

UOT 539.12-17

ELEKTRON-POZİTRON VƏ ELEKTRON-ELEKTRON
SƏPİLMƏSİNDƏ HİQQS BOZONUN YARANMASI

S.Q.ABDULLAYEV, M.Ş.QOCAYEV, F.A.SADDİH

*Bakı Dövlət Universiteti**s_abdullayev@mail.ru, m_qocayev@mail.ru, f_seddig@yahoo.com*

Standart Model çərçivəsində elektron-pozitron və elektron-elektron səpilmələrində skalyar Hiqqz bozonun yaranması proseslərinə baxılmışdır: $e^-e^+ \Rightarrow He^-e^+$, $e^-e^- \Rightarrow He^-e^-$. Proseslərin effektiv kəsikləri hesablanmış, Hiqqz bozonun bucaqlara və enerjiyə görə paylanması tədqiq edilmişdir.

Açar sözlər: Hiqqz boson, sol və sağ rabitə sabitləri, spirallıq, Vaynberq parametri, spiral amplitudlar.

1. Son illərdə elektromaqnit və zəif qarşılıqlı təsirlərin vahid nəzəriyyəsi olan Vaynberq-Salam modeli (Standart model – SM) böyük nailiyyətlər qazanmışdır [1]. Belə ki, təcrübələrdə zəif neytral cərəyanlar müşahidə olunmuş, aralıq W^\pm - və Z^0 - bozonlar kəşf olunmuş və həmin modelin bir sıra digər müddəaları eksperimentlərdə təsdiqini tapmışdır. SM-in mühüm müddəalarından biri də skalyar Hiqqz bozonun varlığını əvvəlcədən söyləməsidir. Hiqqz bozonu aşkar etmək məqsədilə bir sıra elmi mərkəzlərdə tədqiqatlar aparılmaqdadır. Artıq Tevatron və CERN-də kütləsi 125 GEV tərtibində olan Hiqqz bozonun kəşfi ilə bağlı məlumatlar daxil olmaqdadır [2-7]. Bununla əlaqədar olaraq Hiqqz bozonun yaranma kanallarının dərinədən öyrənilməsi mühüm əhəmiyyətə malikdir [8-10].

Bu işdə uzununa polarizə olunmuş elektron-pozitron (e^-e^+) və elektron-elektron (e^-e^-) səpilmələrində Hiqqz bozonun yaranması proseslərinə baxılmışdır:

$$e^- + e^+ \rightarrow H + e^- + e^+ \quad (1)$$

$$e^- + e^- \rightarrow H + e^- + e^- \quad (2)$$

2. Elektron-pozitron səpilməsində Hiqqz bozonun yaranması prosesinə iki Feynman diaqramı uyğun gəlir (şəkil 1, mötərizələrdə zərrəciklərin 4-ölçülü impulsları və spirallıqları göstərilmişdir). Birinci diaqram annihilyasiya diaqramıdır. Belə ki, elektron-pozitron cütü əvvəlcə Z^0 -bozona annihilyasiya edir, Z^0 -bozon isə öz növbəsində Hiqqz bozonu şüalandırmaqla e^-e^+ -cütünə çevrilir. Səpilmə diaqramı adlanan ikinci diaqrama görə, proses belə baş verir: həm elektron, həm də pozitron səpilirəkən

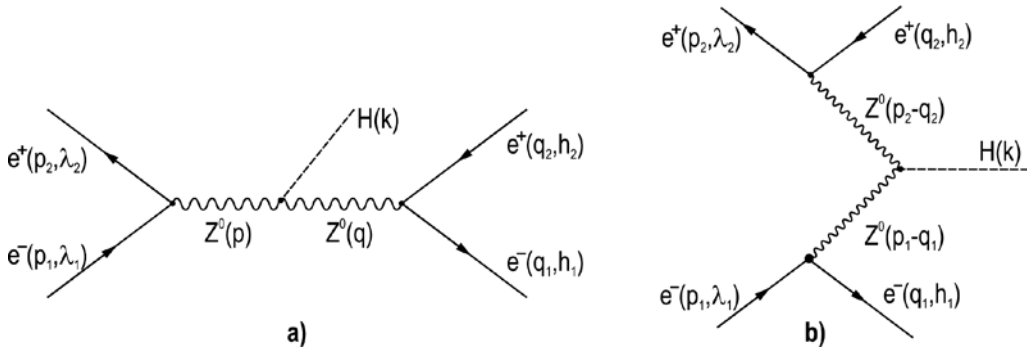
aralıq Z^0 -bozon buraxır, sonra isə bu bozonlar Higgs bozon yaradır.

Məlumdur ki, elektronların Z^0 -bozonla və Z^0 -bosonların Higgs bozonla qarşılıqlı təsir lanqranjianları aşağıdakı kimi yazılır [1]:

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

$$L_{ZZH} = \frac{eM_Z}{2\sin\theta_w \cdot \cos\theta_w} Z_\mu Z_\rho g_{\mu\rho} H(k), \quad (3)$$

burada



Şəkl. 1. $e^-e^+ \rightarrow He^-e^+$ prosesinin Feynman diaqramları.

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

– elektronların Z^0 -bozonla sol və sağ rabitə sabitləri, θ_w – Vaynberq bucağıdır.

(3) lanqranjianları əsasında (a) diaqramına uyğun matris elementini yazaq:

$$M_a(e^-e^+ \rightarrow He^-e^+) = \left(\frac{e}{2\sin\theta_w \cos\theta_w} \right)^3 M_Z \bar{v}(p_2, \lambda_2) \gamma_\mu [g_L(1 + \gamma_5) + g_R(1 - \gamma_5)] \times$$

$$\times u(p_1, \lambda_1) D_{\mu\rho}(p) D_{\rho\nu}(q) \bar{u}(q_1, h_1) \gamma_\nu [g_L(1 + \gamma_5) + g_R(1 - \gamma_5)] v(q_2, h_2), \quad (5)$$

burada

$$D_{\mu\rho}(p) = \left(-g_{\mu\rho} + \frac{p_\mu p_\rho}{M_Z^2} \right) \frac{1}{p^2 - M_Z^2 + iM_Z \Gamma_Z} \quad (6)$$

– aralıq Z^0 -bozonun propaqatoru, $p = p_1 + p_2$, $q = q_1 + q_2 = p - k$, M_Z və Γ_Z – Z^0 -bozonun kütləsi və tam enidir.

Yüksək enerjilərdə elektronların kütləsini nəzərdən ata bilərik, bu zaman zəif cərəyanlar saxlanılacaqdır:

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

$$(q_1 + q_2)_\nu \bar{u}(q_1, h_1) \gamma_\nu [g_L(1 + \gamma_5) + g_R(1 - \gamma_5)] v(q_2, h_2) = 0.$$

Bu halda (5) matris elementi sadə şəkil alar:

$$M_a(e^-e^+ \rightarrow He^-e^+) = \left(\frac{e}{2\sin\theta_w \cos\theta_w} \right)^3 \cdot M_Z \cdot D_Z(s) \cdot D_Z(xs) \bar{v}(p_2, \lambda_2) \times$$

$\times \gamma_\mu [g_L(1+\gamma_5) + g_R(1-\gamma_5)]u(p_1, \lambda_1)\bar{u}(q_1, h_1)\gamma_\mu [g_L(1+\gamma_5) + g_R(1-\gamma_5)]v(q_2, h_2)$. (7)
Burada s – kütlə mərkəzi sistemində elektronla pozitronun enerjiləri cəminin kvadratı,

$$D_Z(s) = (s - M_Z^2 + iM_Z\Gamma_Z)^{-1}, \quad x = 1 - \frac{2\omega}{\sqrt{s}} + \frac{M_H^2}{s}, \quad (8)$$

M_H və ω – Hiqqz bozonun kütləsi və enerjisidir.

3. Yüksək enerjilərdə spirallıq saxlanılır. Spirallığın saxlanılması tələb edir ki, eyni təpədə görüşən elektronla pozitron əks spirallığa malik olmalıdır: $e_L^-e_R^+$ və ya $e_R^-e_L^+$. Burada e_L^- (e_R^+) – sol (sağ) spirallı elektrondur (pozitronudur). Ona görə a) diaqramına dörd spiral amplitud uyğun gələcəkdir: $F_{LL}^{(a)}$, $F_{LR}^{(a)}$, $F_{RL}^{(a)}$ və $F_{RR}^{(a)}$ (birinci və ikinci indekslər başlanğıc və son elektronun spirallıqlarını göstərir). Həmin spiral amplitudlar

$$\begin{aligned} F_{LL}^{(a)} &= D_Z(s)D_Z(xs)g_L^2, & F_{LR}^{(a)} &= D_Z(s)D_Z(xs)g_Lg_R, \\ F_{RL}^{(a)} &= D_Z(s)D_Z(xs)g_Rg_L, & F_{RR}^{(a)} &= D_Z(s)D_Z(xs)g_R^2 \end{aligned} \quad (9)$$

ifadələri ilə verilir və uyğun olaraq aşağıdakı prosesləri təsvir edirlər:

$$\begin{aligned} e_L^- + e_R^+ &\Rightarrow H + e_L^- + e_R^+, & e_L^- + e_R^+ &\Rightarrow H + e_R^- + e_L^+, \\ e_R^- + e_L^+ &\Rightarrow H + e_L^- + e_R^+, & e_R^- + e_L^+ &\Rightarrow H + e_R^- + e_L^+. \end{aligned}$$

Əvvəlcə $e_L^- + e_R^+ \Rightarrow H + e_L^- + e_R^+$ spiral prosesin amplitudunu kvadrata yüksəldək:

$$\begin{aligned} M_a(e_L^-e_R^+ \Rightarrow He_L^-e_R^+) &= \left(\frac{e}{2\sin\theta_w \cos\theta_w} \right)^3 M_Z \cdot F_{LL}^{(a)}[\bar{v}(p_2, \lambda_2 = 1) \times \\ &\times \gamma_\mu(1+\gamma_5)u(p_1, \lambda_1 = -1)][\bar{u}(q_1, h_1 = -1)\gamma_\mu(1+\gamma_5)v(q_2, h_2 = 1)], \\ M_a^+(e_L^-e_R^+ \Rightarrow He_L^-e_R^+) &= \left(\frac{e}{2\sin\theta_w \cos\theta_w} \right)^3 \cdot M_Z \cdot F_{LL}^{*(a)}[\bar{u}(p_1, \lambda_1 = -1) \times \\ &\times \gamma_\nu(1+\gamma_5)\bar{v}(p_2, \lambda_2 = 1)][\bar{v}(q_2, h_2 = 1)\gamma_\nu(1+\gamma_5)u(q_1, h_1 = -1)], \\ |M_a(e_L^-e_R^+ \Rightarrow He_L^-e_R^+)|^2 &= \left(\frac{e^2}{4x_w(1-x_w)} \right)^3 \cdot M_Z^2 \cdot |F_{LL}^{(a)}|^2 \cdot T_{\mu\nu}^{(1)} \cdot T_{\mu\nu}^{(2)}. \end{aligned} \quad (10)$$

Burada $x_w = \sin^2\theta_w$ – Vaynberq parametri, $T_{\mu\nu}^{(1)}$ və $T_{\mu\nu}^{(2)}$ – başlanğıc və son e^-e^+ -cütünün 4-ölçülü impulslarından asılı tenzorlardır:

$$\begin{aligned} T_{\mu\nu}^{(1)} &= tr[v(p_2, \lambda_2 = 1)\bar{v}(p_2, \lambda_2 = 1)\gamma_\mu(1+\gamma_5)u(p_1, \lambda_1 = -1) \times \\ &\times \bar{u}(p_1, \lambda_1 = -1)\gamma_\nu(1+\gamma_5)] = tr \left[\frac{1}{2}(1+\gamma_5)\hat{p}_2\gamma_\mu(1+\gamma_5) \cdot \frac{1}{2}(1+\gamma_5)\hat{p}_1\gamma_\nu(1+\gamma_5) \right] = \\ &= 8[p_{1\mu}p_{2\nu} + p_{2\mu}p_{1\nu} - (p_1 \cdot p_2)g_{\mu\nu} - i\varepsilon_{\mu\nu\rho\sigma}p_{1\rho}p_{2\sigma}], \end{aligned} \quad (11)$$

$$\begin{aligned} T_{\mu\nu}^{(2)} &= tr[u(q_1, h_1 = -1)\bar{u}(q_1, h_1 = -1)\gamma_\mu(1+\gamma_5)v(q_2, h_2 = 1) \times \\ &\times \bar{v}(q_2, h_2 = 1)\gamma_\nu(1+\gamma_5)] = tr \left[\frac{1}{2}(1+\gamma_5)\hat{q}_1\gamma_\mu(1+\gamma_5) \cdot \frac{1}{2}(1+\gamma_5)\hat{q}_2\gamma_\nu(1+\gamma_5) \right] = \\ &= 8[q_{1\mu}q_{2\nu} + q_{2\mu}q_{1\nu} - (q_1 \cdot q_2)g_{\mu\nu} + i\varepsilon_{\mu\nu\alpha\beta}q_{1\alpha}q_{2\beta}]. \end{aligned} \quad (12)$$

Qeyd edək ki, sol (sağ) polarizə olunmuş elektron və sağ (sol) polarizə olunmuş

pozitron üçün

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

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

münasibətləri doğrudur [1].

$T_{\mu\nu}^{(1)}$ və $T_{\mu\nu}^{(2)}$ tenzorlarının hasili sadə bir ifadəyə bərabərdir:

$$T_{\mu\nu}^{(1)} \cdot T_{\mu\nu}^{(2)} = 2^8 (p_1 \cdot q_2)(p_2 \cdot q_1). \quad (13)$$

Beləliklə, $e_L^- + e_R^+ \Rightarrow H + e_L^- + e_R^+$ spiral prosesinin amplitudunun kvadratı üçün alırıq:

$$|M_a(e_L^- e_R^+ \Rightarrow H e_L^- e_R^+)|^2 = 4 \left(\frac{e^2}{x_w(1-x_w)} \right)^3 M_Z^2 |F_{LL}^{(a)}|^2 (p_1 \cdot q_2)(p_2 \cdot q_1). \quad (14)$$

Spirallıq saxlandığından annihilyasiya diaqramının müxtəlif spiral amplitudları arasında interferensiya baş vermir. Oudur ki, digər spiral proseslərin amplitudlarının kvadratlarını da asanlıqla hesablaya bilərik:

$$\begin{aligned} |M_a(e_L^- e_R^+ \Rightarrow H e_R^- e_L^+)|^2 &= 4 \left(\frac{e^2}{x_w(1-x_w)} \right)^3 M_Z^2 |F_{LR}^{(a)}|^2 (p_1 \cdot q_1)(p_2 \cdot q_2), \\ |M_a(e_L^- e_R^+ \Rightarrow H e_L^- e_R^+)|^2 &= 4 \left(\frac{e^2}{x_w(1-x_w)} \right)^3 M_Z^2 |F_{RL}^{(a)}|^2 (p_1 \cdot q_1)(p_2 \cdot q_2), \\ |M_a(e_R^- e_L^+ \Rightarrow H e_R^- e_L^+)|^2 &= 4 \left(\frac{e^2}{x_w(1-x_w)} \right)^3 M_Z^2 |F_{RR}^{(a)}|^2 (p_1 \cdot q_2)(p_2 \cdot q_1). \end{aligned} \quad (15)$$

4. İndi isə səpilmə b) diaqramının payının hesablanmasına keçək. Həmin diaqrama uyğun matris elementini yazaq:

$$\begin{aligned} M_b(e^- e^+ \Rightarrow H e^- e^+) &= - \left(\frac{e}{2 \sin \theta_w \cos \theta_w} \right)^3 M_Z \times \\ &\times \{ F_{LR}^{(s)} [\bar{u}(q_1, h_1) \gamma_\mu (1 + \gamma_5) u(p_1, \lambda_1)] [\bar{\nu}(p_2, \lambda_2) \gamma_\mu (1 + \gamma_5) \nu(q_2, h_2)] + \\ &+ F_{LL}^{(s)} [\bar{u}(q_1, h_1) \gamma_\mu (1 + \gamma_5) u(p_1, \lambda_1)] [\bar{u}(p_2, \lambda_2) \gamma_\mu (1 - \gamma_5) \nu(q_2, h_2)] + \\ &+ F_{RR}^{(s)} [\bar{u}(q_1, h_1) \gamma_\mu (1 - \gamma_5) u(p_1, \lambda_1)] [\bar{u}(p_2, \lambda_2) \gamma_\mu (1 + \gamma_5) \nu(q_2, h_2)] + \\ &+ F_{RL}^{(s)} [\bar{u}(q_1, h_1) \gamma_\mu (1 - \gamma_5) u(p_1, \lambda_1)] [\bar{u}(p_2, \lambda_2) \gamma_\mu (1 - \gamma_5) \nu(q_2, h_2)] \}, \end{aligned} \quad (16)$$

burada

$$\begin{aligned} F_{LR}^{(s)} &= D_Z(p_1 - q_1) D_Z(p_2 - q_2) g_L^2, & F_{RL}^{(s)} &= D_Z(p_1 - q_1) D_Z(p_2 - q_2) g_R^2, \\ F_{LL}^{(s)} &= D_Z(p_1 - q_1) D_Z(p_2 - q_2) g_L g_R, & F_{RR}^{(s)} &= D_Z(p_1 - q_1) D_Z(p_2 - q_2) g_R g_L \end{aligned} \quad (17)$$

səpilmə diaqramına uyğun spiral amplitudlardır (birinci və ikinci indekslər başlanğıc (son) elektronla pozitronun spirallıqlarını göstərir və:

$$D_Z(p_1 - q_1) = [(p_1 - q_1)^2 - M_Z^2]^{-1}.$$

Matris elementinin (16) ifadəsindən aydın görünür ki, səpilmə diaqramına uyğun dörd spiral proses mövcuddur (səpilmə diaqramının hər bir tərəsində həm elektronun,

həm də pozitronun spirallığı saxlanılır):

1) elektron sol, pozitron isə sağ polyarizə olunmuşdur:

$$e_L^- + e_R^+ \Rightarrow H + e_L^- + e_R^+;$$

2) həm elektron, həm də pozitron sol polyarizə olunmuşdur:

$$e_L^- + e_L^+ \Rightarrow H + e_L^- + e_L^+;$$

3) həm elektron, həm də pozitron sağ polyarizə olunmuşdur:

$$e_R^- + e_R^+ \Rightarrow H + e_R^- + e_R^+;$$

4) elektron sağ, pozitron isə sol polyarizə olunmuşdur:

$$e_R^- + e_L^+ \Rightarrow H + e_R^- + e_L^+.$$

Həmin spiral proseslərin amplitudları arasında interferensiya baş vermir, odur ki, uyğun spiral proseslərin matris elementlərini kvadrata yüksəltəndikdə aşağıdakı ifadələr alınır:

$$\begin{aligned} |M_b(e_L^- e_R^+ \Rightarrow H e_L^- e_R^+)|^2 &= 4 \left(\frac{e^2}{x_w(1-x_w)} \right)^3 \cdot M_Z^2 \cdot |F_{LR}^{(s)}|^2 (p_1 \cdot q_2)(p_2 \cdot q_1), \\ |M_b(e_L^- e_L^+ \Rightarrow H e_L^- e_L^+)|^2 &= 4 \left(\frac{e^2}{x_w(1-x_w)} \right)^3 \cdot M_Z^2 \cdot |F_{LL}^{(s)}|^2 (p_1 \cdot p_2)(q_1 \cdot q_2), \\ |M_b(e_R^- e_R^+ \Rightarrow H e_R^- e_R^+)|^2 &= 4 \left(\frac{e^2}{x_w(1-x_w)} \right)^3 \cdot M_Z^2 \cdot |F_{RR}^{(s)}|^2 (p_1 \cdot p_2)(q_1 \cdot q_2), \\ |M_b(e_R^- e_L^+ \Rightarrow H e_R^- e_L^+)|^2 &= 4 \left(\frac{e^2}{x_w(1-x_w)} \right)^3 \cdot M_Z^2 \cdot |F_{RL}^{(s)}|^2 (p_1 \cdot q_2)(p_2 \cdot q_1). \end{aligned} \quad (18)$$

Maraqlıdır ki, yalnız $e_L^- + e_R^+ \Rightarrow H + e_L^- + e_R^+$ və $e_R^- + e_L^+ \Rightarrow H + e_R^- + e_L^+$ spiral proseslərinə uyğun annihilyasiya və səpilmə diaqramları arasında interferensiya baş verir:

$$\begin{aligned} |M_{\text{int}}(e_L^- e_R^+ \Rightarrow H e_L^- e_R^+)|^2 &= 8 \left(\frac{e^2}{x_w(1-x_w)} \right)^3 \cdot M_Z^2 \text{Re}[F_{LL}^{*(a)} F_{LR}^{(s)}] \cdot (p_1 \cdot q_2)(p_2 \cdot q_1), \\ |M_{\text{int}}(e_R^- e_L^+ \Rightarrow H e_R^- e_L^+)|^2 &= 8 \left(\frac{e^2}{x_w(1-x_w)} \right)^3 \cdot M_Z^2 \text{Re}[F_{RR}^{*(a)} F_{RL}^{(s)}] \cdot (p_1 \cdot q_2)(p_2 \cdot q_1). \end{aligned} \quad (19)$$

Beləliklə, məlum olur ki, yalnız:

$$e_L^- + e_R^+ \Rightarrow H + e_L^- + e_R^+, \quad e_R^- + e_L^+ \Rightarrow H + e_R^- + e_L^+, \quad (20)$$

$$e_L^- + e_R^+ \Rightarrow H + e_R^- + e_L^+, \quad e_R^- + e_L^+ \Rightarrow H + e_L^- + e_R^+, \quad (21)$$

$$e_L^- + e_L^+ \Rightarrow H + e_L^- + e_L^+, \quad e_R^- + e_R^+ \Rightarrow H + e_R^- + e_R^+. \quad (22)$$

keçidlərinə uyğun spiral amplitudlar sıfırdan fərqlidir.

Aydınır ki, (20) keçid amplitudlarına həm annihilyasiya, həm də səpilmə diaqramları, (21) keçidlərinə yalnız annihilyasiya diaqramı və (22) keçidlərinə isə yalnız səpilmə diaqramı pay verir. Həmin keçidlərə uyğun amplitudların modullarının kvadratları bərabərdir:

$$|M(e_L^- e_R^+ \Rightarrow H e_L^- e_R^+)|^2 = 4 \left(\frac{e^2}{x_w(1-x_w)} \right)^3 \cdot M_Z^2 \cdot |F_{LL}^{(a)} + F_{LR}^{(s)}|^2 (p_1 \cdot q_2)(p_2 \cdot q_1),$$

$$\begin{aligned}
|M(e_R^- e_L^+ \Rightarrow H e_R^- e_L^+)|^2 &= 4 \left(\frac{e^2}{x_w(1-x_w)} \right)^3 \cdot M_Z^2 \cdot |F_{RR}^{(a)} + F_{RL}^{(s)}|^2 (p_1 \cdot q_2)(p_2 \cdot q_1), \\
|M(e_L^- e_R^+ \Rightarrow H e_R^- e_L^+)|^2 &= 4 \left(\frac{e^2}{x_w(1-x_w)} \right)^3 \cdot M_Z^2 \cdot |F_{LR}^{(a)}|^2 (p_1 \cdot q_1)(p_2 \cdot q_2), \\
|M(e_R^- e_L^+ \Rightarrow H e_L^- e_R^+)|^2 &= 4 \left(\frac{e^2}{x_w(1-x_w)} \right)^3 \cdot M_Z^2 \cdot |F_{RL}^{(a)}|^2 (p_1 \cdot q_1)(p_2 \cdot q_2), \\
|M(e_L^- e_R^+ \Rightarrow H e_L^- e_R^+)|^2 &= 4 \left(\frac{e^2}{x_w(1-x_w)} \right)^3 \cdot M_Z^2 \cdot |F_{LL}^{(s)}|^2 (p_1 \cdot p_2)(q_1 \cdot q_2), \\
|M(e_R^- e_R^+ \Rightarrow H e_R^- e_R^+)|^2 &= 4 \left(\frac{e^2}{x_w(1-x_w)} \right)^3 \cdot M_Z^2 \cdot |F_{RR}^{(s)}|^2 (p_1 \cdot p_2)(q_1 \cdot q_2).
\end{aligned} \tag{23}$$

5. Hər bir spiral prosesin diferensial effektiv kəsiyi uyğun amplitudun modulunun kvadratı ilə mütənasibdir. Son elektron-pozitron cütünün impulslarına görə inteqrallaşdırma apararaq Hiqqs bozonun bucaqlara və enerjiyə görə paylanmalarını xarakterizə edən effektiv kəsikləri almaq olar. Ümumi halda alınan ifadələr çox mürəkkəbdir, ona görə Z^0 -rezonansı oblastında, yəni $xs = M_Z^2$ olduğu halda $e^- e^+ \rightarrow H e^- e^+$ prosesinin diferensial effektiv kəsiyini araşdıracağıq. Bu oblastda annihilyasiya diaqramının payı səpilmə diaqramının payından dəfələrlə çoxdur və başlanğıc $e^- e^+$ cütü uzununa polarizə olduğu halda effektiv kəsik aşağıdakı kimi yazıla bilər:

$$\begin{aligned}
d\sigma &= \frac{\alpha^3 s}{24\pi x_w^3 (1-x_w)^3} \cdot \frac{1}{(s-M_Z^2)^2} \cdot \frac{1}{\Gamma_Z^2} \cdot f(\omega, \theta) \sqrt{\omega^2 - M_H^2} d\omega d\Omega \times \\
&\times [(1-\lambda_1)(1+\lambda_2)g_L^2 + (1+\lambda_1)(1-\lambda_2)g_R^2](g_L^2 + g_R^2),
\end{aligned} \tag{24}$$

burada

$$f(\omega, \theta) = 2x + \frac{1}{s}(\omega^2 - M_H^2) \sin^2 \theta,$$

θ – Hiqqs bozonla başlanğıc elektronun impulsarı arasındakı bucaqdır.

(24) düsturundan aydın görünür ki, $e_L^- + e_R^+ \rightarrow H + e^- + e^+$ və $e_R^- + e_L^+ \rightarrow H + e^- + e^+$ proseslərinin diferensial effektiv kəsikləri bir-birindən fərqlənir, deməli, $e^- + e^+ \rightarrow H + e^- + e^+$ prosesində sol-sağ spin asimetriyası sıfırdan fərqlidir:

$$A_{LR} = \frac{d\sigma(e_L^- e_R^+ \rightarrow H e^- e^+) - d\sigma(e_R^- e_L^+ \rightarrow H e^- e^+)}{d\sigma(e_L^- e_R^+ \rightarrow H e^- e^+) + d\sigma(e_R^- e_L^+ \rightarrow H e^- e^+)} = \frac{g_L^2 - g_R^2}{g_L^2 + g_R^2}. \tag{25}$$

Həmin asimetriya Vayberq parametri $x_w = 0.232$ olduqda 14% təşkil edir.

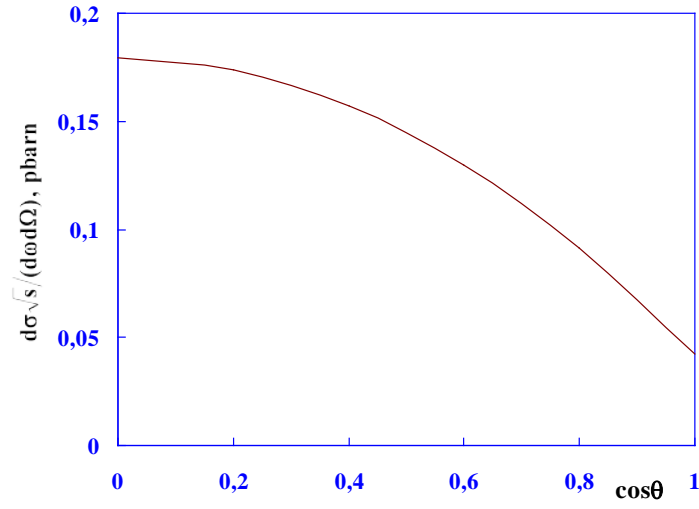
Polyarizə olunmamış zərrəciklər halında Hiqqs bozonun bucaqlara və enerjiyə görə paylanmaları aşağıdakı düsturlarla verilir:

$$\frac{d\sigma}{d\omega d\Omega} = \frac{\alpha^3 s}{24\pi x_w^3 (1-x_w)^3} \cdot \frac{1}{(s-M_Z^2)^2} \cdot \frac{(g_L^2 + g_R^2)^2}{\Gamma_Z^2} \cdot f(\omega, \theta) \sqrt{\omega^2 - M_H^2}, \tag{26}$$

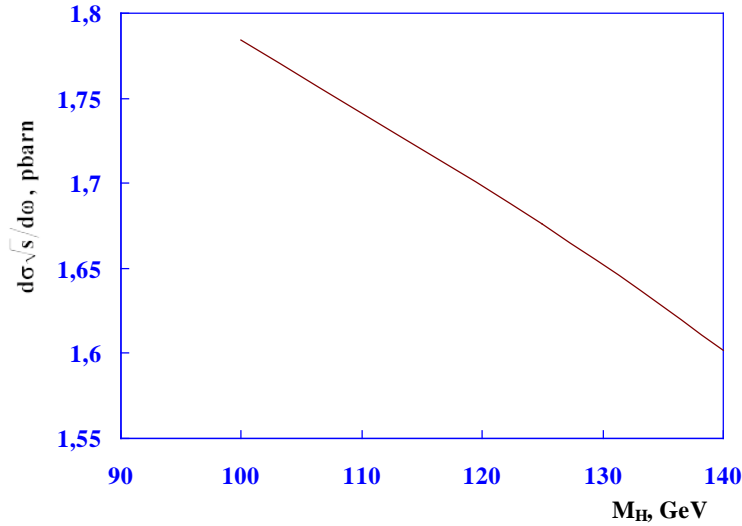
$$\frac{d\sigma}{d\omega} = \frac{\alpha^3 s}{3x_w^3 (1-x_w)^3} \cdot \frac{(g_L^2 + g_R^2)^2}{(s-M_Z^2)^2} \cdot \frac{1}{\Gamma_Z^2} \left[1 - \frac{2\omega}{\sqrt{s}} + \frac{1}{3}(\omega^2 + 2M_H^2) \right] \sqrt{\omega^2 - M_H^2}, \tag{27}$$

2-ci şəkildə elektron-pozitron dəstələrinin enerjisinin $\sqrt{s} = 500$ QeV qiymətində Higgs bozonun bucaqlara görə paylanması təsvir edilmişdir. Higgs bozonun kütləsi 125 QeV, Vaynberq parametri $x_w = 0.232$ seçilmişdir. Qrafikdən görüldüyü kimi, $\cos\theta$ -nin artması ilə effektiv kəsik azalır və $\cos\theta = 1$ olduqda minimuma çatır.

Rezonans oblastında $e^-e^+ \rightarrow He^-e^+$ prosesinin $\frac{d\sigma\sqrt{s}}{d\omega}$ effektiv kəsiyinin Higgs bozonun kütləsindən asılılıq qrafiki 3-cü şəkildə təsvir edilmişdir. Higgs bozonun kütləsinin artması ilə effektiv kəsik azalır.

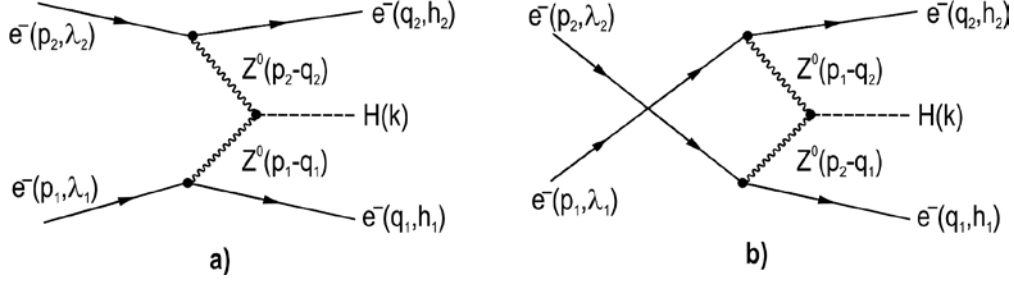


Şəkil 2. $e^-e^+ \rightarrow He^-e^+$ prosesinin $\frac{d\sigma\sqrt{s}}{d\omega d\Omega}$ effektiv kəsiyinin $\cos\theta$ -dan asılılığı.



Şəkil 3. $\frac{d\sigma\sqrt{s}}{d\omega}$ effektiv kəsiyinin Higgs bozonun M_H kütləsindən asılılığı.

6. Elektron-elektron səpilməsində Hiqqs bozonun yaranması prosesinə də iki Feynman diaqramı uyğun gəlir (şəkil 4).



Şəkl. 4. $e^-e^- \rightarrow He^-e^-$ prosesinin Feynman diaqramları.

a) diaqramına uyğun matris elementini yazmaq:

$$M_a = \left(\frac{e}{2 \sin \theta_w \cdot \cos \theta_w} \right)^3 M_Z \times \left\{ \begin{aligned} &F_{LL}^{(a)} [\bar{u}(q_1, h_1) \gamma_\mu (1 + \gamma_5) u(p_1, \lambda_1)] [\bar{u}(q_2, h_2) \gamma_\mu (1 + \gamma_5) u(p_2, \lambda_2)] + \\ &+ F_{LR}^{(a)} [\bar{u}(q_1, h_1) \gamma_\mu (1 + \gamma_5) u(p_1, \lambda_1)] [\bar{u}(q_2, h_2) \gamma_\mu (1 - \gamma_5) u(p_2, \lambda_2)] + \\ &+ F_{RL}^{(a)} [\bar{u}(q_1, h_1) \gamma_\mu (1 - \gamma_5) u(p_1, \lambda_1)] [\bar{u}(q_2, h_2) \gamma_\mu (1 + \gamma_5) u(p_2, \lambda_2)] + \\ &+ F_{RR}^{(a)} [\bar{u}(q_1, h_1) \gamma_\mu (1 - \gamma_5) u(p_1, \lambda_1)] [\bar{u}(q_2, h_2) \gamma_\mu (1 - \gamma_5) u(p_2, \lambda_2)] \end{aligned} \right\}. \quad (28)$$

Burada

$$F_{LL}^{(a)} = D_1 D_2 g_L^2, \quad F_{LR}^{(a)} = F_{RL}^{(a)} = D_1 D_2 g_L g_R, \quad F_{RR}^{(a)} = D_1 D_2 g_R^2 \quad (29)$$

a) diaqramına uyğun spiral amplitudlardır (indekslər başlanğıc (son) elektronların spirallıqlarını göstərir) və

$$D_1 = [(p_1 - q_1)^2 - M_Z^2]^{-1}, \quad D_2 = [(p_2 - q_2)^2 - M_Z^2]^{-1}.$$

İkinci b) diaqramına uyğun matris elementini

$$M_b = \left(\frac{e}{2 \sin \theta_w \cdot \cos \theta_w} \right)^3 M_Z \times \left\{ \begin{aligned} &F_{LL}^{(b)} [\bar{u}(q_2, h_2) \gamma_\mu (1 + \gamma_5) u(p_1, \lambda_1)] [\bar{u}(q_1, h_1) \gamma_\mu (1 + \gamma_5) u(p_2, \lambda_2)] + \\ &+ F_{LR}^{(b)} [\bar{u}(q_2, h_2) \gamma_\mu (1 + \gamma_5) u(p_1, \lambda_1)] [\bar{u}(q_1, h_1) \gamma_\mu (1 - \gamma_5) u(p_2, \lambda_2)] + \\ &+ F_{RL}^{(b)} [\bar{u}(q_2, h_2) \gamma_\mu (1 - \gamma_5) u(p_1, \lambda_1)] [\bar{u}(q_1, h_1) \gamma_\mu (1 + \gamma_5) u(p_2, \lambda_2)] + \\ &+ F_{RR}^{(b)} [\bar{u}(q_2, h_2) \gamma_\mu (1 - \gamma_5) u(p_1, \lambda_1)] [\bar{u}(q_1, h_1) \gamma_\mu (1 - \gamma_5) u(p_2, \lambda_2)] \end{aligned} \right\} \quad (30)$$

şəklində yazmaq olar, burada

$$F_{LL}^{(b)} = D_3 D_4 g_L^2, \quad F_{LR}^{(b)} = F_{RL}^{(b)} = D_3 D_4 g_L g_R, \quad F_{RR}^{(b)} = D_3 D_4 g_R^2 \quad (31)$$

uyğun spiral amplitudlardır və

$$D_3 = [(p_1 - q_2)^2 - M_Z^2]^{-1}, \quad D_4 = [(p_2 - q_1)^2 - M_Z^2]^{-1}.$$

Firs münasibətlərindən istifadə etməklə ümumi matris elementini aşağıdakı kimi yazıla bilər:

$$M = \left(\frac{e}{2 \sin \theta_w \cdot \cos \theta_w} \right)^3 M_Z \times \left\{ \begin{aligned} & (F_{LL}^{(a)} + F_{LL}^{(b)}) [\bar{u}(q_1, h_1) \gamma_\mu (1 + \gamma_5) u(p_1, \lambda_1)] [\bar{u}(q_2, h_2) \gamma_\mu (1 + \gamma_5) u(p_2, \lambda_2)] + \\ & + (F_{RR}^{(a)} + F_{RR}^{(b)}) [\bar{u}(q_1, h_1) \gamma_\mu (1 - \gamma_5) u(p_1, \lambda_1)] [\bar{u}(q_2, h_2) \gamma_\mu (1 - \gamma_5) u(p_2, \lambda_2)] + \\ & + F_{LR}^{(a)} [\bar{u}(q_1, h_1) \gamma_\mu (1 + \gamma_5) u(p_1, \lambda_1)] [\bar{u}(q_2, h_2) \gamma_\mu (1 - \gamma_5) u(p_2, \lambda_2)] + \\ & + F_{RL}^{(a)} [\bar{u}(q_1, h_1) \gamma_\mu (1 - \gamma_5) u(p_1, \lambda_1)] [\bar{u}(q_2, h_2) \gamma_\mu (1 + \gamma_5) u(p_2, \lambda_2)] - \\ & - F_{LR}^{(b)} [\bar{u}(q_2, h_2) \gamma_\mu (1 + \gamma_5) u(p_1, \lambda_1)] [\bar{u}(q_1, h_1) \gamma_\mu (1 - \gamma_5) u(p_2, \lambda_2)] - \\ & - F_{RL}^{(b)} [\bar{u}(q_2, h_2) \gamma_\mu (1 - \gamma_5) u(p_1, \lambda_1)] [\bar{u}(q_1, h_1) \gamma_\mu (1 + \gamma_5) u(p_2, \lambda_2)] \end{aligned} \right\}. \quad (32)$$

Göründüyü kimi, elektron-elektron səpilməsində Higgs bozonun yaranması prosesinə də altı spiral amplitud uyğundur. Həmin spiral amplitudlar

$$\begin{aligned} e_L^- + e_L^- &\Rightarrow H + e_L^- + e_L^-, & e_R^- + e_R^- &\Rightarrow H + e_R^- + e_R^-, \\ e_L^- + e_R^- &\Rightarrow H + e_L^- + e_R^-, & e_R^- + e_L^- &\Rightarrow H + e_R^- + e_L^-, \\ e_L^- + e_R^- &\Rightarrow H + e_R^- + e_L^-, & e_R^- + e_L^- &\Rightarrow H + e_L^- + e_R^-. \end{aligned} \quad (33)$$

proseslərini təsvir edir. Bu proseslərə uyğun amplitudların modullarının kvadratları aşağıdakı ifadələrlə verilir:

$$\begin{aligned} |M(e_L^- e_L^- \Rightarrow H e_L^- e_L^-)|^2 &= 4 \left(\frac{e^2}{x_w (1 - x_w)} \right)^3 \cdot M_Z^2 \cdot (F_{LL}^{(a)} + F_{LL}^{(b)})^2 (p_1 \cdot p_2) (q_2 \cdot q_1), \\ |M(e_R^- e_R^- \Rightarrow H e_R^- e_R^-)|^2 &= 4 \left(\frac{e^2}{x_w (1 - x_w)} \right)^3 \cdot M_Z^2 \cdot (F_{RR}^{(a)} + F_{RR}^{(b)})^2 (p_1 \cdot p_2) (q_2 \cdot q_1), \\ |M(e_L^- e_R^- \Rightarrow H e_L^- e_R^-)|^2 &= 4 \left(\frac{e^2}{x_w (1 - x_w)} \right)^3 \cdot M_Z^2 \cdot (F_{LR}^{(a)})^2 (p_1 \cdot q_2) (p_2 \cdot q_1), \\ |M(e_R^- e_L^- \Rightarrow H e_R^- e_L^-)|^2 &= 4 \left(\frac{e^2}{x_w (1 - x_w)} \right)^3 \cdot M_Z^2 \cdot (F_{RL}^{(a)})^2 (p_1 \cdot q_2) (p_2 \cdot q_1), \\ |M(e_L^- e_R^- \Rightarrow H e_R^- e_L^-)|^2 &= 4 \left(\frac{e^2}{x_w (1 - x_w)} \right)^3 \cdot M_Z^2 \cdot (F_{LR}^{(b)})^2 (p_1 \cdot q_1) (p_2 \cdot q_2), \\ |M(e_R^- e_L^- \Rightarrow H e_L^- e_R^-)|^2 &= 4 \left(\frac{e^2}{x_w (1 - x_w)} \right)^3 \cdot M_Z^2 \cdot (F_{RL}^{(b)})^2 (p_1 \cdot q_1) (p_2 \cdot q_2). \end{aligned} \quad (34)$$

(33)-də göstərilmiş hər bir spiral prosesin diferensial effektiv kəsiyi adi qaydalarla hesablanır. Alınmış ifadələr mürəkkəb olduğundan burada verilmir. Yalnız başlanğıc

elektronların spinlərinə görə ortalama, son elektronların spin hallarına görə cəmləmə apardıqda ümumi matris elementinin kvadratı üçün alınmış ifadəni veririk:

$$\frac{1}{4} \sum \overline{|M(e^- e^- \Rightarrow He^- e^-)|^2} \sim [(D_1 D_2 + D_3 D_4)^2 (g_L^4 + g_R^4) (p_1 \cdot p_2) (q_1 \cdot q_2) + 2(D_1 D_2 g_L g_R)^2 (p_1 \cdot q_2) (p_2 \cdot q_1) + 2(D_3 D_4 g_L g_R)^2 (p_1 \cdot q_1) (p_2 \cdot q_2)]. \quad (35)$$

Son elektronların impulslarına görə integralların aparılması məsələsinə növbəti elmi əsərdə baxılacaqdır.

ƏDƏBİYYAT

1. Abdullayev S.Q. Lepton-lepton və lepton-hadron qarşılıqlı təsirlərində zəif cərəyan effektləri (I-Hissə). Bakı: AM965 MMC, 2012, 484 s.
2. ATLAS Collaboration. Observation of a New particle in the Search for the Standard Model Higgs Boson with the ATLAS Detector at the LHC // Phys. Lett. B, 2012, v.716, p.1-29.
3. CDF Collaboration // Phys. Rev. Lett. (2012), arxiv: 1207.1707 [hep-ex].
4. CDF Collaboration // Phys. Rev. Lett. (2012), arxiv: 1207.6631 [hep-ex].
5. CDF Collaboration, Do Collaboration // Phys. Rev. Lett. (2012), arxiv: 1207.6436 [hep-ex].
6. ATLAS Collaboration, Phys. Rev. D 86 (2012) 032003.
7. CMS Collaboration, Phys. Lett. B 710 (2012) 26.
8. De Florian D., Grazzini M. Higgs Production at the LHC: Updated Cross Sections at $\sqrt{s} = 8$ TeV, arxiv: 1207.6436 [hep-ex].
9. De Florian D., Ferrera G., Grazzini M., Tommasini D. JHEP 1111, 2011, 064.
10. Dittmaier S., Mariotti C., Passarino G., Tanaca R. LHC Higgs Cross Section Working Group, Handbook of LHC Higgs Cross Sections: 1. Inclusive Observables, CERN-2011-002, arxiv: 1101.0593 [hep-ph], 2011; 2. Differential Distributions, CERN-2011-002, arxiv: 1201.3084 [hep-ph], 2012.

РОЖДЕНИЕ ХИГГС БОЗОНА В ЭЛЕКТРОН-ПОЗИТРОННОМ И ЭЛЕКТРОН-ЭЛЕКТРОННОМ РАССЕЙЯНИИХ

С.К.АБДУЛЛАЕВ, М.Ш.ГОДЖАЕВ, Ф.А.САДДИХ

РЕЗЮМЕ

В рамках Стандартной Модели исследованы процессы рождения скалярного Хиггс бозона в электрон-позитронном и электрон-электронном рассеяниях: $e^- e^+ \Rightarrow He^- e^+$, $e^- e^- \Rightarrow He^- e^-$. Установлено, что каждый из процессов характеризуются шестью спиральными амплитудами. Вычислены эффективные сечения спиральных процессов при энергии встречных пучков $\sqrt{s} = 500$ ГэВ. Изучены угловые и энергетические распределения Хиггс бозона.

Ключевые слова: Хиггс бозон, спиральность, лево- и правые константы связи, параметр Вайнберга, спиральные амплитуды.

HIGGS BOSON PRODUCTION IN ELECTRON-POSITRON AND ELECTRON-ELECTRON SCATTERING

S.G.ABDULLAYEV, M.Sh.GOJAYEV, F.A.SADDIGH

SUMMARY

In the framework of Standard Model, the processes of scalar Higgs boson production in electron-positron and electron-electron scatterings are investigated: $e^-e^+ \Rightarrow He^-e^+$, $e^-e^- \Rightarrow He^-e^-$. It is shown that these processes are defined by only six amplitudes. The cross sections are calculated for spiral processes at the energy $\sqrt{s} = 500$ GeV. The energy and angle distributions of Higgs boson are studied.

Key words: Higgs boson, left and right coupling constants, spirality, Weinberg's parameter, helicity amplitudes.

Redaksiyaya daxil oldu: 13.10.2014-cü il
Çapa imzalandı: 13.02.2015-ci il.