

BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO  
TRƯỜNG ĐẠI HỌC SƯ PHẠM HÀ NỘI 2  
KHOA VẬT LÝ



**BẢN TÓM TẮT LUẬN ÁN TIẾN SĨ  
THẾ HIGGS TRONG MÔ HÌNH 3-3-1 VỚI CƠ  
CHẾ CKS VÀ PHÂN LOẠI CÁC MÔ HÌNH 3-3-1  
DỰA TRÊN DỮ LIỆU TÍCH YẾU**

**Chuyên ngành: Vật lý lý thuyết và Vật lý toán**

**Mã số: 9 44 01 03**

**Nghiên cứu sinh: Nguyễn Văn Hợp**

**Hướng dẫn khoa học: 1. GS.TS. Hoàng Ngọc Long  
2. TS. Nguyễn Huy Thảo**

**-2020-**

**BẢN TÓM TẮT LUẬN ÁN TIẾN SĨ  
THẾ HIGGS TRONG MÔ HÌNH 3-3-1 VỚI  
CƠ CHẾ CKS VÀ PHÂN LOẠI CÁC MÔ  
HÌNH 3-3-1 DỰA TRÊN DỮ LIỆU TÍCH YẾU**

**Nguyễn Văn Hợp**

Ngày 2 tháng 11 năm 2020

## Lời cam đoan

Tôi xin cam đoan các kết quả khoa học chính được trình bày trong luận án này là sản phẩm khoa học có được do bản thân tôi đóng góp vào hoạt động nghiên cứu trong thời gian 3 năm tôi làm nghiên cứu sinh tại Trường Sư Phạm Hà Nội 2.

Trong luận án này, phần đầu của Chương 1 giới thiệu bối cảnh và các thành tựu khoa học mà dựa trên đó các công trình khoa học có tôi tham gia và luận án của tôi được xây dựng, phần còn lại của chương này là đóng góp khoa học của nhóm chúng tôi. Chương 2 và chương 3 trình bày chủ yếu dựa trên các công trình khoa học của nhóm nghiên cứu có tôi tham gia. Phần kết luận tóm tắt lại các kết quả khoa học chính của luận án.

Cuối cùng, tôi xin cam kết các kết quả chính trong luận án "**Thế Higgs trong mô hình 3-3-1 với cơ chế CKS và phân loại các mô hình 3-3-1 dựa trên dữ liệu tích yếu**" là thành quả khoa học của tôi và nhóm nghiên cứu mà tôi tham gia, không trùng lặp với kết quả trong luận án khác hay công trình khoa học khác đã có.

Nguyễn Văn Hợp

# Mục lục

Danh mục các ký hiệu và chữ viết tắt	4
Phần mở đầu	5
Chương 1. Mô hình 3-3-1 với cơ chế CKS	8
1.1 Mô hình 3-3-1 với cơ chế CKS . . . . .	8
1.1.1 Phần fermion của mô hình 331 với cơ chế CKS . . . . .	8
1.1.2 Boson chuẩn, góc trộn và khối lượng của chúng . . . . .	9
1.1.3 Xác định giới hạn tham số mô hình và giới hạn khối lượng của các boson chuẩn dựa vào tham số $\rho$ . . . . .	9
1.1.4 Tiết diện tán xạ toàn phần cho quá trình sinh boson chuẩn nặng $Z_2$ ở LHC theo cơ chế Drell-Yan . . . . .	10
Chương 2. Thê Higgs và một số hiện tượng luận có liên quan đến Higgs trong Mô hình 3-3-1 với cơ chế CKS	11
2.1 Thê Higgs toàn phần . . . . .	11
2.2 Thê Higgs bảo toàn số lepton . . . . .	11
2.3 Các trường hợp giản lược . . . . .	12
2.3.1 Phần Higgs CP-lé . . . . .	12
2.3.2 Phần Higgs CP-chẵn và Higgs như mô hình chuẩn . . . . .	12
2.3.3 Phần Higgs mang điện . . . . .	12
2.4 Thê Higgs vi phạm số lepton . . . . .	12
2.5 Một số hiện tượng luận liên quan đến nội dung Higgs trong Mô hình 3-3-1 với cơ chế CKS . . . . .	12
2.5.1 Đóng góp của phần vô hướng vào tham số $\rho$ . . . . .	12
2.5.2 Hiện tượng luận về boson Higgs nặng $H_4$ . . . . .	13
2.5.3 Mật độ tàn dư của vật chất tối (Dark matter relic density)	14
Chương 3. Biện luận các đặc tính của các mô hình 3-3-1 dựa vào dữ liệu tích yếu của $^{133}\text{Cs}$ và của proton	16
3.1 Giá trị thực nghiệm của tích yếu của Cs-133, proton và công thức tích yếu trong các mô hình mở rộng . . . . .	16

3.2	Hiện tượng APV trong mô hình 3-3-1 với cơ chế CKS . . . . .	17
3.2.1	Biểu thức bô đính tích yếu trong Mô hình 3-3-1 CKS . . . .	17
3.3	Hiện tượng APV trong các mô hình 3-3-1- $\beta$ . . . . .	18
3.3.1	APV trong mô hình 3-3-1 với $\beta = \pm\sqrt{3}$ . . . . .	19
3.3.2	APV trong mô hình 3-3-1 với $\beta = \pm\frac{1}{\sqrt{3}}$ . . . . .	20
3.3.3	APV trong mô hình 3-3-1 với $\beta = 0$ . . . . .	21
<b>Phần kết luận</b>		<b>23</b>

## Danh mục các ký hiệu và chữ viết tắt

APV	Vi phạm tính chẵn lẻ trong nguyên tử (Atom Parity Violation)
B.P.K.L	Bình phương khối lượng
BSM	Mô hình mở rộng từ Mô hình chuẩn (Beyond Standard Model)
CKS	Từ viết tắt của tên các tác giả: Cárcamo, Kovalenko và Schmidt
DM	Vật chất tối
LHC	Máy gia tốc hadron lớn (Large Hadron Collider)
LNC	Bảo toàn số lepton (Lepton number conservation)
LNV	Vi phạm số lepton (Lepton number violation)
Mô hình M331	Mô hình 3-3-1 tối thiểu (Minimal 3-3-1 model)
Mô hình 3-3-1- $\beta$	Mô hình 3-3-1 với tham số $\beta$ trong biểu thức toán tử điện tích của mô hình
PV	Vi phạm tính chẵn lẻ (Parity Violation)
PVES	Tán xạ electron vi phạm tính chẵn lẻ (Parity Violation Electron Scattering)
SM	Mô hình chuẩn (Standard Model)
WIMP	Hạt nặng tương tác yếu (Weakly Interacting Massive Particle)

# Phần mở đầu

## Tính cấp thiết của đề tài

*Vật lý hạt cơ bản* là một ngành khoa học nghiên cứu những vấn đề cơ bản nhất của khoa học, trả lời những câu hỏi cực kỳ quan trọng về những thành tố gì cơ bản nhất tạo nên mọi thứ và khám phá các quy luật, tương tác giữa các thành tố đó.

Cũng như nhiều ngành khoa học khác, vật lý hạt cơ bản dựa vào nghiên cứu lý thuyết và nghiên cứu thực nghiệm. Để đạt các mục tiêu đề ra, ngành *Vật lý hạt cơ bản lý thuyết* tiến hành hoạt động *mô hình hóa*, tức là xây dựng các lý thuyết vật lý mô tả một cách có hệ thống các hạt cơ bản và các tương tác của chúng, trên cơ sở đó điều chỉnh, hoàn thiện những hiểu biết cũ đã bị thực nghiệm bác bỏ, đồng thời phát kiến ra những tiên đoán và kết quả mới, góp phần thúc đẩy sự tiến bộ của nền khoa học, công nghệ của Quốc gia và của nhân loại.

Đề tài này thuộc chuyên ngành Vật lý hạt cơ bản lý thuyết, bám sát vào phạm vi nghiên cứu và mục tiêu nghiên cứu chung như đã nói ở phần trên, từ đó triển khai thực hiện các hoạt động nghiên cứu với mục tiêu và phạm vi nghiên cứu cụ thể hơn, như sẽ được trình bày ở phần dưới đây.

## Tổng quan tình hình nghiên cứu ngoài nước và trong nước

### - Tính tất yếu phải mở rộng Mô hình chuẩn:

Mô hình chuẩn (SM) là tinh hoa của Vật lý hạt cơ bản, nó đã đưa ra các kết quả và tiên đoán phù hợp tuyệt vời với các số liệu thực nghiệm, mà sự kiện nổi bật gần đây là hạt boson Higgs 126 GeV mà mô hình này tiên đoán đã được khám phá ở LHC. Ngày nay SM đã được công nhận rộng rãi là mô hình giáo khoa mô tả các hạt cơ bản phù hợp nhất với thực nghiệm hiện đại. SM đã hoàn thành sứ mạng của nó xét ở khía cạnh đã mô tả được sự vận động của thế giới các hạt cơ bản đã biết thông qua các tương tác mạnh, điện từ và yếu; nội dung hạt cơ bản mà nó xây dựng tất cả đều đã được thực nghiệm xác nhận.

Tuy nhiên, dù là một lý thuyết thành công nhưng SM có một số hạn chế không thể giải thích/giải quyết được, ví dụ như: (1) vấn đề khối lượng neutrino,

(2) vấn đề sự phân bậc lớn của phổ khối lượng và góc trộn các hạt fermion và  
(3) không có cơ sở cho việc xây dựng số thế hệ hạt phải là ba. Một cách để khắc phục/giải quyết các tồn tại của SM là mở rộng mô hình này, thành các mô hình mở rộng từ SM (BSM).

### - Nghiên cứu các mô hình 3-3-1 ở Việt Nam:

Theo xu thế phát triển chung của vật lý hạt cơ bản trên thế giới, ở Việt Nam cũng đã hình thành và phát triển các nhóm nghiên cứu Lý thuyết trường lượng tử và Vật lý hạt cơ bản lý thuyết, tập trung nghiên cứu và đạt được nhiều thành tựu trong xây dựng và nghiên cứu hiện tượng luận cho các mô hình 3-3-1, điển hình như nhóm của GS. Hoàng Ngọc Long (Viện Vật Lý, Hà Nội). Đây là một thuận lợi lớn cho các nghiên cứu sinh khi học tập, làm việc trong nhóm nghiên cứu này.

### **Phân tích, đánh giá những vấn đề còn tồn tại liên quan đến đề tài luận án mà các công trình trước đó chưa đề cập hoặc giải quyết chưa triệt để**

Mới đây, *mô hình 3-3-1 với cơ chế CKS* (3-3-1CKS) đã được công nhận, ngoài những ưu điểm chung đã có của lớp các mô hình 3-3-1, mô hình này còn thể hiện những ưu điểm nổi bật hơn hẳn: là mô hình 3-3-1 đầu tiên giải quyết đồng thời hai vấn đề tái chuẩn hóa được và sự phân bậc của khối lượng và góc trộn của phần fermion. Ngoài ra mô hình cũng cho dự đoán về các ứng viên cho vật chất tối. Mô hình 3-3-1 CKS mới được giới thiệu trong thời gian gần đây, với phổ hạt mới đa dạng làm xuất hiện rất nhiều tương tác mới cần nghiên cứu để đảm bảo mô hình phù hợp với dữ liệu thực nghiệm và dự đoán các tín hiệu vật lý mới. Vì thế, đề tài luận án này sẽ tập trung vào một số hiện tượng luận vật lý cần được làm sáng tỏ hơn trong mô hình 3-3-1 CKS mà các công bố trước đây chưa đề cập tới.

Tìm kiếm các tín hiệu vật lý có liên quan đến thực nghiệm hiện tại và tương lai dùng để khẳng định tính ưu việt hơn hay loại bỏ một mô hình 3-3-1 cụ thể vẫn là một vấn đề rất thời sự hiện nay. Một trong số các nội dung chính của luận án này tập trung vào vấn đề trên, trong đó chúng tôi sẽ xem xét tín hiệu phân biệt các mô hình 3-3-1 dựa trên sự kết hợp tất cả các dữ liệu thực nghiệm mới nhất của tham số  $\rho$ , tích yếu của nguyên tử Cesium và của proton. Từ đây, chúng tôi chỉ ra được rằng, kết quả từ tổng hợp các số liệu thực nghiệm nói trên có khả năng đánh giá được các mô hình 3-3-1 nào còn phù hợp, nếu độ nhạy các

thực nghiệm trên tiếp tục được nâng cấp.

## Những vấn đề mà luận án cần tập trung giải quyết

a) Trong khuôn khổ mô hình 3-3-1 CKS: (1) xây dựng phần boson chuẩn và Higgs của mô hình và (2) dựa vào các dữ liệu thực nghiệm có liên quan các quá trình vật lý dự đoán bởi mô hình để giới hạn các tham số của mô hình.

b) Kết hợp tất cả các dữ liệu tích yếu của nguyên tử Cesium và của proton và giới hạn nhiễu loạn của hằng số tương tác Yukawa sinh khối lượng cho quark top để dự đoán mô hình 3-3-1 nào vẫn còn khả năng phù hợp với thực nghiệm trong số các mô hình 3-3-1 hiện có.

## Mục tiêu nghiên cứu

- Tạo ra các kết quả nghiên cứu mới đạt chuẩn theo quy định để hoàn thành bậc học tiến sĩ.
- Có khả năng tiếp tục duy trì và phát triển hướng nghiên cứu sau khi kết thúc bậc học.

## Đối tượng và phạm vi nghiên cứu

- Các mô hình 3-3-1 (phạm vi nghiên cứu: tổng quan).
- Mô hình 3-3-1 với cơ chế CKS (phạm vi nghiên cứu: nội dung các trường boson chuẩn và trường Higgs, các khối lượng và góc trộn).
- Xác định các biểu thức ràng buộc và giới hạn không gian các tham số của các mô hình 3-3-1 (phạm vi nghiên cứu: phân tích và biện luận dựa trên dữ liệu thực nghiệm của tham số  $\rho$  và tích yếu  $Q_W$  trong hiện tượng APV đối với Cesium và trong hiện tượng PVES đối với proton kết hợp với số liệu về giới hạn nhiễu loạn của hằng số tương tác Yukawa đối với quark top).

## Phương pháp nghiên cứu

- Phương pháp lý thuyết trường lượng tử.
- Khảo sát số và biện luận các kết quả dựa vào phần mềm máy tính *Mathematica*.

# Chương 1

## Mô hình 3-3-1 với cơ chế CKS

### 1.1 Mô hình 3-3-1 với cơ chế CKS

#### 1.1.1 Phần fermion của mô hình 331 với cơ chế CKS

Đối xứng đầy đủ của mô hình này là  $SU(3)_C \times SU(3)_L \times U(1)_X \times Z_4 \times Z_2 \times U(1)_{L_g}$ , trong đó  $L_g$  số lepton toàn phần. Căn cứ vào tham số  $\beta$  được dùng để định nghĩa toán tử điện tích các hạt trong các mô hình 3-3-1 như dưới sau:  $Q = T_3 + \beta T_8 + X$ . Các mô hình 3-3-1 phổ biến nhất được xếp vào hai loại/phiên bản chính: những mô hình với  $\beta = \sqrt{3}$  thuộc loại các *mô hình 3-3-1 tối thiểu* (minimal 3-3-1 models), và  $\beta = -\frac{1}{\sqrt{3}}$  tương ứng với nhóm các *mô hình 3-3-1 với các neutrino phân cực phải* (3-3-1 model with right-handed neutrinos).

Nội dung quark được xây dựng theo biểu diễn  $SU(3)_C \times SU(3)_L \times U(1)_X$ :

$$\begin{aligned} Q_{nL} &= (D_n, -U_n, J_n)_L^T \sim (3, 3^*, 0), \quad Q_{3L} = (U_3, D_3, T)_L^T \sim \left(3, 3, \frac{1}{3}\right), \quad n = 1, 2, \\ D_{iR} &\sim \left(3, 1, -\frac{1}{3}\right), \quad U_{iR} \sim \left(3, 1, \frac{2}{3}\right), \quad i = 1, 2, 3, \\ J_{nR} &\sim \left(3, 1, -\frac{1}{3}\right), \quad T_R \sim \left(3, 1, \frac{2}{3}\right), \quad \tilde{T}_{L,R} \sim \left(3, 1, \frac{2}{3}\right), \quad B_{L,R} \sim \left(3, 1, -\frac{1}{3}\right). \end{aligned} \quad (1.1)$$

Phần lepton bao gồm:

$$L_{iL} = (\nu_i, e_i, \nu_i^c)_L^T \sim \left(1, 3, -\frac{1}{3}\right), \quad e_{iR} \sim (1, 1, -1), \quad i = 1, 2, 3, \quad (1.2)$$

$$E_{iL} \sim (1, 1, -1), \quad E_{iR} \sim (1, 1, -1), \quad N_{iR} \sim (1, 1, 0), \quad \Psi_R \sim (1, 1, 0). \quad (1.3)$$

ở đây  $\nu_i^c \equiv \nu_{iR}^c$  là các lepton trung hòa mới.

Phần boson Higgs gồm ba tam tuyến vô hướng là  $\chi$ ,  $\eta$  và  $\rho$  và bảy đơn tuyến  $\varphi_1^0$ ,  $\varphi_2^0$ ,  $\xi^0$ ,  $\phi_1^+$ ,  $\phi_2^+$ ,  $\phi_3^+$  và  $\phi_4^+$ , được sắp xếp cụ thể như sau:

$$\begin{aligned} \chi &= \langle \chi \rangle + \chi' \sim \left(1, 3, -\frac{1}{3}\right), \quad \langle \chi \rangle = \left(0, 0, \frac{v_\chi}{\sqrt{2}}\right)^T, \quad \chi' = \left(\chi_1^0, \chi_2^-, \frac{1}{\sqrt{2}}(R_{\chi_3^0} - iI_{\chi_3^0})\right)^T, \\ \rho &= \left(\rho_1^+, \frac{1}{\sqrt{2}}(R_\rho - iI_\rho), \rho_3^+\right)^T \sim \left(1, 3, \frac{2}{3}\right), \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\eta = \langle \eta \rangle + \eta' &\sim \left(1, 3, -\frac{1}{3}\right), \quad \langle \eta \rangle = \left(\frac{v_\eta}{\sqrt{2}}, 0, 0\right)^T, \quad \eta' = \left(\frac{1}{\sqrt{2}}(R_{\eta_1^0} - iI_{\eta_1^0}), \eta_2^-, \eta_3^0\right)^T, \\ \varphi_{1,2}^0 &\sim (1, 1, 0), \quad \phi_{1,2,3,4}^+ \sim (1, 1, 1), \\ \xi^0 &= \langle \xi^0 \rangle + \xi^{0'}, \quad \langle \xi^0 \rangle = \frac{v_\xi}{\sqrt{2}}, \quad \xi^{0'} = \frac{1}{\sqrt{2}}(R_{\xi^0} - iI_{\xi^0}) \sim (1, 1, 0).\end{aligned}\quad (1.4)$$

### 1.1.2 Boson chuẩn, góc trộn và khói lượng của chúng

Các boson chuẩn không hermitian được định nghĩa như sau

$$W_\mu^\pm = \frac{1}{\sqrt{2}}(A_{\mu 1} \mp iA_{\mu 2}), \quad Y_\mu^\pm = \frac{1}{\sqrt{2}}(A_{\mu 6} \pm iA_{\mu 7}), \quad X_\mu^0 = \frac{1}{\sqrt{2}}(A_{\mu 4} - iA_{\mu 5}), \quad (1.5)$$

với các bình phuong khói lượng của chúng là  $m_W^2 = \frac{g^2}{4}v_\eta^2$ ,  $M_{X^0}^2 = \frac{g^2}{4}(v_\chi^2 + v_\eta^2)$ ,  $M_Y^2 = \frac{g^2}{4}v_\chi^2$  và  $v_\eta = v = 246$  GeV như vốn có.

Các boson chuẩn trung hòa được xác định như sau:

$$\begin{aligned}A_\mu &= s_W A_{\mu 3} + c_W \left( -\frac{t_W}{\sqrt{3}} A_{\mu 8} + \sqrt{1 - \frac{t_W^2}{3}} B_\mu \right), \\ Z_\mu^1 &= Z_\mu \cos \phi - Z'_\mu \sin \phi, \quad Z_\mu^2 = Z_\mu \sin \phi + Z'_\mu \cos \phi,\end{aligned}\quad (1.6)$$

trong đó chúng tôi ký hiệu  $s_W = \sin \theta_W$ ,  $c_W = \cos \theta_W$ ,  $t_W = \tan \theta_W$ , và

$$\begin{aligned}Z_\mu &= c_W A_{\mu 3} - s_W \left( -\frac{t_W}{\sqrt{3}} A_{\mu 8} + \sqrt{1 - \frac{t_W^2}{3}} B_\mu \right), \quad Z'_\mu = \sqrt{1 - \frac{t_W^2}{3}} A_{\mu 8} + \frac{t_W}{\sqrt{3}} B_\mu, \\ \tan 2\phi &= \frac{2M_{ZZ'}^2}{M_{Z'}^2 - M_Z^2}, \quad M_Z^2 = \frac{g^2 v_\eta^2}{4c_W^2} = \frac{m_W^2}{c_W^2}, \\ M_{ZZ'}^2 &= \frac{g^2}{4c_W^2 \sqrt{3 - 4s_W^2}} v_\eta^2 (1 - 2s_W^2), \quad M_{Z'}^2 = \frac{g^2 c_W^2}{4(3 - 4s_W^2)} \left[ 4v_\chi^2 + \frac{v_\eta^2 (1 - 2s_W^2)^2}{c_W^4} \right].\end{aligned}$$

Khói lượng của các boson chuẩn trung hòa vật lý được xác định như sau:

$$M_{Z_{1,2}}^2 = \frac{1}{2} \left\{ M_{Z'}^2 + M_Z^2 \mp \left[ (M_{Z'}^2 - M_Z^2)^2 + 4(M_{ZZ'}^2)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \right\}. \quad (1.7)$$

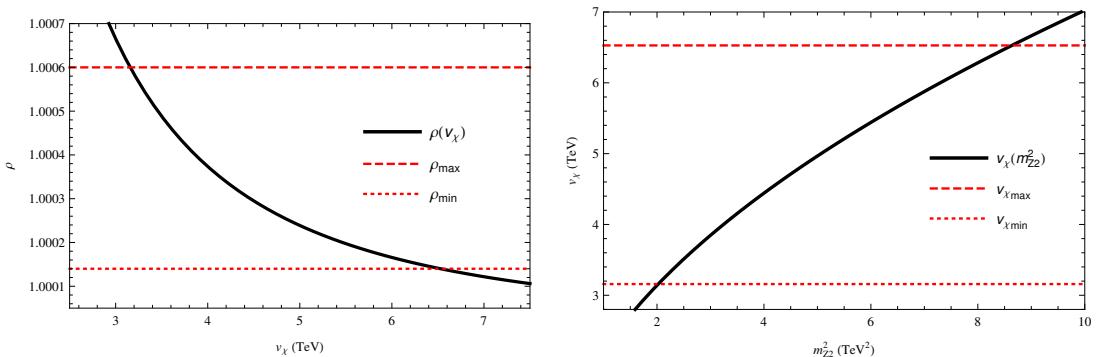
### 1.1.3 Xác định giới hạn tham số mô hình và giới hạn khói lượng của các boson chuẩn dựa vào tham số $\rho$

Sử dụng các dữ liệu thực nghiệm  $s_W^2 = 0.23122$  và

$$\rho = 1.00039 \pm 0.00019, \quad (1.8)$$

chúng tôi vẽ  $\Delta\rho$  là hàm của  $v_\chi$  như ở hình 1.1 (hình bên trái), thu được  $3.57 \text{ TeV} \leq v_\chi \leq 6.09 \text{ TeV}$ ;  $1.42 \text{ TeV} \leq M_{Z^2} \leq 2.42 \text{ TeV}$ , suy ra  $465 \text{ GeV} \leq M_Y \leq 960 \text{ GeV}$ .

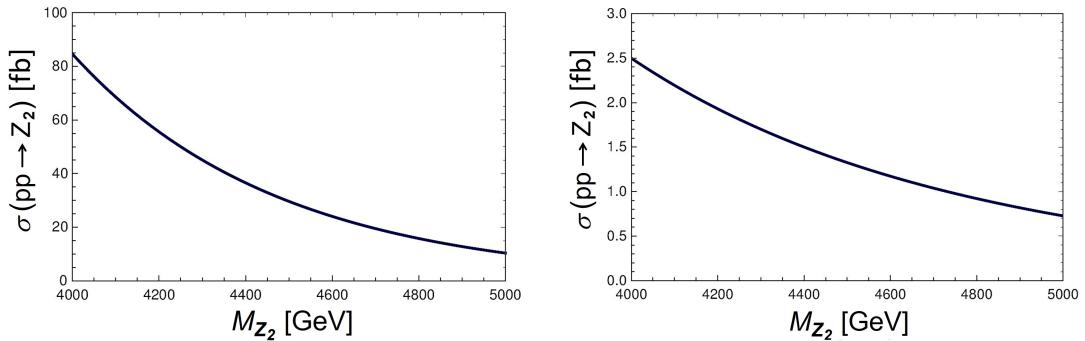
Để cho tiện, từ đây trở đi chúng ta sẽ gọi  $Z_1$  và  $Z_2$  tương ứng là  $Z$  và  $Z'$ .



Hình 1.1: Đồ thị trái (phải) mô tả tham số  $\rho (v_\chi)$  là hàm của  $v_\chi (M_{Z_2}^2)$ , các đường thẳng ngang là cận trên và dưới của  $\rho (v_\chi)$  dựa theo (1.8).

#### 1.1.4 Tiết diện tán xạ toàn phần cho quá trình sinh boson chuẩn nặng $Z_2$ ở LHC theo cơ chế Drell-Yan

Đồ thị trái trong hình 1.2 biểu diễn tiết diện toàn phần sinh  $Z_2$  theo cơ chế Drell-Yan ở LHC với  $\sqrt{S} = 13$  TeV, là hàm theo  $M_{Z_2}$ . Giới hạn dưới  $M_{Z_2} \geq 4$



Hình 1.2: Tiết diện tán xạ toàn phần sinh  $Z_2$  theo cơ chế Drell-Yan là hàm theo khối lượng  $Z_2$ , đồ thị trái bên trái (phải) tương ứng với năng lượng va chạm  $\sqrt{S} = 13$  (dự kiến  $\sqrt{S} = 28$ ) TeV ở LHC.

TeV phù hợp với các dữ liệu thực nghiệm hiện nay cho sự trộn các meson  $K$ ,  $D$  và  $B$ . Tiết diện tán xạ này nằm trong khoảng 85 fb đến 10 fb cho khoảng giới hạn  $4 \text{ TeV} \leq M_{Z_2} \leq 5 \text{ TeV}$ .

Ở thang năng lượng khối tâm 28 TeV được đề xuất nâng cấp tại LHC, tiết diện tán xạ toàn phần sinh  $Z_2$  theo cơ chế Drell-Yan có giá trị tăng lên đáng kể từ 2.5 pb đến 0.7 pb, như mô tả ở đồ thị phải của hình 1.2. Theo đó, bề rộng rã ở LHC của quá trình cộng hưởng  $pp \rightarrow Z_2 \rightarrow l^+l^-$  ở  $\sqrt{S} = 28$  TeV sẽ có giá trị bậc  $10^{-2}$  pb đối với boson chuẩn 4 TeV, tương ứng với bậc của biên dưới của giá trị thực nghiệm ở LHC.

## Chương 2

# Thế Higgs và một số hiện tượng luận có liên quan đến Higgs trong Mô hình 3-3-1 với cơ chế CKS

### 2.1 Thế Higgs toàn phần

Thế Higgs toàn phần là tổng của ba phần (xin xem chi tiết trong bản đầy đủ/toàn văn của luận án):  $V = V_{LNC} + V_{LNV} + \mathcal{L}_{soft}^{scalars}$ . Các tương tác cần để sinh khói lượng các lepton mang điện và các quark:

$$L_{Higgsqcl} = \lambda_1 \chi \rho \eta \varphi_1^0 + \lambda_3 \eta^\dagger \rho \phi_3^- \xi^0 + \lambda_4 \phi_1^+ \phi_2^- \varphi_2^0 \xi^0 + w_1 (\varphi_2^0)^2 \varphi_1^0 + w_2 \chi^\dagger \rho \phi_3^- + h.c. \quad (2.1)$$

Để sinh khói lượng neutrino, ngoài số hạng đầu tiên ở (2.1), cần thêm:

$$L_{Higgsneutrino} = \lambda_{13} (\chi^\dagger \chi)^2 + \lambda_5 (\chi^\dagger \chi) (\eta^\dagger \eta) + [\lambda_{27} (\rho^\dagger \rho) (\chi^\dagger \eta + \eta^\dagger \chi) + \mu_3^2 \phi_4^- \phi_3^+ + h.c.] .$$

### 2.2 Thế Higgs bảo toàn số lepton

Phần vô hướng mang điện sẽ có hai trường không khói lượng  $\eta_2^+$  và  $\chi_2^+$ ; ba trường có khói lượng  $\phi_1^+, \phi_2^+$  và  $\phi_4^+$ ; và ba trạng thái trộn trong cơ sở  $(\rho_1^+, \phi_3^+, \rho_3^+)$ . Trong giới hạn  $v_\eta \ll v_\xi, \rho_1^+$  là trường vật lý với khói lượng  $m_{\rho_1^+}^2 = A + \frac{1}{2}v_\eta^2 (\lambda_6 + \lambda_9)$ , và hai trường vô hướng *bilepton* có khói lượng  $\rho_3^+$  và  $\phi_3^+$  trộn nhau.

Phần Higgs CP-lẻ (CP-odd Higgs): có ba trường không khói lượng là  $I_{\chi_3^0}, I_{\eta_1^0}$  và  $I_{\xi^0}$ , trường  $I_{\varphi_2}$  có bình phương khói lượng là  $m_{I_{\varphi_2}}^2 = \mu_{\varphi_2}^2 + B'_2 = \mu_{\varphi_2}^2 + \frac{1}{2} (v_\chi^2 \lambda_2^{\chi\varphi} + v_\eta^2 \lambda_2^{\eta\varphi} + v_\xi^2 \lambda_2^{\xi\varphi})$ , trường  $G_1$  và  $A_1$  (trong cơ sở  $(I_{\chi_1^0}, I_{\eta_3^0})$ ), trường  $A_2$  và  $A_3$  (trong cơ sở  $(I_{\chi_1^0}, I_{\eta_3^0})$ ).

Phần Higgs CP-chẵn: trường  $R_{\varphi_2}$  có  $m_{R_{\varphi_2}}^2 = m_{I_{\varphi_2}}^2$ , trường  $R_{G_1}$  và  $H_1$  (trong cơ sở  $(R_{\chi_1^0}, R_{\eta_3^0})$ ), trường  $H_2$  và  $H_3$  (trong cơ sở  $(R_\rho, R_{\varphi_1})$ ), ba trạng thái trộn trong cơ sở  $(R_{\chi_3^0}, R_{\eta_1^0}, R_{\xi^0})$  và ứng viên vật chất tối.

Ứng viên vật chất tối: trường vô hướng nhẹ nhất  $\varphi_2^0$  là ứng viên vật chất tối khả dĩ, có bình phương khối lượng là  $m_{R_{\varphi_2}}^2 = m_{I_{\varphi_2}}^2 = \frac{1}{2}v_\eta^2\lambda_2^{\eta\varphi}$ .

Đến đây ta có thể viết lại một phần của nội dung Higgs:  $\chi \simeq (G_{X^0}, G_{Y^-}, \frac{1}{\sqrt{2}}(v_\chi + R_{\chi_3^0} - iG_{Z'}))^T$ ,  $\rho = (\rho_1^+, \frac{1}{\sqrt{2}}(R_\rho - iI_\rho), \rho_3^+)^T$ ,  $\eta \simeq (\frac{1}{\sqrt{2}}(v_\eta + h - iG_Z), G_{W^-}, \omega)^T$ ,  $\varphi_2^0 = \frac{1}{\sqrt{2}}(R_{\varphi_2} - iI_{\varphi_2}) \sim \text{DM}$ ,  $\xi^0 = \frac{1}{\sqrt{2}}(v_\xi + R_{\xi^0} - iG_M)$ .

## 2.3 Các trường hợp giản lược

### 2.3.1 Phản Higgs CP-lé

Phản Higgs CP-lé dưới điều kiện giản lược được tóm tắt trong Bảng 2.1.

Bảng 2.1: Bình phương khối lượng của các trường Higgs CP-lé

Trường	$I_{\chi_1^0} = G_1 \in G_{X^0}$	$I_{\chi_3^0} = G_{Z'}$	$I_{\eta_1^0} = G_Z$	$I_{\eta_3^0} = A_1$	$I_\rho = A_2$	$I_{\varphi_1^0} = A_3$	$I_{\varphi_2^0} = DM$	$I_{\xi^0} = G_M$
B.P.K.L	0	0	0	$m_{A_1}^2$	$m_{A_2}^2$	$m_{A_3}^2$	$m_{\varphi_2^0}^2$	0

### 2.3.2 Phản Higgs CP-chẵn và Higgs như mô hình chuẩn

Phản Higgs CP-chẵn dưới điều kiện giản lược được cho trong bảng 2.2.

Bảng 2.2: Bình phương khối lượng của các trường Higgs CP-chẵn

Trường	$R_{\chi_1^0} \in G_{X^0}$	$R_{\chi_3^0} \simeq H_4$	$R_{\eta_1^0} = h$	$R_{\eta_3^0} = H_1$	$R_\rho = H_2$	$R_{\varphi_1^0} = H_3$	$R_{\varphi_2^0} = DM$	$R_{\xi^0} \simeq H_5$
B.P.K.L	0	$\lambda v_\chi^2$	$\frac{4}{3}\lambda v_\eta^2$	$m_{H_1}^2 = m_{A_1}^2$	$m_{H_2}^2$	$m_{H_3}^2$	$m_{R_{\varphi_2^0}}^2 = m_{I_{\varphi_2^0}}^2$	$3\lambda v_\chi^2$

### 2.3.3 Phản Higgs mang điện

Gồm hai trường không khối lượng là  $G_{W^+}$  và  $G_{Y^+}$ . Các trường có khối lượng là  $\phi_1^+, \phi_2^+$  và  $\phi_4^+$  và ba trạng thái trộn trong cơ sở  $(\rho_1^+, \rho_3^+, \phi_3^+)$ .

## 2.4 Thê Higgs vi phạm số lepton

Thê Higgs vi phạm số lepton, tức là  $V_{full} = V_{LNC} + V_{LNV}$  cho kết quả với cấu trúc hoàn toàn tương tự như trường hợp mênh Higgs bảo toàn số lepton.

## 2.5 Một số hiện tượng luận liên quan đến nội dung Higgs trong Mô hình 3-3-1 với cơ chế CKS

### 2.5.1 Đóng góp của phản vô hướng vào tham số $\rho$

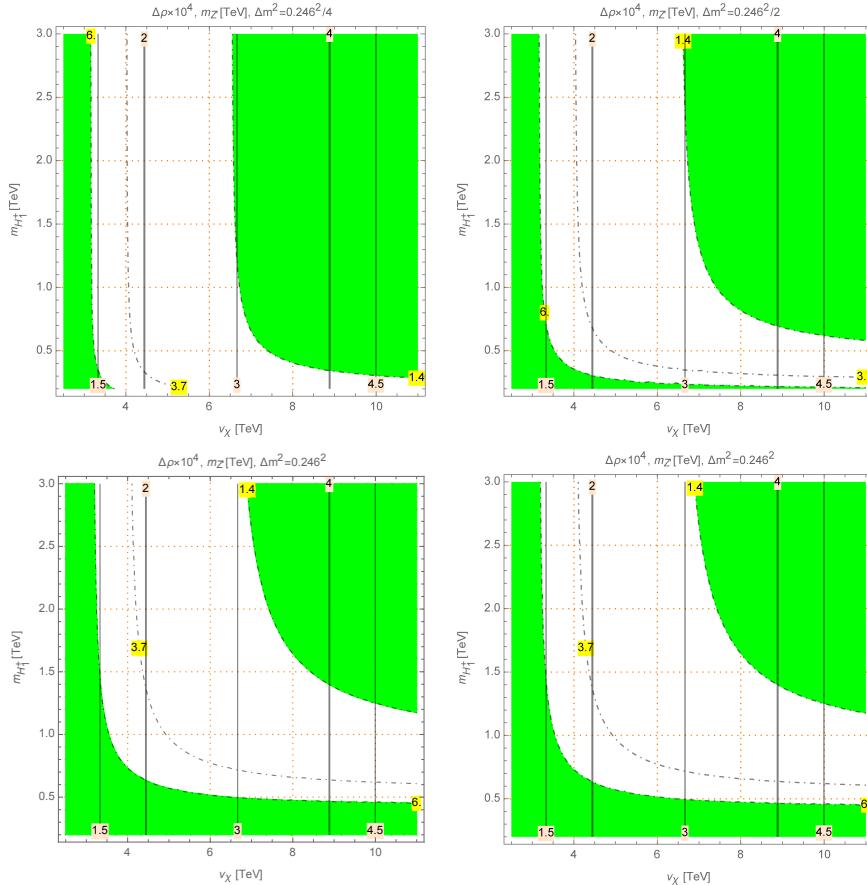
Các boson Higgs mới có thể cho đóng góp vào tham số  $\rho$  ở bậc một vòng, với biểu thức tổng quát được xác định như sau:

$$\Delta\rho = \rho - 1 = \frac{\Pi_{WW}(0)}{M_W^2} - \frac{\Pi_{ZZ}(0)}{M_Z^2}. \quad (2.2)$$

Trong mô hình đang xét, biểu thức đóng góp Higgs khác không duy nhất là

$$\Delta\rho^H = \frac{g^2}{16\pi^2 m_W^2} f_s(m_{H_1^+}, m_{R_\rho}) = \frac{\sqrt{2}G_F}{16\pi^2} f_s(m_{H_1^+}, m_{R_\rho}). \quad (2.3)$$

Miền được phép của không gian tham số tương ứng với một số giá trị cụ thể của  $\Delta m^2$  được diễn tả ở hình 2.1. Chúng ta có thể thấy rằng  $M_{Z'} \geq 4$  TeV là hoàn



Hình 2.1: Đồ thị đường bao mô tả tham số  $\rho$  (các đường gạch-chấm) và của  $M_{Z'}$  (các đường liền màu đen) là hàm của  $v_X$  và  $m_{H_1^+}$ . Các miền màu xanh bị loại trừ theo dữ liệu thực nghiệm  $\rho$ .

tòan được phép nếu  $\Delta m^2$  đủ lớn, chẳng hạn khi  $\Delta m^2 \geq (0.246 \text{ TeV})^2$ . Điều kiện này hoàn toàn hợp lý do khối lượng các boson Higgs trung hòa nặng được tiên đoán có giá trị ở thang TeV ngoài vùng loại trừ của LHC, cho thấy khối lượng của boson Higgs mang điện  $H_1^+$  nhiều khả năng cũng ở thang TeV.

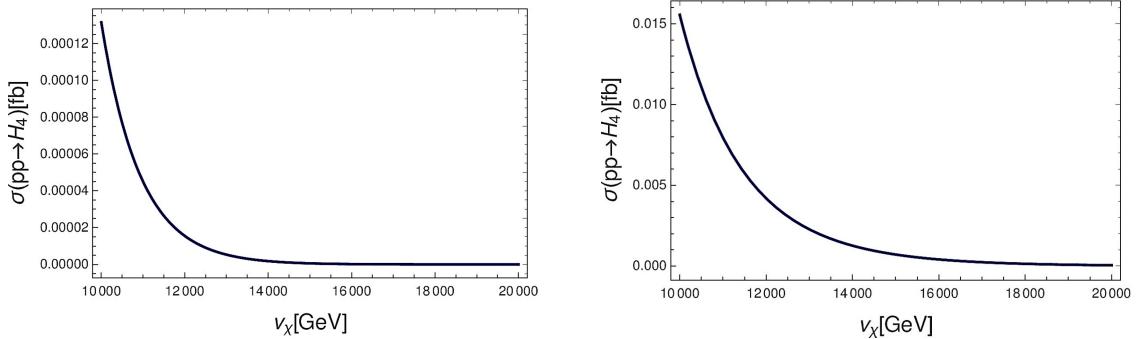
### 2.5.2 Hiệu tương luận về boson Higgs nặng $H_4$

Vô hướng  $H_4$  chủ yếu được sinh ra theo cơ chế truyền gluon trong các giản đồ bậc 1 vòng ba điểm chứa các quark ngoại lai nặng  $T$ ,  $J_1$  và  $J_2$ . Do đó, tiết diện tán xạ toàn phần sinh  $H_4$  theo cơ chế này trong máy va chạm proton-proton ở

năng lượng khối tâm  $\sqrt{S}$  được tính theo biểu thức sau

$$\begin{aligned}\sigma_{pp \rightarrow gg \rightarrow H_4}(S) &= \frac{\alpha_S^2 m_{H_4}^2 |(R_{CPeven3})_{22}|^2}{64\pi v_\chi^2 S} \left[ I\left(\frac{m_{H_4}^2}{m_T^2}\right) + I\left(\frac{m_{H_4}^2}{m_{J_1}^2}\right) + I\left(\frac{m_{H_4}^2}{m_{J_2}^2}\right) \right] \\ &\times \int_{\ln \sqrt{\frac{m_{H_4}^2}{S}}}^{-\ln \sqrt{\frac{m_{H_4}^2}{S}}} f_{p/g} \left( \sqrt{\frac{m_{H_4}^2}{S}} e^y, \mu^2 \right) f_{p/g} \left( \sqrt{\frac{m_{H_4}^2}{S}} e^{-y}, \mu^2 \right) dy.\end{aligned}$$

Trong hình 2.2, đồ thị trái (phải) biểu diễn tiết diện tán xạ toàn phần trong



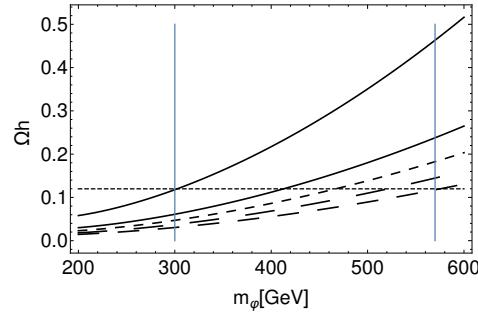
Hình 2.2: Tiết diện tán xạ toàn phần sinh  $H_4$  theo cơ chế truyền gluon ở LHC là hàm theo  $v_\chi$  với  $\sqrt{S} = 13$  ( $\sqrt{S} = 28$ ) TeV tương ứng đồ thị trái (phải).

trường hợp  $\sqrt{S} = 13$  ( $\sqrt{S} = 28$ ) TeV được biểu diễn theo hàm của  $v_\chi$ , trong khoảng  $10 \text{ TeV} \leq v_\chi \leq 20 \text{ TeV}$ , tương ứng với  $4.4 \text{ TeV} \leq m_{H_4} \leq 8.9 \text{ TeV}$ . Trường hợp  $\sqrt{S} = 28 \text{ TeV}$  cho  $\sigma_{pp \rightarrow gg \rightarrow H_4}(S) = 1.6 \times 10^{-2} \text{ fb}$  khi  $v_\chi = 10 \text{ TeV}$ . Do tiết diện sinh  $H_4$  rất nhỏ như vậy nên nghiên cứu chi tiết các kênh rã Higgs này không cần thiết. Chúng tôi cần nhấn mạnh các tín hiệu được kỳ vọng cho mô hình đang xét sẽ là quá trình sinh-rã  $Z'$  và các quá trình rã vi phạm số lepton mang điện  $\mu \rightarrow e\gamma$ . Kết quả quan sát chúng từ thực nghiệm sẽ mang tính quyết định đến sự sống còn của mô hình.

### 2.5.3 Mật độ tàn dư của vật chất tối (Dark matter relic density)

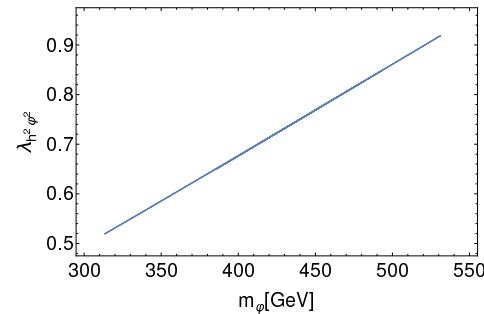
Mật độ tàn dư mà ta cần xét được cho bởi công thức  $\Omega h^2 = \frac{0.1pb}{\langle \sigma v \rangle}$  với

$$\langle \sigma v \rangle = \frac{A}{n_{eq}^2} = \frac{\frac{T}{32\pi^4} \int_{4m_\varphi^2}^{\infty} \sum_{p=W,Z,t,b,h} g_p^2 \frac{s\sqrt{s-4m_\varphi^2}}{2} v_{rel} \sigma(\varphi\varphi \rightarrow p\bar{p}) K_1\left(\frac{\sqrt{s}}{T}\right) ds}{\left(\frac{T}{2\pi^2} \sum_{p=W,Z,t,b,h} g_p m_\varphi^2 K_2\left(\frac{m_\varphi}{T}\right)\right)^2}. \quad (2.4)$$



Hình 2.3:  $\Omega h^2$  là hàm theo khối lượng  $m_\varphi$ . Các giá trị cụ thể  $\lambda_{h^2\varphi^2} = 0.5, 0.7, 0.8, 0.9, 1$  tương ứng với các đường đồ thị từ trên xuống dưới. Đường thẳng ngang biểu diễn giá trị thực nghiệm đo được  $\Omega h^2 = 0.1198$ .

Đồ thị biểu diễn mật độ tàn dư DM theo  $m_\varphi$  của ứng viên vật chất tối vô hướng  $\varphi$  được cho trên hình 2.3. Điều kiện ràng buộc của mật độ tàn dư dẫn đến mối tương quan tuyến tính giữa hệ số tự tương tác vô hướng bậc bốn  $\lambda_{h^2\varphi^2}$  và khối lượng  $m_\varphi$  (hình 2.4).



Hình 2.4: Tương quan giữa  $\lambda_{h^2\varphi^2}$  và  $m_\varphi$  với  $\Omega h^2 = 0.1198$ .

## Chương 3

### Biện luận các đặc tính của các mô hình 3-3-1 dựa vào dữ liệu tích yếu của $^{133}\text{Cs}$ và của proton

#### 3.1 Giá trị thực nghiệm của tích yếu của Cs-133, proton và công thức tích yếu trong các mô hình mở rộng

Thước đo vi phạm tính chẵn lẻ (PV) được thể hiện qua đại lượng vật lý được gọi là *tích yếu*  $Q_W$ , là một tham số điện yếu trong Lagrangian vi phạm chẵn lẻ. Trong các mô hình mở rộng SM (BSM), do có thêm các boson chuẩn trung hòa mới nên tích yếu của một đồng vị ( $X$ ) nhận thêm một lượng giá trị mà ta gọi là *bổ đính tích yếu* được định nghĩa như sau:

$$\Delta Q_W(^A_Z X) \equiv Q_W^{\text{BSM}}(^A_Z X) - Q_W^{\text{SM}}(^A_Z X). \quad (3.1)$$

Kết quả thực nghiệm mới đây của tích yếu của đồng vị bền Cesium là  $Q_W^{\text{exp}}(^{133}\text{Cs}) = -72.62 \pm 0.43$ . So với giá trị tính từ Mô hình chuẩn là  $Q_W^{\text{SM}}(^{133}\text{Cs}) = -73.23 \pm 0.01$ , bổ đính tích yếu  $\Delta Q_W$  cần để giải thích được thực nghiệm là

$$\Delta Q_W(^{133}\text{Cs}) \equiv Q_W^{\text{exp}}(^{133}\text{Cs}) - Q_W^{\text{SM}}(^{133}\text{Cs}) = 0.61 \pm 0.43, \quad (3.2)$$

Mới đây, các thực nghiệm về vi phạm chẵn lẻ trong tán xạ electron (PVES) đã xác định giá trị cập nhật nhất của tích yếu proton là  $Q_W^{\text{exp}}(^1_1 p) = 0.0719 \pm 0.0045$ . Giá trị này được công nhận phù hợp rất tốt với giá trị tính theo Mô hình chuẩn,  $Q_W^{\text{SM}}(^1_1 p) = 0.0708 \pm 0.0003$ , tương ứng giá thực nghiệm cho bổ đính tích yếu proton  $\Delta Q_W(^1_1 p) = 0.0011 \pm 0.0045$ .

Xét một BSM có thêm một boson chuẩn trung hòa nặng  $Z'$  ngoài boson chuẩn trung hòa  $Z$  đã có trong SM, biểu thức bổ đính tích yếu cho đồng vị  $^A_Z X$  là:

$$\begin{aligned} \Delta Q_W^{\text{BSM}}(^A_Z X) &\simeq -(A - 2.39782 \times Z) \Delta \rho \\ &- 2s_\phi \{ A [2g'_V(d) + g'_V(u) + g'_A(e)] \} \end{aligned} \quad (3.3)$$

$$\begin{aligned}
& - Z \left[ g'_A(e) \times 1.07512 + g'_V(d) - g'_V(u) \right] \} \times \frac{g(M_{Z_2})}{g(M_{Z_1})} \\
& - 4g'_A(e) \left( \frac{M_{Z_1}^2}{M_{Z_2}^2} \right) \left\{ A \left[ 2g'_V(d) + g'_V(u) \right] + Z \left[ g'_V(u) - g'_V(d) \right] \right\} \times \frac{g^2(M_{Z_2})}{g^2(M_{Z_1})}.
\end{aligned}$$

Kết quả tổng hợp từ tất cả các dữ liệu thực nghiệm mới nhất cho các tích yếu, tham số  $\rho$ , và giới hạn nhiễu loạn của hằng số tương tác Yukawa sinh khối lượng quark top sẽ ảnh hưởng rất mạnh các vùng không gian tham số được phép của ba lớp mô hình khác nhau A, B và C trong tập các mô hình 3-3-1 đã biết.

### 3.2 Hiệu tượng APV trong mô hình 3-3-1 với cơ chế CKS

Bảng 3.1: Các hằng số tương tác vector và vector-trục dùng cho các tính toán APV trong SM và 3-3-1CKS.

Mô hình chuẩn	Mô hình 3-3-1 CKS
$g_A(e) = -\frac{1}{2}$	$g'_A(e) = +\frac{1}{2\sqrt{3-4s_W^2}}$
$g_V(u) = \frac{1}{2} - \frac{4s_W^2}{3}$	$g'_V(u) = \frac{-3+8s_W^2}{6\sqrt{3-4s_W^2}}$
$g_V(d) = -\frac{1}{2} + \frac{2s_W^2}{3}$	$g'_V(d) = \frac{-3+2s_W^2}{6\sqrt{3-4s_W^2}}$

#### 3.2.1 Biểu thức bô đính tích yếu trong Mô hình 3-3-1 CKS

Sử dụng các định nghĩa và kết quả sau đây

$$\rho = \frac{m_W^2}{c_W^2 M_{Z_1}^2}, \Delta\rho \equiv \rho - 1 \simeq \alpha T, T = T_{ZZ'} + T_{oblique}, T_{ZZ'} \simeq \frac{\tan^2 \phi}{\alpha} \left( \frac{M_{Z_2}^2}{M_{Z_1}^2} - 1 \right)$$

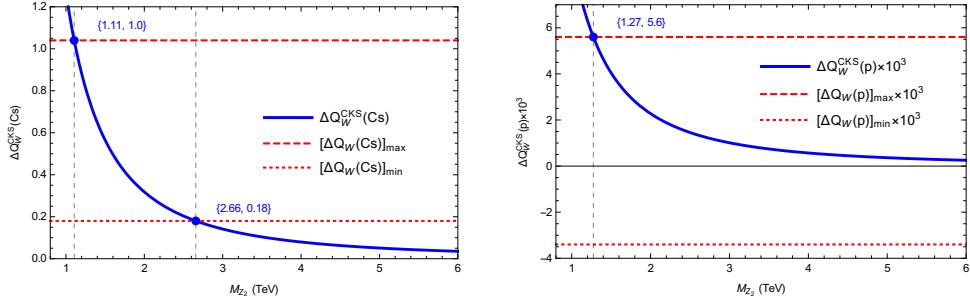
đưa vào công thức (3.3) với các giá trị  $g'_A(e), g'_A(d)$ , và  $g'_A(u)$  ở Bảng 3.1 ta được:

$$\begin{aligned}
\Delta Q_W^{\text{CKS}}(^{133}\text{Cs}) &= -1.12004 \times \alpha (T_{ZZ'}^{\text{CKS}} + T_{oblique}^{\text{CKS}}) \\
&+ \left[ s_\phi \times 122.655 \times \frac{g(M_{Z_2})}{g(M_{Z_1})} + 120.743 \left( \frac{M_{Z_1}^2}{M_{Z_2}^2} \right) \times \frac{g^2(M_{Z_2})}{g^2(M_{Z_1})} \right]. \quad (3.4)
\end{aligned}$$

Tích yếu của proton được xác định bởi biểu thức:

$$\Delta Q_W^{\text{CKS}}(^1\text{H}) = 1.140 \Delta\rho + \left[ 0.437 \times \frac{g(M_{Z_2})}{g(M_{Z_1})} + 0.777 \times \frac{g^2(M_{Z_2})}{g^2(M_{Z_1})} \right] \left( \frac{M_{Z_1}^2}{M_{Z_2}^2} \right). \quad (3.5)$$

Giới hạn  $M_{Z_2}$  thu được từ các đồ thị hình 3.1:  $1.27 \text{ TeV} \leq M_{Z_2} \leq 2.66 \text{ TeV}$ .



Hình 3.1:  $\Delta Q_W^{\text{CKS}}(Cs)$  và  $\Delta Q_W^{\text{CKS}}(p)$  là hàm của  $M_{Z_2}$

### 3.3 Hiệu tượng APV trong các mô hình 3-3-1- $\beta$

Có ba cách gán khác nhau đối với các quark phân cực trái, tức là gán thế hệ quark thứ ba, thứ hai hoặc thứ nhất là tam tuyến nhóm  $SU(3)_L$ . Ba cách gán này tương ứng cho ra ba loại mô hình loại A, B, và C, trong đó hai mô hình A, B cho cùng phép gán thế hệ thứ nhất, cho hệ quả dự đoán APV như nhau. Vì vậy, bảng 3.2 chỉ liệt kê các tương tác cho hai mô hình A và C. Tiếp theo chúng

Bảng 3.2: Các hằng số tương tác vector và vector-trục cần để tính APV trong mô hình 3-3-1 $\beta$ .

Mô hình chuẩn	Mô hình 3-3-1 loại A	Mô hình 3-3-1 loại C
$g_A(e) = -\frac{1}{2}$	$g'_A(e) = \frac{1-(1+\sqrt{3}\beta)s_W^2}{2\sqrt{3}\sqrt{1-(1+\beta^2)s_W^2}}$	$g'_A(e) = \frac{1-(1+\sqrt{3}\beta)s_W^2}{2\sqrt{3}\sqrt{1-(1+\beta^2)s_W^2}}$
$g_V(u) = \frac{1}{2} - \frac{4s_W^2}{3}$	$g'_V(u) = \frac{-3+(3-5\sqrt{3}\beta)s_W^2}{6\sqrt{3}\sqrt{1-(1+\beta^2)s_W^2}}$	$g'_V(u) = \frac{3-(3+5\sqrt{3}\beta)s_W^2}{6\sqrt{3}\sqrt{1-(1+\beta^2)s_W^2}}$
$g_V(d) = -\frac{1}{2} + \frac{2s_W^2}{3}$	$g'_V(d) = \frac{-3+(3+\sqrt{3}\beta)s_W^2}{6\sqrt{3}\sqrt{1-(1+\beta^2)s_W^2}}$	$g'_V(d) = \frac{3-(3-\sqrt{3}\beta)s_W^2}{6\sqrt{3}\sqrt{1-(1+\beta^2)s_W^2}}$

tôi tính bổ đính tích yếu  $\Delta Q_W^{331}(Cs)$  cho mô hình 3-3-1- $\beta$ , sử dụng biểu thức góc trộn  $Z - Z'$  chứa tham số  $\beta$ , bỏ qua đóng góp của số hạng chứa  $\Delta\rho$ .

Tham số  $t_v$  trong các mô hình 3-3-1 bị ràng buộc bởi tương tác Yukawa sinh khôi lượng quark top, tương tự các thảo luận cho các mô hình hai lưỡng tuyến Higgs(2HDM) đã biết. Do đó chúng tôi dùng giới hạn  $t_v \leq 3.4$  cho mô hình loại A và  $t_v \geq 0.3$  cho các mô hình loại B, C.

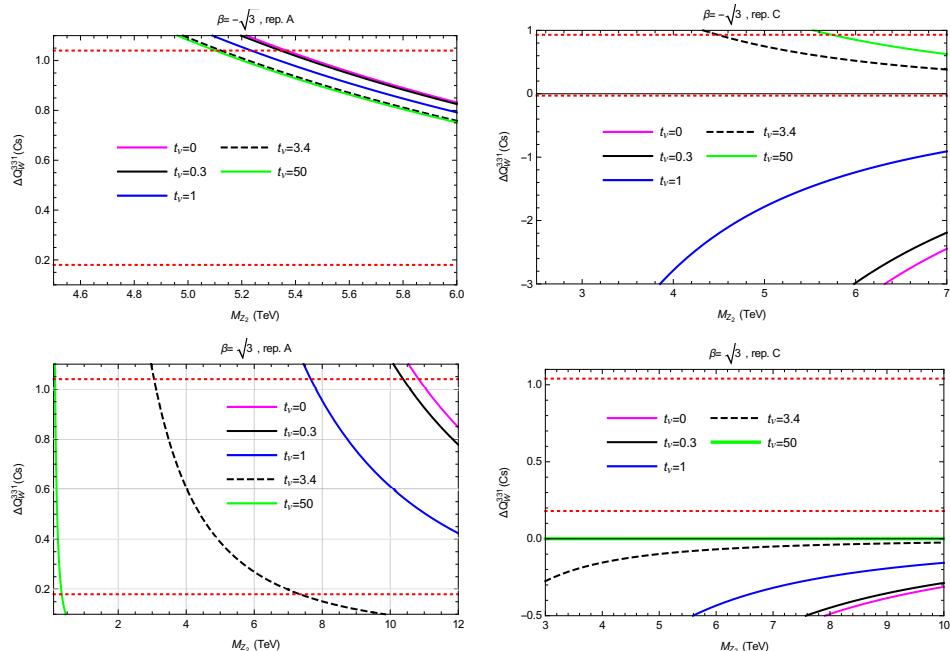
Trong khảo sát số chúng tôi sẽ tìm miền không gian tham số hợp lệ, tức là thỏa mãn cả ba ràng buộc bởi dữ liệu APV của Cesium, dữ liệu PVES của proton và giới hạn nhiễu loạn của hằng số tương tác Yukawa đối với quark top. Chúng tôi sẽ tập trung khảo sát cho các mô hình loại A và C. Việc khảo sát cho mô hình loại B sẽ được xác định dựa trên tích yếu tiên đoán bởi mô hình loại A và điều kiện  $t_v \geq 0.3$ . Chúng tôi thu được kết quả khảo sát số được trình bày

như dưới đây.

### 3.3.1 APV trong mô hình 3-3-1 với $\beta = \pm\sqrt{3}$

#### a) Đối với mô hình chứa lepton ngoại lai

Kết quả khảo sát số trong trường hợp  $\beta = \pm\sqrt{3}$  được rút ra dựa vào dữ liệu APV của Cesium được minh họa ở Hình 3.2, từ đây các giá trị biên dưới của



Hình 3.2: Đồ thị trái (phải) mô tả  $\Delta Q_W^{331}(Cs)$  là hàm theo  $M_{Z_2}$  cho mô hình loại A (C). Hai đường ngang màu đỏ ứng với hai biên trên và dưới giá trị thực nghiệm  $\Delta Q_W(Cs)$ .

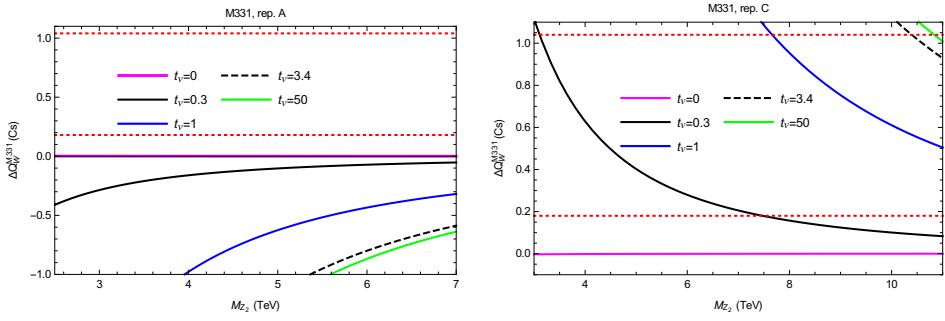
$M_{Z_2}$  được liệt kê trong Bảng 3.3.

Bảng 3.3: Các cận dưới của  $M_{Z_2}[\text{TeV}]$

$\beta = -\sqrt{3}$						$\beta = +\sqrt{3}$					
$t_v$	0	0.3	1	3.4	50	$t_v$	0	0.3	1	3.4	50
A	5.37	5.35	5.24	5.12	5.10	A	10.84	10.38	7.66	3.05	0.14
C	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>	4.24	5.43	C	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>

#### b) Mô hình 3-3-1 tối thiểu

Các kết quả khảo sát số cho phần này được minh họa ở Hình 3.3. Dễ thấy rằng trong mô hình loại A, mọi đồ thị đều nằm ngoài miền tham số được phép. Ngược lại, mô hình loại C vẫn cho phép tồn tại các giá trị được phép  $M_{Z_2}$ , giảm theo giá trị  $t_v$  giảm. Một số giá trị biên cụ thể được tóm tắt trong Bảng 3.4.



Hình 3.3:  $\Delta Q_W^{M331}(Cs)$  là hàm theo  $M_{Z_2}$  đối với mô hình 3-3-1 loại A (C) được mô tả ở hình bên trái (phải). Tính toán với  $s_W^2(M_{Z_2}) = 0.246$  và  $g = 0.636$ .

Bảng 3.4: Miền giá trị của  $M_{Z_2}$  được tiên đoán bởi mô hình 331 tối thiểu.

$t_v$	0	0.3	1	3.4	50
A	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>
C	<b>X</b>	[3.11, 7.47]	[7.66, 18.41]	[10.40, 24.99]	[10.83, 26.04]

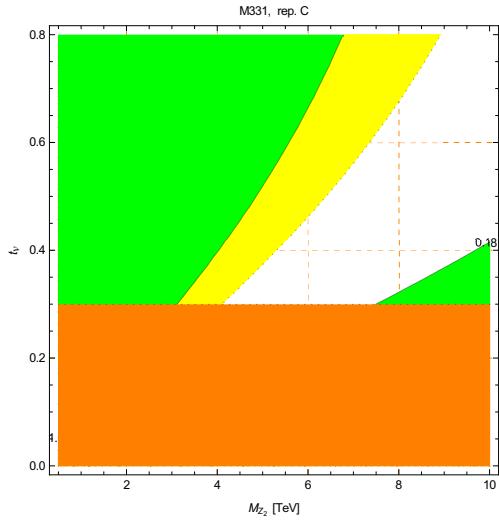
Chúng tôi cũng thấy rằng dữ liệu APV của Cesium đã loại bỏ mô hình 3-3-1 loại A nhưng vẫn cho phép mô hình loại C tồn tại với  $t_v$  nhỏ, chẳng hạn  $m_{Z_2} \geq 3.11$  TeV khi  $t_v = 0.3$ . Kết hợp với điều kiện  $t_v \geq 0.3$  và dữ liệu PVES của proton sẽ tạo ra các giá trị biên dưới chặt hơn  $m_{Z_2} \geq 4$ , như thể hiện ở Hình 3.4. Hơn nữa, giá trị cận dưới của  $M_{Z_2}$  được rút ra từ dữ liệu PVES của proton là nghiêm ngặt hơn từ dữ liệu APV của Cesium.

### 3.3.2 APV trong mô hình 3-3-1 với $\beta = \pm \frac{1}{\sqrt{3}}$

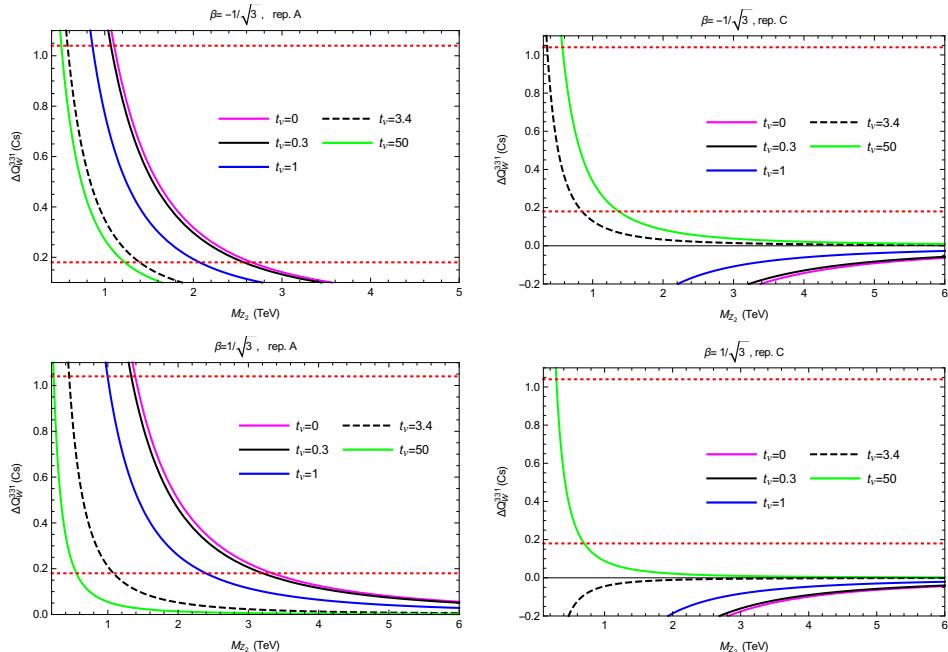
Kết quả tính số thu được dựa vào dữ liệu APV của Cesium được thể hiện ở hình 3.5. Một số giới hạn thu được trong trường hợp  $\beta = \pm \frac{1}{\sqrt{3}}$  được tổng hợp trong Bảng 3.5.

Bảng 3.5: Miền giá trị của  $M_{Z_2}$  (TeV) trong trường hợp  $\beta = \pm \frac{1}{\sqrt{3}}$ .

	$t_v$	0	0.3	1	3.4	50
$\beta = -\frac{1}{\sqrt{3}}$	A	[1.11, 2.66]	[1.06, 2.57]	[0.86, 2.07]	[0.58, 1.39]	[0.51, 1.23]
	C	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>	[0.35, 0.85]	[0.57, 1.37]
$\beta = +\frac{1}{\sqrt{3}}$	A	[1.39, 3.34]	[1.33, 3.20]	[1.00, 2.39]	[0.45, 1.08]	[0.23, 0.55]
	C	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>	[0.29, 0.70]



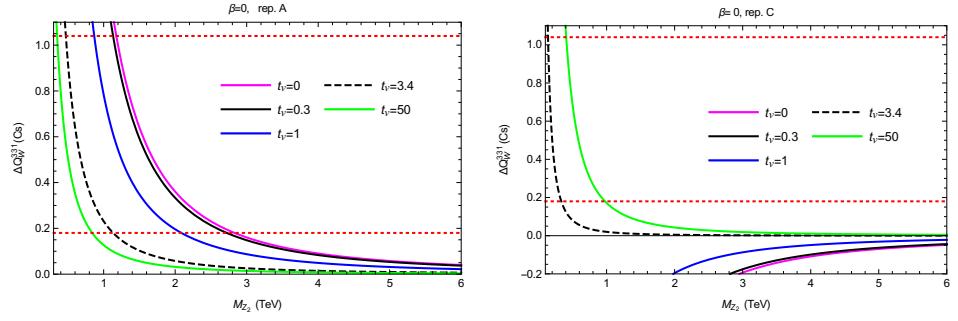
Hình 3.4: Miền không gian tham số được phép trong mặt phẳng  $M_{Z_2} - t_v$  cho mô hình M331 loại C. Vùng màu cam, xanh và vàng lần lượt bị loại trừ do điều kiện  $t_v \geq 0.3$ , dữ liệu APV của Cesium, và dữ liệu PVES của proton.



Hình 3.5:  $\Delta Q_W^{331}(Cs)$  là hàm theo  $M_{Z_2}$  với  $\beta = \pm \frac{1}{\sqrt{3}}$  đối với mô hình loại A (C) được minh họa ở hình bên trái (phải).

### 3.3.3 APV trong mô hình 3-3-1 với $\beta = 0$

Kết quả tính số trong trường hợp này cho hai mô hình loại A và C được thể hiện ở Hình 3.6. Các kết quả khác được tóm tắt trong Bảng 3.6. Ở đây chúng tôi thấy có sự tương tự như với trường hợp  $\beta = \pm \frac{1}{\sqrt{3}}$ , cho kết quả dự đoán  $M_{Z_2}$  khá nhẹ, đã được đề cập trong các mô hình trước đây. Điểm khác biệt là khoảng



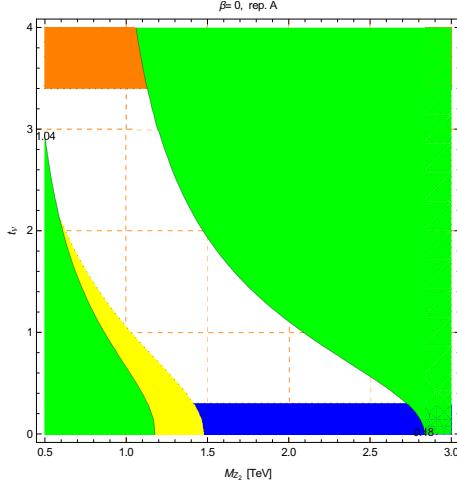
Hình 3.6: Đồ thị trái (phải) biểu diễn  $\Delta Q_W^{331}(Cs)$  là hàm theo  $M_{Z_2}$  với  $\beta = 0$ .

Bảng 3.6: Miền giá trị được tiên đoán của  $M_{Z_2}$  trong trường hợp  $\beta = 0$ .

$t_v$	0	0.3	1	3.4	50
A	[1.18, 2.83]	[1.13, 2.72]	[0.87, 2.09]	[0.47, 1.13]	[0.35, 0.84]
C	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>	[0.14, 0.33]	[0.41, 0.98]

cho phép của  $M_{Z_2}$  dời chuyển theo chiều tăng khi  $\beta$  biến đổi từ  $-\frac{1}{\sqrt{3}}$  đến  $\frac{1}{\sqrt{3}}$ .

Mô hình loại B cho cùng kết quả APV như mô hình loại A, chỉ khác miền không gian tham số của nó phải thỏa  $t_v > 0.3$ , đã được vẽ trong hình 3.7. Mô



Hình 3.7: Miền không gian tham số được phép trong mặt phẳng  $M_{Z_2} - t_v$  với  $\beta = 0$ . Các miền màu cam, xanh lá, vàng và xanh biển lần lượt bị loại trừ do các điều kiện  $t_v \leq 3.4$ , dữ liệu APV của Cesium, dữ liệu PVES của proton và  $t_v \geq 0.3$ .

hình loại B loại trừ đi các vùng tham số tương ứng với  $M_{Z_2}$  lớn.

## Phần kết luận

Trong luận án này, trong khuôn khổ mô hình 3-3-1CKS, chúng tôi đã xây dựng và khảo sát đầy đủ phần boson chuẩn, gồm: xác định các trạng thái vật lý, các biểu thức góc trộn và khối lượng của chúng. Ngoài ra, dựa vào dữ liệu thực nghiệm tham số  $\rho$  chúng tôi xác định được khoảng giá trị được phép của trung bình chẵn không  $v_\chi$  và khối lượng boson chuẩn trung hòa mới  $Z_2$ . Từ đây, chúng tôi khảo sát tiết diện tán xạ toàn phần sinh  $Z'$  ở LHC theo cơ chế Drell-Yan.

Tiếp theo, phô Higgs trong mô hình 3-3-1 CKS cũng được xây dựng và biện luận, gồm: thế Higgs toàn phần, thế Higgs bảo toàn số lepton và thế Higgs vi phạm số lepton. Ngoài việc đồng nhất được boson Higgs như mô hình chuẩn (SM-like) và ứng viên Vật chất tối, luận án này cũng tính toán chi tiết trường hợp giản lược của nội dung Higgs, từ đó tìm được đóng góp của phần vô hướng vào tham số  $\rho$ , khảo sát hiện tượng luận về boson Higgs nặng  $H_4$  và mật độ tàn dư của Vật chất tối.

Chúng tôi cũng sử dụng những dữ liệu mới nhất cho các tích yếu thu được từ thực nghiệm APV của Cesium, PVES của proton và giới hạn nhiễu loạn của hằng số tương tác Yukawa của quark top để đánh giá miền không gian tham số được phép của các mô hình 3-3-1 và tiên đoán về giới hạn của khối lượng boson chuẩn nặng  $Z_2$ . Nhóm các mô hình này được phân thành ba lớp mô hình 3-3-1 loại A, B và C tùy theo cách gán tam tuyến  $SU(3)_L$  cho ba thế hệ quark trái. Tổng hợp các kết quả khảo sát số sử dụng phần mềm *Mathematica* chúng tôi đã thu được các kết quả rất thú vị, cho thấy ngoài các đặc điểm chung, ba lớp mô hình trên dự đoán các vùng tham số được phép khác nhau, dẫn đến khả năng loại trừ một số mô hình khi các thực nghiệm tiếp tục được nâng cấp.

## Danh sách các công bố khoa học của tác giả

1. N.V.Hop, *The measurement on inertia momentum of rigid bodies with the SIC system*, The Scientific and Technology Publication of CTU (ISSN: 1859-2333), 2004, CTU Publisher.
2. L.T.Hai, N.V.Hop, N.T.Phong, H.N.Long, *Fermion mass correction to the Z partial decay width*, Communication of Physics (ISSN: 0868-3166) vol. 13, no.1, p. 58-61, 2003.
3. N.V.Hop, T.D.Tham, N.H.Thao, *Numerical comparison of Passarino-Veltman functions in analytic forms with LoopTools ones for boson decay*, Journal of Science of Hanoi Pedagogical University 2 (ISSN: 1859-2325) vol.50, p.46-56, 2017.
4. H.N.Long, N.V.Hop, L.T.Hue, N.T.T.Van, *Constraining heavy neutral gauge boson Z' in the 3-3-1 models by weak charge data of Cesium and proton*, Nuclear Physics B (ISSN: 0550-3213) Vol.943, 2019.
5. H. N. Long, N. V. Hop, L. T. Hue, N. H. Thao, A. E. Cárcamo Hernández, *Higgs and gauge boson phenomenology of the 3-3-1 model with CKS mechanism*, Physical Review D (ISSN: 2470-0010) Vol.100, 2019.

*Các kết quả chính trong luận án này dựa trên các công bố số 4 và 5 ở danh sách trên.*