



BẤT ĐỐI XỨNG TIỀN - LÙI (FORWARD - BACKWARD ASYMMETRY) CỦA TOP QUARK TRONG MÔ HÌNH 3-3-1

Hoàng Ngọc Long¹ và Trịnh Thị Hồng²

¹ Viện Vật lý Hà Nội

² Học viên Khoa Khoa học Tự nhiên, Trường Đại học Cần Thơ

Thông tin chung:

Ngày nhận: 14/04/2014

Ngày chấp nhận: 28/08/2014

Title:

Top quark forward - backward asymmetry from the 331 model

Từ khóa:

Bất đối xứng tiến - lùi, mô hình 3-3-1, top quark.

Keywords:

Forward - backward asymmetry, 331 model, top quark

ABSTRACT

The forward-backward asymmetry AFB in top quark pair production is probably related to the contribution of new particles. The results from Tevatron's forward-backward asymmetry in top quark pair production deviate from the standard model prediction at the level of 2 sigma, which motivates the application of alternative models to introduce new states. However, as the standard model predictions for the total cross section σ_{tt} and invariant mass distribution M_{tt} for this process are in good agreement with experiments, any alternative model must reproduce these predictions. These models can be classified into two categories: One introduces the s -channel exchange of new vector bosons with chiral couplings to the light quarks and to the top quark; the other relies on the t -channel exchange of particles with large flavor-violating couplings in the quark sector. In this work we employ the minimal version of the $SU(3)_C \otimes SU(3)_L \otimes U(1)_X$ model (3-3-1 model) to introduces both s - and t -channel nonstandard contributions for the top quark pair production in proton antiproton collisions. The result reinforces the role of the 3-3-1 model for any new physics effect.

TÓM TẮT

Bất đối xứng tiến - lùi của top quark được dự đoán có liên quan đến sự đóng góp của các hạt mới. Kết quả tại Tevatron về tính toán bất đối xứng tiến lùi thì có hơn 2σ độ lệch chuẩn so với từ dự đoán của mô hình chuẩn và đó là lý do thúc đẩy việc áp dụng các mô hình mở rộng vào các hiện tượng vật lý mới. Tuy nhiên, như các dự đoán của mô hình chuẩn cho tiết diện toàn phần σ_{tt} và sự bất biến trong phân bố của khối lượng M_{tt} cho quá trình này là phù hợp tốt với thực nghiệm, do đó bất kỳ một mô hình mở rộng nào cũng phải thỏa mãn yêu cầu này. Trong mô hình chuẩn mở rộng có sự đóng góp của Z' boson ở cả hai kênh: một dựa vào sự trao đổi vector boson mới với tương tác chiral để nối các quark u, d và quark top ở kênh s , và một dựa trên sự thay đổi của các hạt vị lớn với vị phạm khớp nối ở kênh t . Trong bài báo này, chúng tôi sử dụng mô hình 3-3-1 tối thiểu $SU(3)_C \otimes SU(3)_L \otimes U(1)_X$ để xét cả hai đóng góp trên trong va chạm proton - phản proton. Kết quả này sẽ củng cố vai trò của mô hình 3-3-1 cho các hiệu ứng vật lý mới mà vật lý hạt sẽ gặp phải trong tương lai gần [2].

1 GIỚI THIỆU

Như một tất yếu của khoa học, từ mô hình thống nhất tương tác điện từ và tương tác yếu của S.L.Glashow - S. Weinberg - A. Salam (GWS) kết hợp với "Sắc động học lượng tử" (Quantum Chromo Dynamic - QCD) mô hình chuẩn (Standard Model - SM) mô hình thống nhất tương tác điện yếu và mạnh ra đời. Thành công lớn nhất của mô hình chuẩn là thống nhất được các tương tác vật lý bằng một nguyên lý chuẩn (các đối xứng chuẩn), tìm ra các boson chuẩn với khối lượng được tạo ra bằng cách phá vỡ đối xứng tự phát.

Tuy có nhiều thành công, nhưng mô hình chuẩn còn một số hạn chế, khiến nó không thể là mô hình thống nhất tương tác cuối cùng. Do đó, chúng ta cần phải mở rộng mô hình chuẩn. Có nhiều mô hình chuẩn mở rộng như mô hình chuẩn siêu đối xứng tối thiểu (MSSM), mô hình đối xứng phải trái, và các mô hình 3-3-1...

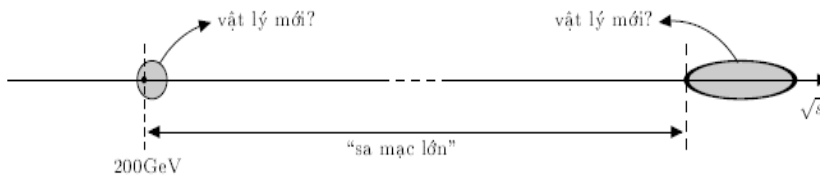
Sự vận hành của các máy gia tốc ở các vùng năng lượng cao hơn đã tạo đà cho các nghiên cứu của vật lý hạt trong tương lai. Máy va chạm LHC là một công cụ điển hình. Máy sử dụng hai chùm proton gia tốc với tốc độ rất cao sau đó cho va chạm vào nhau theo kiểu đối đầu. Vì proton cấu tạo từ 3 quark gồm: *uud* nên đây là tổ hợp rất phức tạp. Hơn nữa do proton mang điện dương nên khi chúng tiến sát vào nhau thì lực đẩy Coulomb trở nên rất lớn, do đó xảy ra cả những quá trình không xác định (underlying event) dẫn đến sự xuất hiện của các phân quark. Tán xạ quark và phân quark là một quá trình phức tạp, có nhiều thông số cần được tính toán và kiểm chứng với số liệu thực nghiệm. Bất đối xứng tiến - lùi của top quark là một quá trình như vậy.

Trong thời gian gần đây số liệu về bất đối xứng tiến - lùi của top quark có sự sai khác giữa lý thuyết và thực nghiệm, do đó việc giải thích sự sai khác giữa lý thuyết và thực nghiệm đang là vấn đề nóng hổi. Trong mô hình 3-3-1, với sự tham gia Z' boson vào cả 2 kênh *s* và *t* trong tán xạ quark và phân quark, hứa hẹn lời giải thích thỏa đáng cho vấn đề A_{FB} của top quark. Mặt khác, khối lượng của top quark nằm trong tầm ngắm của các máy gia tốc như LHC vì vậy các tiên đoán về chúng sẽ dễ dàng được thực nghiệm kiểm chứng.

Đã có rất nhiều các nghiên cứu về vấn đề này nhưng chủ yếu ở góc độ tính toán, mô phỏng bằng máy [2-18, 24-26]. Do đó, sẽ rất thú vị để nghiên cứu tính bất đối xứng tiến - lùi của các quark trong các mô hình chuẩn mở rộng bằng tính toán cụ thể sau đó so sánh với thực nghiệm kiểm chứng sự đúng đắn duy nhất của mô hình chuẩn.

2 VẬT LÝ MỚI VÀ THỰC TRẠNG NGHIÊN CỨU BẤT ĐỐI XỨNG TIẾN - LÙI CỦA TOP QUARK

Các mô hình chuẩn mở rộng (gồm cả các mô hình 3-3-1) áp dụng cách mở rộng theo cách xét cùng một trường như mô hình chuẩn, nhưng có các tương tác mới. Mô hình chuẩn chỉ đúng ở miền năng lượng thấp cỡ 200 GeV, là miền năng lượng mà góc trộn Weinberg và Lagrangian của dòng trung hòa đã được xác định. Những quá trình ở miền năng lượng cao hơn là một bí ẩn. Vậy "vật lý mới" là quá trình nghiên cứu các hiện tượng vật lý ở miền năng lượng cao hơn miền năng lượng của SM. Theo SM thì bên trên miền năng lượng của mô hình chuẩn sẽ không tồn tại quá trình vật lý mới, gọi là "sa mạc lớn" (grand desert) xem Hình 1.



Hình 1: Vật lý mới

Theo các lý thuyết thống nhất thì "vật lý mới" chỉ hiện diện ở miền năng lượng rất cao (cỡ năng lượng Planck) trên cả sa mạc (phần elip). Theo nhiều nhà khoa học thì "vật lý mới" có thể nằm ngay trong một miền năng lượng không quá lớn so với mô hình chuẩn (phần tròn). Các mô hình 3-3-1

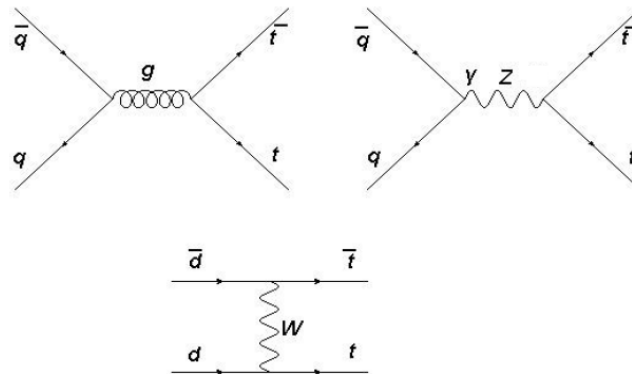
khai thác theo khả năng thứ hai để đi tìm các tín hiệu vật lý mới.

Kết quả thực nghiệm từ các máy gia tốc lớn như LEP, SLAC, Tevatron vv. phù hợp với tất cả các dự đoán của mô hình chuẩn. Tất cả các hạt dự đoán đó đã được phát hiện kể cả hạt Higgs. Tuy nhiên, một số dấu hiệu cho thấy mô hình chuẩn

không thể giải thích tất cả các kết quả thực nghiệm. Ví dụ, từ dao động của neutrino và góc trộn Weinberg vv. Một dấu hiệu khác cho thấy những khó khăn phải đối mặt với thực nghiệm xuất phát từ bất đối xứng tiến - lùi của top quark (A_{FB}) đo tại Tevatron trong va chạm proton và phản hạt của chúng. Đây là vấn đề nóng hổi cần được quan tâm đặc biệt. Do đó, các máy gia tốc lớn hàng đầu thế giới như LHC đã kiểm chứng và cho ra không ít những số liệu chính xác [2-7, 13-25]. Như vậy, sau hạt Higgs nhiều thí nghiệm nữa còn phải tiếp tục để giải mã một số bí ẩn khác, đó là bí ẩn về vật chất tối, sự vi phạm số lepton... Những vấn đề

nóng hổi này không có trong mô hình chuẩn, với những mô hình chuẩn mở rộng các nhà vật lý hạt đã và đang giải mã những vấn đề trên.

Trước khi đến với các mô hình mở rộng chúng ta xét bất đối xứng tiến - lùi của top quark trong mô hình chuẩn. Trong mô hình chuẩn bất đối xứng tiến - lùi của top quark được xác định qua đóng góp của các hạt truyền: photon, gluon, W , và Z boson. Trong đó gluon, photon và Z boson cho đóng góp ở kênh s và W cho đóng góp ở kênh t [3, 14, 15] như các giản đồ Feynman trên Hình 2.

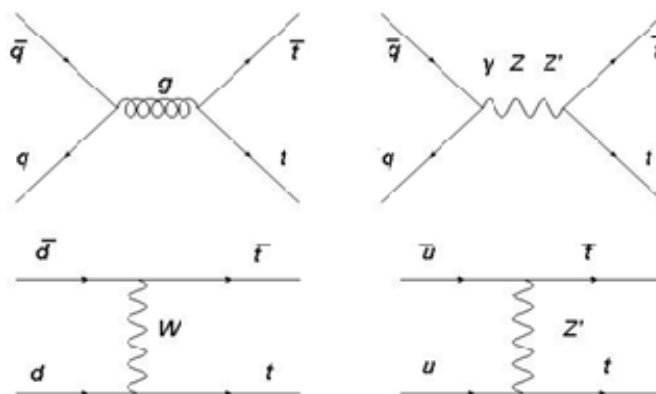


Hình 2: Giản đồ Feynman cho SM

Nếu ta xét trong mô hình 3-3-1, bất đối xứng tiến - lùi của top quark được xác định thông qua các giản đồ Feynman cho bởi Hình 3.

Trong mô hình 3-3-1 có thêm đóng góp của Z' boson ở cả kênh s và t . Thực nghiệm ở các trung

tâm nghiên cứu lớn hàng đầu thế giới (CDF, D0 - LHC) đã chứng tỏ rằng giá trị bất đối xứng tiến lùi của top quark lớn hơn nhiều so với tính toán lý thuyết của SM mặc dù sự phân bố khối lượng và độ lệch chuẩn cho kết quả phù hợp [2-26].



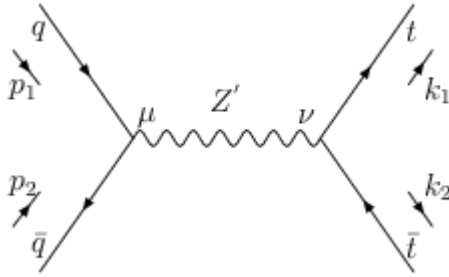
Hình 3: Giản đồ Feynman cho mô hình 3-3-1

Bất đối xứng tiến - lùi của top quark được giải thích từ đóng góp của vật lý mới, đóng góp của Z' boson. Đóng góp của kênh s , kênh t , và thành phần

trung gian, có thể cho một giá trị A_{FB} dương phù hợp với thực nghiệm.

2.1 Đóng góp của Z' boson vào bất đối xứng tiến - lùi của top quark trong mô hình 3-3-1

Xét đóng góp của Z' boson trong mô hình 3-3-1 tối thiểu ở cả hai kênh s và t. Đóng góp ở kênh s (xem Hình 4).



Hình 4: Giản đồ Feynman cho kênh s

Lagrangian của dòng trung hòa có dạng

$$L'_{NC} = -\frac{g}{2\cos\theta_w} \bar{f}\gamma^\mu (g'_V - g'_A \gamma_5) f Z'_\mu \quad (1)$$

Biểu thức của biên độ tán xạ được viết (chúng ta chọn chuẩn t'Hoot Feynman cho đơn giản):

$$M_{fi} = \frac{i}{k^2 - m_{Z'}^2 + im_{Z'}\Gamma_{Z'}} \times \frac{g^2}{(2\cos\theta_w)^2} \bar{v}_f(p_2, s_2) \gamma_\mu (g'_V - g'_A \gamma_5) \times u_f(p_1, s_1) \bar{u}_t(k_1, \sigma_1) \gamma^\mu (g'_V - g'_A \gamma_5) v_t(k_2, \sigma_2) \quad (4)$$

Lấy liên hiệp phức của biểu thức trên

$$M_{fi}^* = -\frac{i}{k^2 - m_{Z'}^2 - im_{Z'}\Gamma_{Z'}} \times \frac{g^2}{(2\cos\theta_w)^2} \bar{u}_f(p_1, s_1) (g'_V + g'_A \gamma_5) \gamma^\nu \times v_f(p_2, s_2) \bar{v}_t(k_2, \sigma_2) (g'_V + g'_A \gamma_5) \gamma_\nu u_t(k_1, \sigma_1) \quad (5)$$

Đặt $c = \frac{g'_V}{g'_A}$, trong đó g'_V và g'_A lần lượt là các hằng số tương tác vector và giả vector ở

$$M_{fi}^S \times M_{fi}^{*t} + M_{fi}^t \times M_{fi}^{*S} = -\frac{2g_A^2 g_A^2 g^4 (k^2 - m_{Z'}^2)}{\left[(k^2 - m_{Z'}^2)^2 + m_{Z'}^2 \Gamma_{Z'}^2 \right] (t^2 - m_{Z'}^2) (2\cos\theta_w)^4} \times \left\{ (cc'+1)^2 \left[\frac{s^2}{8} + \frac{s}{2} \left(\frac{s}{4} - m_t^2 \right) \cos^2\theta \right] + 2m_t^2 (cc'-1)(cc'+1) \frac{s}{2} - (c+c)^2 2s\sqrt{s} \sqrt{\frac{s}{4} - m_t^2} \cos\theta \right\} \quad (8)$$

kênh s, dẫn đến bình phương biên độ tán xạ có biểu thức sau:

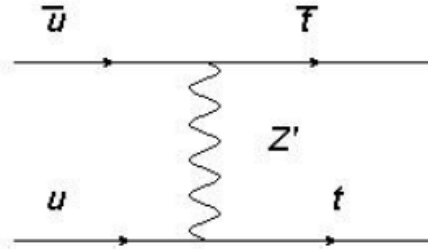
$$|M|_{fi}^2 = \frac{32g^4 g_A^4}{(2\cos\theta_w)^4 \left[(k^2 - m_{Z'}^2)^2 + m_{Z'}^2 \Gamma_{Z'}^2 \right]} \times \left\{ (c^4 + 6c^2 + 1)(p_1 k_1)^2 + (c^2 - 1)^2 (p_1 k_2)^2 + (c^4 - 1)(p_1 p_2) m_t^2 \right\} \quad (6)$$

Để chứng tỏ các kết quả vật lý không phụ thuộc vào phép chuẩn ta làm việc với chuẩn khác ví dụ

chuẩn unita, khi đó số hạng $\frac{-k_\mu k_\nu}{m_{Z'}^2}$ không cho

đóng góp. Nói cách khác các kết quả vật lý không phụ thuộc vào phép chuẩn.

Đối với kênh t thực hiện một cách tương tự kênh s (xem hình 5). Trạng thái đầu là u, trạng thái cuối là t.



Hình 5: Giản đồ Feynman cho kênh t

Kết quả bình phương biên độ ở kênh t là

$$|M|_{fi}^2 = \frac{32g^4 g_A^4}{(2\cos\theta_w)^4 (t - m_{Z'}^2)^2} \times \left\{ (c^2 - 1)^2 (p_1 k_2)^2 + \left[(c^2 + 1)^2 + 4c^2 \right] \frac{s}{2} \left(\frac{s}{2} - m_t^2 \right) \right\} \quad (7)$$

Với $c' = \frac{g''_A}{g''_V}$ các hằng số g''_A và g''_V được

định nghĩa tương tự ở kênh s.

Thành phần giao nhau giữa kênh s và kênh t được xác định thông qua biểu thức sau:

Lưu ý rằng chúng ta sẽ áp dụng các công thức cơ học tương đối tính [1] cho hệ khối tâm.

Như vậy, bình phương biên độ tán xạ với đóng góp của Z' boson ở cả hai kênh s, t được viết lại như sau:

$$\begin{aligned}
 |M|_{fi}^2 &= \frac{32g^4 g_A^4}{(2 \cos \theta_W)^4 [(k^2 - m_{Z'}^2)^2 + m_{Z'}^2 \Gamma_{Z'}^2]} \times \\
 &\left\{ (c^2 + 1)^2 \left[\frac{s^2}{8} + \frac{s}{2} \left(\frac{s}{4} - m_t^2 \right) \cos^2 \theta \right] - m_t^2 (c^4 - 1) \frac{s}{2} - 2c^2 s \sqrt{s} \sqrt{\frac{s}{4} - m_t^2} \cos \theta \right\} \\
 &+ \frac{32g^4 g_A^4}{(2 \cos \theta_W)^4 (t - m_{Z'}^2)^2} \left\{ (c'^2 - 1)^2 (p_1 k_2)^2 + [(c'^2 + 1)^2 + 4c'^2] \frac{s}{2} \left(\frac{s}{2} - m_t^2 \right) \right\} \\
 &\frac{2g_A^2 g_A^2 g^4 (k^2 - m_{Z'}^2)}{[(k^2 - m_{Z'}^2)^2 + m_{Z'}^2 \Gamma_{Z'}^2] (t^2 - m_{Z'}^2) (2 \cos \theta_W)^4} \\
 &\times \left\{ (cc' + 1)^2 \left[\frac{s^2}{8} + \frac{s}{2} \left(\frac{s}{4} - m_t^2 \right) \cos^2 \theta \right] + 2m_t^2 (cc' - 1)(cc' + 1) \frac{s}{2} - (c + c')^2 2s \sqrt{s} \sqrt{\frac{s}{4} - m_t^2} \cos \theta \right\}.
 \end{aligned} \tag{10}$$

3 TÍNH BẤT ĐỐI XỨNG TIỀN - LÙI CỦA TOP QUARK TRONG MÔ HÌNH 3-3-1

Theo định nghĩa ta có

$$A_{FB} = \frac{\sigma_F - \sigma_B}{\sigma_F + \sigma_B} \tag{11}$$

hay:

$$\begin{aligned}
 A_{FB} &= \frac{\sigma_F^{SM} - \sigma_B^{SM} + \sigma_F^{NP} - \sigma_B^{NP}}{\sigma_F^{SM} + \sigma_B^{SM} + \sigma_F^{NP} + \sigma_B^{NP}} \\
 &= A_{FB}^{SM} \times \frac{\sum \sigma_{SM}}{\sum \sigma} + A_{FB}^{NP} \times \frac{\sum \sigma_{NP}}{\sum \sigma}.
 \end{aligned} \tag{12}$$

Và sử dụng

$$\left(\frac{d\sigma}{d\Omega} \right)_{cm} = \frac{|M|_{fi}^2}{4.64s\pi^2 |\vec{p}|} \tag{13}$$

Từ (13), lấy tích phân theo ϕ và $d\cos\theta$ và theo [2] ta sử dụng số liệu sau:

$$M_t = 171 \text{ GeV}; \sqrt{s} = 1960 \text{ GeV}; m_{Z'} = 400 \text{ GeV}; \Gamma_{Z'} = 43 \text{ GeV};$$

$$U_{11} = 0.933; U_{13} = 0.766, A_{FB}^{SM} = 0.051; \sum \sigma_{SM} = 7.62 \text{ pbar}.$$

$$|M|_{fi}^2 = |M^s|_{fi}^2 + |M^t|_{fi}^2 + M_{fi}^s \times M_{fi}^{*t} + M_{fi}^t \times M_{fi}^{*s} \tag{9}$$

Thế các giá trị (6,7,8) vào phương trình (9) và áp dụng cơ học tương đối tính cho hệ tán xạ ta được giá trị của bình phương biên độ.

Dùng phần mềm tính toán (Mathematica, Matlab v.v.), ở đây tác giả dùng phần mềm Mathematica sẽ thu được giá trị bất đối xứng tiền - lùi của top quark trong mô hình 3-3-1

tối thiểu là

$$A_{FB} = A_{FB}^{SM} \times \frac{\sum \sigma_{SM}}{\sum \sigma} + A_{FB}^{NP} \times \frac{\sum \sigma_{NP}}{\sum \sigma} \approx 0.15 \tag{14}$$

Như vậy, khi chúng ta có các dữ liệu đầu vào cụ thể, ta có thể tính được bất đối xứng tiền - lùi của top quark. So với giá trị thực nghiệm $A_{FB}^{TN} = 0.19 \pm 0.07 \pm 0.02$ [2, 3], ta thấy giá trị tính toán theo (14) có thể chấp nhận trong phạm vi sai số cho phép. Các mô hình 3-3-1 đã cho câu trả lời thỏa đáng về vấn đề bất đối xứng tiền - lùi của top quark. Kết quả này đã củng cố thêm vai trò của các mô hình 3-3-1 trong việc nghiên cứu "vật lý mới".

4 KẾT QUẢ ĐẠT ĐƯỢC

Trong bài báo này chúng tôi đã xem xét một số khía cạnh của các mô hình 3-3-1. Từ đó, ta đi đến giải thích tại sao trong các mô hình chuẩn không giải thích được số liệu thực nghiệm về bất đối xứng tiền - lùi của top quark. Tác giả cũng tính toán sự đóng góp của photon và Z boson trong mô hình chuẩn vào bất đối xứng tiền - lùi của top quark trong mô hình chuẩn. Tính toán và giải thích được A_{FB} trong mô hình 3-3-1 và so sánh với kết quả

thực nghiệm. Từ việc nghiên cứu những vấn đề trên, tôi rút ra những kết luận sau đây trong mô hình chuẩn A_{FB} sai khác khá xa so với thực nghiệm là do trong mô hình chuẩn chưa xem xét tính toán hết các hiệu ứng vật lý mới, mà các hiệu ứng này chỉ có ở thang năng lượng cao. Photon không làm cho tán xạ proton có bất đối xứng tiến - lùi. Z boson cho đóng góp với giá trị âm. Để tính toán và giải thích được vấn đề A_{FB} chúng ta cần xét mô hình 3-3-1 với sự tham gia của Z' boson ở cả hai kênh s và t ở năng lượng cỡ TeV. Các kết quả vật lý không phụ thuộc vào các phép chuẩn. Nó là bất biến trong các phép chuẩn. Để tính được A_{FB} tác giả đã tính biên độ và tiết diện tán xạ giữa quark và phản quark bằng cách sử dụng lý thuyết tán xạ và đặc biệt là quy tắc Feynman. Như ta đã nói ở phần trước, "vật lý mới" có thể nằm ngay trong một miền năng lượng không quá lớn so với mô hình chuẩn. Các mô hình 3-3-1 đã khai thác các tín hiệu vật lý mới theo khả năng này và đã đạt được những thành công đáng kể. Việc tính toán và giải thích được vấn đề bất đối xứng tiến - lùi của top quark là một trong những thành công của các mô hình chuẩn mở rộng. Điều đó góp phần củng cố vai trò của các mô hình 3-3-1 trong việc khai thác các tín hiệu mới.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Hoàng Ngọc Long, *Cơ sở vật lý hạt cơ bản*, Nhà xuất bản thông kê Hà Nội (2006).
2. E. Ramirez Barreto, Y. A. Coutinho, and J. Sá Borges, Phys. Rev. D 83, 054006 (2011).
3. E. Ramirez-Barreto, Y.A. Coutinho, J.Sá Borges, Eur. Phys. J. C 50, 909 (2007).
4. Christoph Promberger, Sebastian Schatt and Felix Schwab, Phys. Rev. D 75 (2007) 115007.
5. K. Cheung, W-Y. Keung, Tzu-Chiang Yuan, Phys. Lett. B 682 (2009).
6. D-W. Jung, P. Ko, J. S. Lee, Soo-hyeon Nam, Physics Letters B 691 (2010).
7. H. N. Long and L. P. Trung, Phys. Lett. B502, 63 (2001).
8. N. N. Bogoliubov and D. V. Shirkov, *Introduction to the Theory of Quantized Fields*, Interscience Publishers, (1959).
9. L. H. Ryder, *Quantum field theory*, 2nd edition, Cambridge University Press, (1998).
10. W. Greiner and B. Muller, *Gauge Theory of Weak Interaction*, 2nd edition, Springer (1995).
11. M. E. Peskin and D. V. Schroeder, *An Introduction to Quantum Field Theory*, Addison-Wesley Publishing (1995).
12. James Joyce, Finnegans Wake, *Elementary Particle Physics and The Unification of The Forces*.
13. V. T. N. Huyen, T. T. Lam, H. N. Long, V. Q. Phong, *Neutral currents in reduced minimal 3-3-1 model*, arXiv:hep-ph/1210.5833.
14. F. Pisano and V. Pleitez, Phys. Rev. D 46, 410 (1992).
15. P. H. Frampton, Phys. Rev. Lett. 69, 2889 (1992).
16. J-Alexis Rodriguez, et al, Phys. Rev. D70, 117702 (2004).
17. C. K. Yuan, Phys. Lett. B682, 287 (2009).
18. C. S. Kim, *Forkward-Backward Asymmetry of top quark in unparticle physics*, Yonsei University, Korea.
19. H. N. Long, L. P. Trung, V. T. Van, JETP. 92 (2001) 548.
20. P. V. Dong, H. N. Long, Advances in High Energy Physics, 2008, 739492 (2008)
21. Y. Giraldo, W. A. Ponce, L. A. Sánchez, Eur. Phys. J. C63 (2009) 461.
22. P. Ferrario, G. Rodrigo, Phys. Rev. D80, 051701 (2009).
23. P. Frampton, J. Shu, K. Wang, Phys. Lett. B683, 294 (2010).
24. J. Shu, M. P Tait, K. Wang, Phys. Rev. D81 034012 (2010).