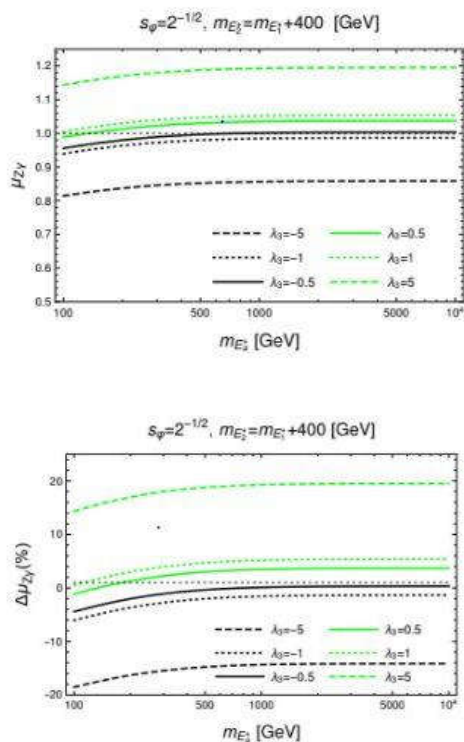
Do $s_\phi^2 - c_\phi^2 = c_{2\phi} = 0$ thừa số chứa λ_3 trong đóng góp hệ số $A_{11,22}$ và thừa số chứa $\Delta m_{h_1}^2 = m_{h_2}^2 - m_{h_1}^2 = 0$

trong $A_{11,22}$ đều bằng 0. Chúng tôi xét trường hợp đặc biệt với $s_\phi = 1/\sqrt{2}$ trong tất cả các khảo sát sau đây.



Hình 1: Đồ thị biểu diễn $\mu_{Z\gamma}$ và $\Delta\mu_{Z\gamma}$ theo hàm của khối lượng higgs mang điện

Đồ thị bên trên của hình 1 biểu diễn $\mu_{Z\gamma}$ theo hàm của khối lượng Higgs mang điện $m_{h_2}^+$ với các giá trị khác nhau của λ_3 , $\Delta m_{h_1}^2 = 0$ và đồ thị dưới biểu diễn $\Delta\mu_{Z\gamma}$ tương ứng. Từ biểu thức giải tích và giải số cho thấy đóng góp của higgs mang điện cùng dấu với các hạt trong SM. Do đó, đồ thị cho thấy cường độ tín hiệu đều rất lớn trong khoảng khối lượng nhỏ của các Higgs mang điện và độ lớn của λ_3 nhận giá trị lớn. Trong khi đó thực nghiệm hiện nay chỉ ra được $\mu_{Z\gamma}^{Ex} < 6.6$ với độ tin cậy 95% (95%CL) [7]. Vì vậy trong thời gian tới, nếu thực nghiệm xác định được giá trị cụ thể $\mu_{Z\gamma}^{Ex} > 1$ mô hình IZM có thể giải thích được giá trị này $\mu_{Z\gamma}^{IZM} = \mu_{Z\gamma}^{Ex}$, thông qua đóng góp của các hạt Higgs boson mang điện.



Hình 2: Đồ thị biểu diễn $\mu_{Z\gamma}$ và $\Delta\mu_{Z\gamma}$ theo hàm của khối lượng lepton mới mang điện

Đồ thị bên trên của hình 2 biểu diễn $\mu_{Z\gamma}$ theo hàm của khối lượng lepton mang điện mới m_{E_a} với các giá trị khác nhau của λ_3 , $m_{E_2} = m_{E_1} + 400\text{GeV}$ và đồ thị dưới biểu diễn $\Delta\mu_{Z\gamma}$ tương ứng. Đóng góp của 2 lepton mang điện mới ngược nhau về dấu, tổng của chúng cùng dấu hay ngược dấu với các đóng góp của SM phụ thuộc vào hiệu khối lượng của 2 hạt mới này. Cụ thể, từ đồ thị cho thấy cường độ tín hiệu thay đổi nhỏ khi giá trị của khối lượng $m_{E_{1,2}}$ thay đổi và cường độ tín hiệu cũng phụ thuộc vào λ_3 . Các đóng góp của 2 lepton mới vào kênh rã trên là nhỏ, nên mô hình IZM dự đoán kênh rã này gần như trùng với SM khi xét đóng góp của các hạt E_a .

4. Kết luận

Bằng việc tính các đóng góp của higgs mang điện và lepton mới, chúng tôi đã tính được bề rộng rã riêng phần và tỉ lệ rã nhánh của quá trình rã $h \rightarrow Z\gamma$ trong mô hình IZM. Dự đoán về tỉ lệ rã nhánh trong mô hình IZM là tín hiệu để phân biệt SM và mô hình IZM khi thực nghiệm đo được kênh rã này. Cường độ tín hiệu

nhận giá trị lớn trong vùng thỏa mãn đồng thời các điều kiện sau: Khối lượng các Higgs mang điện nhỏ; hằng số tự tương tác λ_3 phải lớn; s_ϕ nhận giá trị phù hợp trong khoảng từ [0.5, 1]. Giá trị các tham số của mô hình có thể làm tăng cường hoặc khử các đóng góp từ SM làm cho giá trị cường độ tín hiệu có thể nhỏ hơn 1 hoặc lớn hơn 1 rất nhiều. Thực nghiệm trong thời gian tới tiếp tục tiến gần tới giá trị $\mu_{Z\gamma} > 1$. Vì vậy giá trị $\lambda_3 > 0$ rất dễ được xác nhận trong tương lai gần. Các đóng góp của các lepton mới được thêm vào mô hình vào kênh rã $h \rightarrow Z\gamma$ là nhỏ không đáng kể và mô hình dự đoán kênh rã này gần như trùng với dự đoán của SM.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. ATLAS collaboration (2012), *Observation of a new particle in the search for the Standard Model Higgs boson with the ATLAS detector at the LHC*, Phys. Lett. B **716**, 1-29.
2. ATLAS and CMS Collaborations (2016), *Measurements of the Higgs boson production and decay rates and constraints on its couplings from a combined ATLAS and CMS analysis of the LHC pp collision data at $\sqrt{s} = 7$ and 8 TeV*, JHEP **1608**, 045.
3. A. Gaviria, R. Longas and Ó. Zapata (2018), *Charged lepton flavor violation and electric dipole moments in the inert Zee model*, JHEP **1810**, 188.
4. A. Zee (1980), *A theory of Lepton Number Violation, Neutrino Majorana Mass, and Oscillation*, Phys. Lett. B **93**, 389.
5. J. Herrero-García, T.Ohlsson, S.RiadandJ.Wirén (2017), *Full parameter scan of the Zee model: exploring Higgs lepton flavor violation*, JHEP **1704**, 130.
6. L. T. Hue, A. B. Arbuzov, T. T. Hong, T. Phong Nguyen, D. T. Si, H. N. Long (2018), *General one-loop formulas for decay $h \rightarrow Z\gamma$* , EUROPEAN PHYSICAL JOURNAL C **78**, 885.
7. M. Aaboud et al (2017), *Searches for the $Z\gamma$ decay mode of the Higgs boson and for new high-mass resonances in pp collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV with the ATLAS detector*, JHEP **1710**, 112.

8. S. Kanemura, T. Shindou, and H. Sugiyama (2015), *R-Parity Conserving Supersymmetric Extension of the Zee Model*, Phys.Rev. D**92**, 115001.
9. R. Longas, D. Portillo, D. Restrepo, and O. Zapata (2016), *The Inert Zee Model*, JHEP **03**, 162.
10. Particle Data Group (2016), *Review of Particle Physics*, Chinese Physics C **40**,100001.

Decay of SM-like Higgs boson $h \rightarrow Z\gamma$ in a inter Zee model

Trinh Thi Hong, Truong Tin Thanh, Le Tho Hue, Nguyen Thuy Nga

Article info

Received:
26/02/2019
Accepted:
10/3/2019

Keywords:

Higgs decay;
One-loop correction, Inter Zee.

Abstract

By adding new particle spectra of the leptons, the recently introduced inter Zee model well explained the current experimental data of neutrino mass and dark matter. We will show that this model promises to predict the new Higgs boson signals that have been blocked in previous models. One-loop contribution to these decay amplitudes is introduced in the unitary gauge. Based on the current experimental data, we find the branching ratio of the decay $h \rightarrow Z\gamma$. The obtained branch width value can be within the expected range, the parameter space that matches the experimental data will also be shown.
