

# SỰ SINH BOSON HIGGS TỪ TÁN XẠ $e^+e^-$ TRONG LÝ THUYẾT THỐNG NHẤT ĐIỆN YẾU

Nguyễn Xuân Hãn<sup>a</sup>, Hoàng Ngọc Long<sup>b</sup>,  
Trần Anh Tuấn<sup>a</sup>

a- Khoa Vật lý, Trường Đại học Tổng hợp Hà Nội

b- Trung tâm vật lý lý thuyết - Viện Khoa học Việt Nam

Quá trình sinh boson Higgs từ tán xạ  $e^+e^-$  trong lý thuyết thống nhất điện yếu cải biến tính toán. Kết quả cho thấy để có tiết diện toàn phần  $\sigma \sim 10^{-40} \text{cm}^2$  thì khối lượng Higgs  $M_H \sim 100 \div 150 \text{ GeV}$ .

## 1. MỞ ĐẦU

Việc nghiên cứu về việc thống nhất các tương tác điện từ và yếu đã được chú ý tới từ lâu. Tuy nhiên chỉ cuối những năm 1960 Weinberg [1] và Salam [2], mới đưa ra được lý thuyết thống nhất các tương tác điện từ và yếu. Mẫu Weinberg-Salam thực sự được chấp nhận khi Hooft [3] chứng minh được rằng lý thuyết thống nhất tương tác điện từ và yếu là một lý thuyết tái chuẩn hóa được.

Động lực trong những nền móng cơ bản để xây dựng lý thuyết thống nhất tương tác điện từ và yếu là hiện tượng Higgs [4], mà ở đó các hạt vô hướng trao khối lượng cho các boson chuẩn thông qua đối xứng tự phát. Trong mẫu Weinberg-Salam cấu trúc của hệ Higgs là đơn giản nhất. Đối xứng phá vỡ đối xứng tự phát chỉ còn tồn tại một boson Higgs trung hòa và hiện tượng luận được thảo luận trong công trình [5]. Việc mở rộng lý thuyết thống nhất với các cấu trúc hệ phức tạp hơn như là đưa vào các đa tuyến Higgs đã được thảo luận trong các công trình [6]. Việc đưa vào các đa tuyến Higgs dẫn tới sự tồn tại các boson Higgs mang điện và boson Goldstone cũng như là boson Higgs trung hòa.

Đặc biệt một trong những nhược điểm của các mô hình như vậy là xuất hiện các tham số tự do dẫn đến việc khó đánh giá trong các bài toán tính số. Song trong các công trình [8, 9, 10], người ta đã chú ý tới một mô hình đơn giản mà trong đó trường Higgs được viết lại như sau:

$$\Phi = \begin{pmatrix} H^+(x) \\ (v + H(x) + i\phi^0)/\sqrt{2} \end{pmatrix} \quad (1)$$

Trong đó  $H^+(x)$ ,  $H(x)$ ,  $\phi^0$  có trung bình chân không bằng không và chúng tôi gọi  $H^+$ ,  $H^-$ ,  $H$  là các boson Higgs mang điện và trung hòa còn  $\phi^0$  là boson Goldstone.

Đặc điểm nổi bật của mô hình này có ưu điểm là không chứa các tham số tùy ý cho nên việc tính toán bằng số trở nên đơn giản.

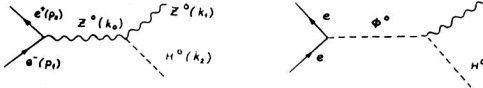
Trong bài báo này chúng tôi xét một số quá trình sinh boson Higgs từ tán xạ  $e^+e^-$  trong lý thuyết thống nhất điện yếu với cấu trúc hệ Higgs mở rộng như đã nói ở trên. Các tính toán ở đây thực hiện trong chuẩn 'tHooft-Feynman và được xét trong hệ khối tâm.

## 2. SỰ SINH BOSON HIGGS

Chúng tôi xét một số quá trình sinh boson Higgs sau đây.

### a) Tán xạ $e^+e^- \rightarrow H^0 Z^0$

Trong lý thuyết thống nhất mở rộng [8-10], ở gần đúng Born tán xạ  $e^+e^- \rightarrow H^0 Z^0$  tả bởi hai giản đồ trong hình 1 sau đây



Biên độ tán xạ toàn phần của quá trình là:

$$T = ie_\mu(k_1)\bar{v}(p_2)(a\lambda\gamma^\mu - a\gamma^\mu\gamma^5 + b(k_c - k_2)^\mu\gamma^5)u(p_1)$$

ở đây:

$$a = \frac{g^2 M_s}{4(k_c^2 - M_Z^2)(\cos\theta_W)^2}, \quad b = \frac{g^2 m}{4M_W(k_c^2 - M_Z^2)\cos\theta_W}, \quad \lambda = -1 + 4(\sin\theta_W)^2$$

Do vậy:

$$|T|^2 = 2a^2(1 + \lambda^2) \left[ \frac{(k_1 p_1)(k_1 p_2)}{M_Z^2} - (p_1 p_2) \right] + b^2(m^2 + (p_1 p_2)) \left[ \frac{(k_1 A)^2}{M_Z^2} - A^2 \right] + mab \left[ \frac{(k_1 A)(k_1(p_1 + p_2))}{M_Z^2} - (p_1 + p_2)A \right]$$

Tiết diện tán xạ vi phân của quá trình:

$$d\sigma = \frac{(2\pi)^2 \delta(k_1 + k_2 + k_c)}{2\sqrt{s^2 - 4sm^2}} f(E_1, \cos\theta) \frac{d^3 k_1}{(2\pi)^3 2E_1} \frac{d^3 k_2}{(2\pi)^3 2E_2}$$

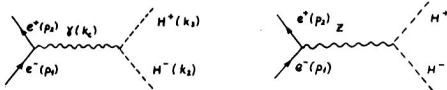
Sau khi thực hiện lấy tích phân trong không gian pha chúng tôi thu được công thức diện tán xạ của quá trình trong hệ đơn vị CGS như sau:

$$\begin{aligned} \sigma = & \frac{\sqrt{(s + M_Z^2 c^4 - M_H^2 c^4)^2 - 4sM_Z^2 c^4}}{16\pi s\sqrt{s^2 - 4sm^2 c^4}} \left\{ \alpha^2(1 + \lambda^2) \cdot \right. \\ & \left. \left[ \frac{(s + M_Z^2 c^4 - M_H^2 c^4)^2 (s + 2m^2 c^4)}{6sM_Z^2 c^4} - \frac{5(s - 4m^2 c^4)}{3} \right] + \right. \\ & + sb^2 \left[ \frac{(s - M_H^2 c^4)^2}{M_Z^2 c^4} - (2s + 2M_H^2 c^4 - M_Z^2 c^4) \right] + \\ & \left. + mab \left[ (3s + M_H^2 c^4 - M_Z^2 c^4) - \frac{(s - M_H^2 c^4)(s + M_Z^2 c^4 - M_H^2 c^4)}{M_Z^2 c^4} \right] \right\}. \end{aligned}$$

Đối với quá trình này nếu  $\sigma \sim 10^{-41} \text{cm}^2$  thì khối lượng boson Higgs sẽ cỡ  $M_H \sim 150 \text{GeV}$

Tán xạ  $e^+e^- \rightarrow H^+H^-$

gần đúng Born quá trình b) được mô tả bởi hai giản đồ trong hình 2 sau đây



Biên độ tán xạ toàn phần của quá trình là:

$$T = i\bar{v}(p_2)\hat{A}(c + b\gamma^5)u(p_1)$$

$$\hat{A} = A^\mu\gamma_\mu = (k_2 - k_1)^\mu\gamma_\mu; \quad a = \frac{c^2}{k_c^2}; \quad \lambda = -1 + 4(\sin\theta)^2$$

$$b = \frac{g^2(1 - 2(\sin\theta)^2)}{4(k_c^2 - M_Z^2)(\cos\theta)^2}; \quad d = a - b\lambda$$

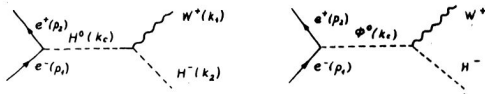
hi thực hiện lấy tích phân trong không gian pha và chuyển sang hệ đơn vị CGS công thức kết diện tán xạ chúng tôi thu được như sau:

$$\sigma = \frac{(d^2 + b^2)(s - 2m^2c^4) + 3(d^2 - b^2)m^2c^4}{48\pi s\sqrt{s - 4m^2c^4}} (s - 4M_H^2c^4)^{3/2} \quad (5)$$

hi quá trình này nếu  $\sigma \sim 10^{-39} \text{cm}^2$  thì khối lượng boson Higgs  $M_H \sim 100 \text{GeV}$ .

Tán xạ  $e^+e^- \rightarrow W^+H^-$

gần đúng Born quá trình c) được mô tả bởi hai giản đồ trong hình 3 sau đây



Biên độ tán xạ toàn phần của quá trình là

$$T = i(k_c - k_2)^\nu c_\nu(k_1)\bar{v}(p_2)(a - b\gamma_5)u(p_1)$$

$$a = \frac{g^2 m}{4M_W(k_c^2 - M_H^2)}; \quad b = \frac{g^2 m}{4M_W(k_c^2 - M_Z^2)}$$

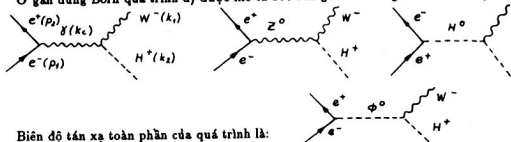
hi thực hiện lấy tích phân trong không gian pha và chuyển sang hệ đơn vị CGS chúng tôi rợc kết quả sau:

$$\sigma = \frac{\sqrt{(s + M_W^2c^4 - M_H^2c^4)^2 - 4sM_W^2c^4}}{32\pi s\sqrt{s^2 - 4sm^2c^4}} \left[ \frac{(s - M_W^2c^4)^2}{M_W^2c^4} - (2s + 2M_H^2c^4 - M_W^2c^4) \right] \cdot [(a^2 + b^2)(s - 2m^2c^4) - 2m^2c^4(a^2 - b^2)] \quad (6)$$

Đối với quá trình này nếu tiết diện  $\sigma \sim 10^{-48} \text{cm}^2$  thì khối lượng boson Higgs  $M_H \sim 150$

d) Tán xạ  $e^+e^- \rightarrow W^-H^+$

Ở gần đúng Born quá trình d) được mô tả bởi bốn giản đồ trong hình 4 sau đây



Biên độ tán xạ toàn phần của quá trình là:

$$T = ie\bar{v}(p_2)(d(k_2 - k_c)^\mu \gamma_5 + c(k_2 - k_c)^\mu - \ell \gamma^\mu + b \gamma^\mu \gamma_5)u(p_1)$$

ở đây

$$a = \frac{e^2 M_W}{k_c^2}; \quad \lambda = -1 + 4(\sin \theta_W)^2; \quad b = \frac{g^2 M_Z (\sin \theta_W)^2}{4(k_c^2 - M_Z^2) \cos \theta_W}$$

$$c = \frac{g^2 m}{4(k_c^2 - M_H^2) M_W}; \quad d = \frac{g^2 m}{4(k_c^2 - M_Z^2) M_W}; \quad a + b\lambda = \ell$$

Trong hệ CGS công thức cho tiết diện tán xạ của quá trình là

$$\sigma = \frac{\sqrt{(s + M_W^2 c^4 - M_H^2 c^4)^2 - 4s M_W^2 c^4}}{32\pi s \sqrt{s^2 - 4sm^2 c^4}} \left\{ \left[ \frac{(s - M_W^2 c^4)^2}{M_W^2 c^4} - (2s + 2M_H^2 c^4 - M_W^2 c^4) \right] [(t^2 + d^2)(s - 2m^2 c^4) - m^2 c^4 (t^2 - d^2)] + 2mbdc^2 \left[ \frac{(s - M_H^2 c^4)(s + M_W^2 c^4 - M_H^2 c^4)}{M_W^2 c^4} + 2(M_H^2 - M_W^2)c^4 \right] + \frac{1}{3}(\ell^2 - b^2) \left[ \frac{(s + M_W^2 c^4 - M_H^2 c^4)^2 (s + 2m^2 c^4)}{2s M_W^2 c^4} - (5s + 8m^2 c^4) \right] \right\}$$

Đối với quá trình này nếu tiết diện  $\sigma \sim 10^{-41} \text{cm}^2$  thì khối lượng boson Higgs  $M_H \sim 150$

### 3. KẾT LUẬN

Trong bài báo này các kết quả thu được có thể tóm tắt như sau:

1) Tính bổ đính của boson Goldstone vào tán xạ  $e^+e^- \rightarrow H^0 Z^0$ . Kết quả cho thấy tỉ của quá trình trên cỡ  $10^{-41} \text{cm}^2$ .

2) Tính bổ đính của boson vector trung hòa  $Z^0$  vào quá trình tán xạ  $e^+e^- \rightarrow H^+H^-$  diện thu được cỡ  $10^{-39} \text{cm}^2$ .

3) Trong bài báo này đã xem xét hai quá trình tán xạ mới với sự sinh boson Higgs và vector mang điện trái dấu  $W^+H^-$  và  $W^-H^+$ . Với các kết quả thu được là tiết diện của quá sinh ra boson Higgs mang điện âm  $H^-$  và boson chuẩn mang điện dương  $W^+$  là  $10^{-48} \text{cm}^2$  khi đó tiết diện của quá trình sinh boson Higgs mang điện dương  $H^+$  và boson chuẩn mang điện âm  $W^-$  là  $10^{-41} \text{cm}^2$ .

ti sự phát triển nhanh chóng của kỹ thuật máy gia tốc chúng tôi hy vọng rằng các kết quả ở trên sẽ được thực nghiệm kiểm tra trong thời gian gần đây.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

- Weinberg, Phys. Rev. Lett, **19** (1967), p.1264
- Salam, in Elementary Particle Theory: Relativistic Groups and Analyticity (Noble Symposium 8) edited by N. Svartholm (Amqvist and Wiksell. Stockholm, 1968), p. 367.
- 'tHooft, Nucl. Phys, **B33** (1971), p. 173; **B35** (1971), p.167
- W. Higgs, Phys. Rev. Lett., **12** (1964), p. 132.
- W. B. Kibble, Phys. Rev. **155** (1967), p. 1554.
- Ellis et al, Nucl. Phys, **B106** (1976), p.292
- F. Donoghue and L. F. Li, Phys. Rev, **D19** (1979), p. 945
- Golowich and T. C. Yang, Phys. Lett, **B80** (1979), p. 245
- P. Cheng and L. F. Li, Gauge theories in elementary particle physics Clarendon Press- Oxford-84.
- Bohm, W. Hollik and H. Spiesberges, Fortschr. Phys., **34** (1986), p. 687
- Hollik, CERN preprint CERN-TH 5661 (1992)

## HIGGS BOSON PRODUCTION FROM $e^+e^-$ ANNIHILATION IN EXTENDED ELECTROWEAK MODEL

*Nguyen Xuan Han, Hoang Ngoc Long, Tran Anh Tuan*  
*Faculty of Physics, Hanoi University*

Higgs boson production from  $e^+e^-$  annihilation in Extended Electroweak Model is considered. Now that in order to get the cross-sections  $\sigma \sim 10^{-10} \text{cm}^2$  the Higgs boson will have mass  $100 \div 150 \text{ GeV}$ .