

UOT 539.12-17

ELEKTRON-POZİTRON TOQQUŞMASINDA  
HİQQS BOZONUN YARANMASI

S.Q.ABDULLAYEV, F.A.SADDİGH NIKJEH

*Bakı Dövlət Universiteti*  
*s.abdullayev@mail.ru, f\_seddig@yahoo.com*

*Standart model çərçivəsində elektron-pozitron toqquşması zamanı skalyar Hiqqz bozonun doğulması proseslərinə baxılmışdır. Proseslərin diferensial və tam effektiv kəsikləri hesablanmış, effektiv kəsiyin Hiqqz bozonun kütləsindən asılılığı tədqiq edilmişdir.*

**Açar sözlər:** Standart model, Hiqqz bozon, sol və sağ rabitə sabitləri, spirallıq, Vaynberq parametri.

Son illərdə Standart model (SM) böyük nailiyyətlər qazanmışdır [1]. Təcrübələrdə zəif neytral cərəyanlar müşahidə edilmiş, aralıq  $W^\pm$  - və  $Z^0$  - bozonlar kəşf olunmuş və həmin modelin bir sıra digər müddəaları eksperimentlərdə təsdiqlənmişdir. SM-in mühüm müddələrindən biri də skalyar Hiqqz bozonun varlığını əvvəlcədən söyləməsidir. Aralıq  $W^\pm$  - və  $Z^0$  -bozonların kəşfindən sonra fiziklərin diqqəti məhz Hiqqz bozonun axtarılmasına yönəldilmişdi. Hiqqz bozonu aşkar etmək və onun fiziki xassələrini öyrənmək CERN-də yeni qurulan Böyük hadron kollayderinin (LHC) əsas məqsədlərindən biri olmuşdür. Nəhayət, 2012-ci ildə elementar zərrəciklər fizikasında fundamental əhəmiyyətli bir kəşf baş verdi. Böyük hadron kollayderində ATLAS və CMS kollaborasiyaları tərəfindən aparılan eksperimentlərdə xassələri SM-in iddia etdiyi xassələrə oxşar olan bozon tapıldı [2-4]. Onun kütləsinin 125 GeV tərtibində olduğu məlumdur. Hələ proton-antiproton kollayderi Tevatronda (ABŞ, Fermi laboratoriyası) CDF qrupu tərəfindən aparılan təcrübələrdə də yeni bozonun varlığı aşkarlanmışdı [5]. Hiqqz bozonun kəşfi ilə əlaqədar olaraq onun müxtəlif yaranma və çevrilmə kanallarının nəzəri öyrənilməsi mühüm əhəmiyyət kəsb edir. Bu işdə Hiqqz bozonun elektron-pozitron toqquşmalarında yaranmasına baxılmışdır.

Elektron-pozitron toqquşmasında Hiqqz bozonun yaranması prosesinin

$$e^- + e^+ \Rightarrow H + Z^0 \quad (1)$$

Feynman diaqramı 1-ci şəkildə təsvir edilmişdir, mətərizədə zərrəciklərin 4-ölçülü impulsları (spirallıqları) göstərilmişdir. Həmin diaqrama görə, elektron-pozitron cütü

əvvəlcə  $Z^0$ -bozona çevrilir, sonra isə  $Z^0$ -bozon Hiqqs bozonu şüalandırmaqla son hala keçir.

Məlumdur ki, elektron-pozitron cütünün  $Z^0$  bozonla və  $Z^0$ -bozonların Hiqqs bozonla qarşılıqlı təsir laqranjianları aşağıdakı kimi yazılır [1]:

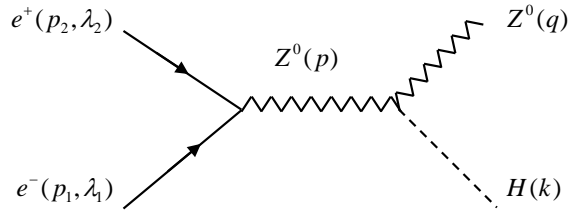
$$L_{eeZ} = \frac{e}{2 \sin \theta_w \cdot \cos \theta_w} \cdot [g_L \bar{e} \gamma_\mu (1 + \gamma_5) e + g_R \bar{e} \gamma_\mu (1 - \gamma_5) e] Z_\mu, \quad (2)$$

$$L_{ZZH} = \frac{e M_Z}{2 \sin \theta_w \cdot \cos \theta_w} Z_\mu Z_\nu g_{\mu\nu} H, \quad (3)$$

burada  $M_Z$  –  $Z^0$ -bozonun kütləsi,

$$g_L = -\frac{1}{2} + \sin^2 \theta_w, \quad g_R = \sin^2 \theta_w \quad (4)$$

elektronun  $Z^0$ -bozonla sol və sağ rabitə sabitləri,  $\theta_w$  – Vaynberq bucağıdır.



Şəkl. 1.  $e^- e^+ \Rightarrow H Z^0$  prosesinin Feynman diaqramı

(2) və (3) laqranjianları əsasında 1-ci şəkildəki Feynman diaqramına uyğun matris elementini yazmaq:

$$M(e^- e^+ \Rightarrow H Z^0) = \frac{e^2 M_Z}{4 x_w (1 - x_w)} \cdot D_{\mu\nu} U_\nu \cdot \bar{v}(p_2, \lambda_2) \gamma_\mu [g_L (1 + \gamma_5) + g_R (1 - \gamma_5)] u(p_1, \lambda_1), \quad (5)$$

Burada  $x_w = \sin^2 \theta_w$  – Vaynberq parametri,  $D_{\mu\nu}(p)$  – aralıq  $Z^0$ -bozonun propaqatoru

$$D_{\mu\nu}(p) = \left( -g_{\mu\nu} + \frac{p_\mu p_\nu}{M_Z^2} \right) \cdot \frac{1}{s - M_Z^2 + i M_Z \Gamma_Z}, \quad (6)$$

$p = p_1 + p_2$ ,  $s = p^2$  – kütlə mərkəzi sistemində elektron-pozitron cütünün enerjiləri cəminin kvadratı,  $U_\nu$  –  $Z^0$ -bozonun polyarizasiya vektoru,  $\Gamma_Z$  –  $Z^0$ -zərrəciyinin tam enidir.

Böyük enerjilərdə elektronun kütləsini nəzərdən atmaq olar, onda elektronun zəif cərəyanı saxlanılacaqdır:

$$(p_1 + p_2)_\mu \bar{v}(p_2, \lambda_2) \gamma_\mu [g_L (1 + \gamma_5) + g_R (1 - \gamma_5)] u(p_1, \lambda_1) = 0.$$

Bu halda (5) matris elementi sadə şəkil alır:

$$M(e^-e^+ \Rightarrow HZ^0) = \frac{e^2 M_Z}{4x_w(1-x_w)} \cdot D_Z U_\mu \cdot \bar{v}(p_2, \lambda_2) \gamma_\mu [g_L(1+\gamma_5) + g_R(1-\gamma_5)] u(p_1, \lambda_1), \quad (7)$$

burada  $D_z = (s - M_z^2 + iM_z \Gamma_z)^{-1}$ .

Uzununa polarizə olunmuş elektronla pozitronun toqquşması zamanı baş verən (1) prosesinin keyfiyyətcə bəzi xassələrini müzakirə edək. Elektronun  $Z^0$ -bozonla qarşılıqlı təsiri vektor və aksial-vektor təbiətlidir. Yüksək enerjilərdə belə qarşılıqlı təsirlərdə spirallıq saxlanılır. Spirallığın saxlanılması tələb edir ki, toqquşan elektronla pozitron əks spirallığa malik olsun:  $e_L^- e_R^+$  və ya  $e_R^- e_L^+$ . Burada  $e_L^-$  – sol polarizə olunmuş elektron ( $\lambda_1 = -1$ ),  $e_R^+$  isə sağ polarizə olunmuş pozitrondur ( $\lambda_2 = 1$ ).

Beləliklə, yüksək enerjilərdə (1) prosesinə iki spiral amplitud uyğun gəlir:  $F_{LR}$  və  $F_{RL}$  (birinci və ikinci indekslər elektron və pozitronun spirallıqlarını göstərir). Həmin spiral amplitudlar uyğun olaraq  $e_L^- + e_R^+ \Rightarrow H + Z^0$ ,  $e_R^- + e_L^+ \Rightarrow H + Z^0$  proseslərini təsvir edir. SM çərçivəsində spiral amplitudlar

$$F_{LR} = D_Z \cdot g_L, \quad F_{RL} = D_Z \cdot g_R \quad (8)$$

ifadələri ilə verilir.

Əvvəlcə  $e_L^- + e_R^+ \Rightarrow H + Z^0$  prosesinin matris elementini kvadrata yüksəldək:

$$M(e_L^- e_R^+ \Rightarrow HZ^0) = -\frac{e^2 M_Z}{4x_w(1-x_w)} \cdot F_{LR} U_\mu [\bar{v}(p_2, \lambda_2 = 1) \gamma_\mu (1 + \gamma_5) u(p_1, \lambda_1 = -1)],$$

$$M^+(e_L^- e_R^+ \Rightarrow HZ^0) = -\frac{e^2 M_Z}{4x_w(1-x_w)} \cdot F_{LR}^* U_\nu^* [\bar{u}(p_1, \lambda_1 = -1) \gamma_\nu (1 + \gamma_5) v(p_2, \lambda_2 = 1)];$$

$$|M(e_L^- e_R^+ \Rightarrow HZ^0)|^2 = \left( \frac{e^2 M_z}{4x_w(1-x_w)} \right)^2 |F_{LR}|^2 U_\mu U_\nu^* \times$$

$$\times Sp[v(p_2, \lambda_2 = 1) \bar{v}(p_2, \lambda_2 = 1) \gamma_\mu (1 + \gamma_5) u(p_1, \lambda_1 = -1) \bar{u}(p_1, \lambda_1 = -1) \gamma_\nu (1 + \gamma_5)] =$$

$$= \left( \frac{e^2 M_z}{4x_w(1-x_w)} \right)^2 |F_{LR}|^2 U_\mu U_\nu^* \cdot 8[p_{1\mu} p_{2\nu} + p_{1\nu} p_{2\mu} - (p_1 p_2) g_{\mu\nu} - i \varepsilon_{\mu\nu\rho\sigma} p_{1\rho} p_{2\sigma}]. \quad (9)$$

Son nəticəni alarkən

$$u(p_1, \lambda_1 = -1) \bar{u}(p_1, \lambda_1 = -1) = \frac{1 + \gamma_5}{2} \hat{p}_1,$$

$$v(p_2, \lambda_2 = 1) \bar{v}(p_2, \lambda_2 = 1) = \frac{1 + \gamma_5}{2} \hat{p}_2$$

münasibətləri nəzərə alınmışdır [1].

$Z^0$ -bozonun polarizasiya hallarına görə cəmləmə aparıb

$$\sum_{pol} U_\mu U_\nu^* = -g_{\mu\nu} + \frac{q_\mu q_\nu}{M_Z^2},$$

uyğun tenzorların vurulması nəticəsində (9) ifadəsi aşağıdakı şəkli alır:

$$\sum_{pol} |M(e_L^- e_R^+ \Rightarrow HZ^0)|^2 = \left( \frac{e^2}{x_w(1-x_w)} \right)^2 \cdot \frac{1}{2} |F_{LR}|^2 [M_Z^2(p_1 \cdot p_2) + 2(p_1 \cdot q)(p_2 \cdot q)]. \quad (10)$$

Elektron-pozitron cütünün kütlə mərkəzi sistemində

$$M_Z^2(p_1 \cdot p_2) + 2(p_1 \cdot q)(p_2 \cdot q) = s \left( M_Z^2 + \frac{1}{2} q_H^2 \sin^2 \theta \right) \quad (11)$$

münasibəti doğrudur, burada  $\theta$  – elektronla Hiqqz bozonun impulsarı arasındakı bucaq,

$$q_H = \frac{1}{2\sqrt{s}} (s^2 + M_H^4 + M_Z^4 - 2sM_H^2 - 2sM_Z^2 - 2M_H^2 M_Z^2)^{1/2} \quad (12)$$

– Hiqqz bozonun üçölçülü impulsunun moduludur.

Ümumi qaydalara əsaslanaraq  $e_L^- + e_R^+ \Rightarrow H + Z^0$  prosesinin diferensial effektiv kəsiyi üçün aşağıdakı ifadəni ala bilərik (kütlə mərkəzi sistemində):

$$d\sigma(e_L^- e_R^+ \Rightarrow HZ^0) = \frac{\pi\alpha^2}{2x_w^2(1-x_w)^2} |F_{LR}|^2 \cdot \frac{q_H}{\sqrt{s}} \left( M_Z^2 + \frac{1}{2} q_H^2 \sin^2 \theta \right) \sin \theta d\theta. \quad (13)$$

Analoji şəkildə  $e_R^- + e_L^+ \Rightarrow H + Z^0$  prosesinin də diferensial effektiv kəsiyini hesablamaq olar:

$$d\sigma(e_R^- e_L^+ \Rightarrow HZ^0) = \frac{\pi\alpha^2}{2x_w^2(1-x_w)^2} |F_{RL}|^2 \cdot \frac{q_H}{\sqrt{s}} \left( M_Z^2 + \frac{1}{2} q_H^2 \sin^2 \theta \right) \sin \theta d\theta. \quad (14)$$

Polyar  $\theta$  bucağına görə inteqrallanma nəticəsində  $e_L^- + e_R^+ \Rightarrow H + Z^0$  və  $e_R^- + e_L^+ \Rightarrow H + Z^0$  spiral proseslərin tam effektiv kəsikləri üçün alırıq:

$$\sigma(e_L^- e_R^+ \Rightarrow HZ^0) = \frac{\pi\alpha^2}{x_w^2(1-x_w)^2} \cdot \frac{g_L^2}{(s-M_Z^2)^2 + \Gamma_Z^2 M_Z^2} \cdot \frac{q_H}{\sqrt{s}} \left( M_Z^2 + \frac{1}{3} q_H^2 \right), \quad (15)$$

$$\sigma(e_R^- e_L^+ \Rightarrow HZ^0) = \frac{\pi\alpha^2}{x_w^2(1-x_w)^2} \cdot \frac{g_R^2}{(s-M_Z^2)^2 + \Gamma_Z^2 M_Z^2} \cdot \frac{q_H}{\sqrt{s}} \left( M_Z^2 + \frac{1}{3} q_H^2 \right). \quad (16)$$

Bu ifadələrdən görünür ki,  $e_L^- + e_R^+ \Rightarrow H + Z^0$  və  $e_R^- + e_L^+ \Rightarrow H + Z^0$  proseslərinin tam effektiv kəsikləri bir-birindən fərqlənir, necə deyərlər,  $e^- + e^+ \Rightarrow H + Z^0$  prosesi sol-sağ spin asimmetriyasına malikdir:

$$A_{LR} = \frac{\sigma(e_L^- e_R^+ \Rightarrow HZ^0) - \sigma(e_R^- e_L^+ \Rightarrow HZ^0)}{\sigma(e_L^- e_R^+ \Rightarrow HZ^0) + \sigma(e_R^- e_L^+ \Rightarrow HZ^0)} = \frac{g_L^2 - g_R^2}{g_L^2 + g_R^2}. \quad (17)$$

Göründüyü kimi, sol-sağ spin asimmetriyası  $A_{LR}$  yalnız Vaynberq parametri  $x_w = \sin^2 \theta_w$ -dən asılıdır və bu parametrin  $x_w = 0.232$  qiymətində sol-sağ spin asimmetriyası

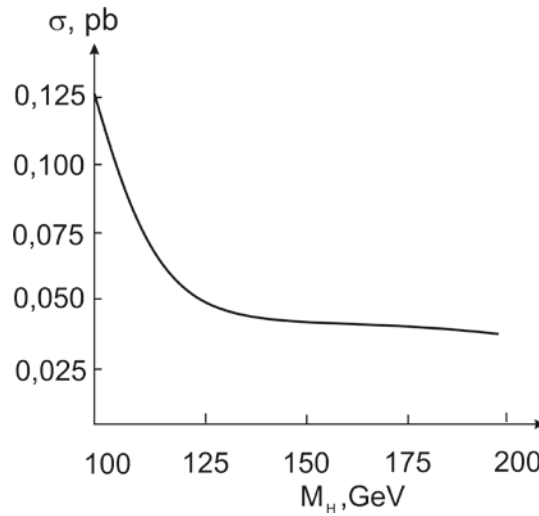
$$A_{LR} = \frac{1/4 - x_w}{1/4 - x_w + 2x_w^2} \cdot 100\% = 14\% \quad (18)$$

olur.

Elektron-pozitron toqquşmasında Hiqqz bozonun şüalandırılması prosesinin tam effektiv kəsiyi

$$\sigma(e^-e^+ \Rightarrow HZ^0) = \frac{\pi\alpha^2}{x_w^2(1-x_w)^2} \cdot \frac{g_L^2 + g_R^2}{(s-M_Z^2)^2 + \Gamma_Z^2 M_Z^2} \cdot \frac{q_H}{\sqrt{s}} \left( M_Z^2 + \frac{1}{3} q_H^2 \right) \quad (19)$$

$e^-e^+$ -döstələrinin  $\sqrt{s}$  enerjisindən,  $x_w$  Vaynberq parametrindən və Hiqqz bozonun kütləsindən asılıdır. Elektron-pozitron döstələrinin enerjisinin  $\sqrt{s}=500$  GeV, Vaynberq parametrinin  $x_w=0,232$  qiymətlərində  $e^- + e^+ \Rightarrow H + Z^0$  prosesinin tam effektiv kəsiyinin Hiqqz bozonun kütləsindən asılılıq qrafiki 2-ci şəkildə verilmişdir. Hesablamalar göstərir ki, Hiqqz bozonun kütləsi  $M_H = 125$  GeV olduqda prosesin tam effektiv kəsiyi 0,05 pikobarna bərabərdir. Hiqqz bozonun kütləsi azalanda effektiv kəsik artır, kütlə artanda isə effektiv kəsik azalır. Belə ki, kütləsi 100 GeV olduqda Hiqqz bozonun doğulmasının tam effektiv kəsiyi 0,125 pikobarn, kütləsi 150 GeV olduqda isə effektiv kəsik 0,045 pikobardır.



**Şəkil 2.**  $e^-e^+ \Rightarrow HZ^0$  prosesinin effektiv kəsiyinin Hiqqz bozonun kütləsindən asılılığı ( $\sqrt{s} = 500$  GeV,  $x_w = 0,232$ )

#### ƏDƏBİYYAT

1. Abdullayev S.Q. Lepton-lepton və lepton-hadron qarşılıqlı təsirlərində zəif cərəyan effektləri (I hissə), Bakı: «AM 965 MMC», 2012, 482 s.
2. Aad G. et al. (ATLAS Collab.). Observation of a new particle in the search for the Standard Model Higgs boson with the ATLAS detector at the LHC. Phys. Lett., 2012, b 716, p. 1-29.
3. Chatrhyan S. et al. (CMS Collab.). Observation of a new boson at a mass of 125 GeV with the CMS experiment at the LHC. arxiv: 1207.7235.
4. Рубаков В.А. К открытию на Большом адронном коллайдере новой частицы со свойствами бозона Хиггса // Успехи физических наук, 2012, т.182, №10, с. 1017-1025.
5. Aaltonen T. et al. (CDF Collab.). Combined search for the Standard Model Higgs boson decaying to a  $b\bar{b}$  pair using the full CDF data set. arxiv:1207. 1707.

## РОЖДЕНИЕ ХИГГС БОЗОНА В ЭЛЕКТРОН-ПОЗИТРОННЫХ СТОЛКНОВЕНИЯХ

С.К. АБДУЛЛАЕВ, Ф.А. САДЫХ НИКЕШ

### РЕЗЮМЕ

С учетом поляризаций встречных электрон-позитронных пучков вычислено полное сечение процесса  $e^-e^+ \Rightarrow HZ^0$ ; При энергии  $\sqrt{s} = 500 \text{ ГэВ}$  изучена зависимость полного эффективного сечения от массы Хиггс бозона.

**Ключевые слова:** стандартная модель, Хиггс бозон, левая и правая константы связи, спиральность, параметр Вайнберга.

## HIGGS BOSON PRODUCTION IN ELECTRON-POSITRON COLLISIONS

S.K.ABDULLAYEV, F.A.SADDIGH NIKJEH

### SUMMARY

Taking into account the polarization of the electron-positron colliding beams the total cross section of the processes  $e^-e^+ \Rightarrow HZ^0$  have been calculated.

Numerical estimates of the total cross-sections are obtained at the energy  $\sqrt{s} = 500 \text{ GeV}$  as a function of Higgs bosons mass.

**Key words:** Standard model, Higgs boson, left and right coupling constants, spirality, Weinberg's parameter.

*Поступило в редакцию: 18.02.2014 г.*

*Подписано к печати: 04.04.2014 г.*