

ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ХИГГСОВСКИХ БОЗОНОВ С КАЛИБРОВОЧНЫМИ БОЗОНАМИ В СУПЕРСИММЕТРИЧНОЙ SU(2)×U(1)×U'(1)–МОДЕЛИ

Ф.Т.ХАЛИЛ-ЗАДЕ, Б.И.МЕХТИЕВ, Х.А.МУСТАФАЕВ

*Институт Физики НАН Азербайджана
AZ 1143, Баку, пр. Г.Джавида, 33*

В рамках расширенной суперсимметричной SU(2)×U(1)×U'(1)–модели рассмотрены взаимодействия хиггсовских и калибровочных бозонов. Получены выражения для лагранжианов взаимодействия калибровочных бозонов $A_\mu, W_\mu^\pm, Z_\mu, Z'_\mu$ с хиггсовскими бозонами H^\pm, h_1^0, h_2^0 .

Настоящая работа является продолжением работ, посвященных построению суперсимметричной SU(2)×U(1)×U'(1)–модели лептонов и кварков [1-6]. В работах [1,2] рассмотрены вопросы спонтанного нарушения суперсимметрии, получены выражения масс калибровочных бозонов и их суперсимметричных партнеров. Работа [3] посвящена исследованию взаимодействия калибровочных бозонов с кварками и скалярными кварками. Возможность устранения Адлеровских аномалий в этой модели была показана в работе [4]. Вопросу исследования приемлемости рассмотренной модели в свете существующих экспериментальных данных по нейтральным слабым токам, получению ограничений на параметры модели и на массы хиггсовских и Z' –бозонов посвящена работа [5].

В работе [6] исследованы взаимодействия суперпартнеров калибровочных бозонов с кварками и скалярными кварками, а также калибровочными бозонами. В данной работе исследованы взаимодействия хиггсовских бозонов с калибровочными бозонами.

Отметим, что исследованию различных возможностей построения суперсимметричных SU(2)×U(1)×U'(1)–моделей посвящен ряд работ [7-12].

В свете планируемых на ЛHC экспериментов по обнаружению хиггсовских бозонов исследование трехточечных и четырехточечных взаимодействий хиггсовских бозонов с калибровочными бозонами в различных моделях представляет несомненный интерес. В связи с этим, в рамках расширенной суперсимметричной SU(2)×U(1)×U'(1)–модели, предложенной авторами в работах [1-6] рассмотрим взаимодействие хиггсовских бозонов с калибровочными бозонами.

Сначала рассмотрим трехточечные взаимодействия хиггс бозон – хиггс бозон - калибровочный бозон.

Лагранжиан этого взаимодействия в двухкомпонентной записи описывается следующей частью лагранжиана взаимодействия суперсимметричной SU(2)×U(1)×U'(1)–модели ((1) в работе [1])

$$L = -i \sum_k V_\mu \left(A_k^* \partial^\mu A_k - A_k \partial^\mu A_k^* \right). \quad (1)$$

Производя соответствующие вычисления, лагранжиан (1) можно написать в виде

$$L_{HHV} = L_{HHW} + L_{HH\gamma} + L_{HHZ} + L_{HHZ'}.$$

При соответствующем выборе T_{3i} и e_i и гиперзарядов (Таблица 1) имеем

$$L_{HHW} = -\frac{ig}{\sqrt{2}} \left[W_\mu^+ \left(H_1^{1*} \overset{\leftrightarrow}{\partial}^\mu H_1^2 + H_2^{1*} \overset{\leftrightarrow}{\partial}^\mu H_2^2 \right) + h.c. \right],$$

$$\begin{aligned}
 L_{HH\gamma} &= ig \sin \eta A_\mu \left(H_1^{2*} \overleftrightarrow{\partial}^\mu H_1^2 - H_2^{1*} \overleftrightarrow{\partial}^\mu H_2^1 \right), \\
 L_{HHZ} &= \frac{ig}{2 \cos \eta} Z_\mu \left[\left(H_1^{1*} \overleftrightarrow{\partial}^\mu H_1^1 - H_2^{2*} \overleftrightarrow{\partial}^\mu H_2^2 \right) - (1 - 2 \sin^2 \eta) \left(H_1^{2*} \overleftrightarrow{\partial}^\mu H_1^2 - H_2^{1*} \overleftrightarrow{\partial}^\mu H_2^1 \right) \right], \\
 L_{HHZ'} &= \frac{ig_2}{2 \sin \xi} Z'_\mu \left[(y_1 - \sin^2 \xi) \left(H_1^{1*} \overleftrightarrow{\partial}^\mu H_1^1 + H_1^{2*} \overleftrightarrow{\partial}^\mu H_1^2 \right) + \right. \\
 &\quad \left. + (y_2 + \sin^2 \xi) \left(H_2^{1*} \overleftrightarrow{\partial}^\mu H_2^1 + H_2^{2*} \overleftrightarrow{\partial}^\mu H_2^2 \right) \right]. \tag{2}
 \end{aligned}$$

Переход к физическим полям можно осуществить с помощью следующих выражений

$$\begin{aligned}
 H_1^1 &= \frac{1}{2} [a h_1^0 - b H^0 + i (c h_2^0 - d G^0)], \\
 H_2^2 &= \frac{1}{2} [b h_1^0 + a H^0 + i (d h_2^0 + c G^0)], \\
 H_1^2 &= b_1 H^- - a_1 G^-, \\
 H_2^1 &= a_1 H^+ + b_1 G^+, \\
 N &= h_3^0 + i h_4^0,
 \end{aligned} \tag{3}$$

где нейтральные безмассовые голдстоуновские бозоны H^0, G^0 и G^\pm поглощаются соответственно Z, Z' и W^\pm – бозонами. Выражения остальных обозначений, входящих в (3), приведены в приложении.

Учитывая (3) в (2), для лагранжиана взаимодействия хиггсовских бозонов с калибровочными бозонами, имеем

$$\begin{aligned}
 L_{HHW} &= -\frac{ig}{2\sqrt{2}} \left\{ W_\mu^+ H^- \overleftrightarrow{\partial}^\mu [(a_1 b - a b_1) h_1^0 + i (b_1 c + a_1 d) h_2^0 + h.c.] \right\}, \\
 L_{HH\gamma} &= -ig \sin \eta A_\mu H^- \overleftrightarrow{\partial}^\mu H^+, \\
 L_{HHZ} &= -\frac{g}{4 \cos \eta} Z_\mu \left[(ac - bd) h_1^0 \overleftrightarrow{\partial}^\mu h_2^0 - 2i (1 - 2 \sin^2 \eta) H^- \overleftrightarrow{\partial}^\mu H^+ \right], \\
 L_{HHZ'} &= -\frac{g_2}{4 \sin \xi} Z'_\mu \left\{ [(y_1 - \sin^2 \xi) ac + (y_2 + \sin^2 \xi) bd] h_1^0 \overleftrightarrow{\partial}^\mu h_2^0 + \right. \\
 &\quad \left. + 2i [(y_1 - \sin^2 \xi) b_1^2 - (y_2 + \sin^2 \xi) a_1^2] H^- \overleftrightarrow{\partial}^\mu H^+ \right\}. \tag{4}
 \end{aligned}$$

Теперь рассмотрим взаимодействие калибровочный бозон - калибровочный бозон- хиггсовский бозон. Такому взаимодействию соответствует следующая часть лагранжиана взаимодействия суперсимметричной SU(2)×U(1)×U'(1)-модели [1].

$$L = \sum_k V_\mu V^\mu A_k^* A_k. \tag{5}$$

Произведя стандартные вычисления, имеем

$$L_{VVH} = L_{WVH} + L_{WVH} + L_{WZH} + L_{WZH} + L_{ZZH} + L_{ZZH} + L_{ZZH},$$

где

$$\begin{aligned}
 L_{WHH} &= \frac{g^2}{2\sqrt{2}} (av_1 + bv_2) W_\mu^+ W^{-\mu} h_1^0, \\
 L_{W\Delta H} &= -\frac{1}{2} g \sin \eta (b_1 v_1 - a_1 v_2) W^{-\mu} A_\mu H^+ + h.c., \\
 L_{WZH} &= -\frac{g}{2 \cos \eta} (b_1 v_1 - a_1 v_2) W^{-\mu} Z_\mu H^+ + h.c., \\
 L_{WZH} &= -\frac{g g_2}{2 \sin \xi} (y_1 + y_2) (b_1 v_1 \cos^2 \theta_V + a_1 v_2 \sin^2 \theta_V) W^{-\mu} Z'_\mu H^+ + h.c., \\
 L_{ZZH} &= \frac{g^2}{4\sqrt{2} \cos^2 \eta} (av_1 + bv_2) Z_\mu Z^\mu h_1^0, \\
 L_{ZZH} &= \frac{g g_2}{2\sqrt{2} \cos \eta \sin \xi} (y_1 + y_2) (av_1 \cos^2 \theta_V - bv_2 \sin^2 \theta_V) Z_\mu Z'^\mu h_1^0, \\
 L_{Z'Z'H} &= \frac{g^2}{4\sqrt{2} \sin^2 \xi} (y_1 + y_2)^2 \times (av_1 \cos^4 \theta_V + bv_2 \sin^4 \theta_V) Z'_\mu Z'^\mu h_1^0.
 \end{aligned} \tag{6}$$

В заключение рассмотрим четырехточечные взаимодействия калибровочных и хиггсовских бозонов. С учетом соответствующих значений T_{3i}, e_i и гиперзарядов (Таблица 2), лагранжиан такого взаимодействия, выраженный через поля H_1^1, H_1^2, H_2^1 и H_2^2 , можно получить из (5).

Далее, переходя к записи с физическими полями (3), имеем

$$\begin{aligned}
 L_{HHVV} &= \frac{g^2}{8} W_\mu^+ W^{-\mu} \left[(h_1^0)^2 + (h_2^0)^2 + 4H^+ H^- \right] + \frac{g}{2\sqrt{2}} \left[-g \sin \eta (A^\mu + tg \eta Z^\mu) + \frac{g_2}{\sin \xi} (y_1 - \sin^2 \xi) Z'^\mu \right] \times \\
 &\times \left[b_1 (ah_1^0 - ich_2^0) W_\mu^+ H^- + h.c. \right] + \frac{g}{2\sqrt{2}} \left[g \sin \eta (A^\mu + tg \eta Z^\mu) + \frac{g_2}{\sin \xi} (y_2 + \sin^2 \xi) Z'^\mu \right] \times \\
 &\times \left[a_1 (bh_1^0 + id h_2^0) W_\mu^+ H^- + h.c. \right] + g^2 \sin^2 \eta A_\mu A^\mu H^+ H^- + \frac{g^2}{16 \cos^2 \eta} Z_\mu Z^\mu \times \left[(h_1^0)^2 + (h_2^0)^2 + \right. \\
 &+ 4(1 - 2 \sin^2 \eta) H^+ H^- \left. \right] + \frac{g_2^2}{16 \sin^2 \xi} Z'_\mu Z'^\mu \times \left\{ (y_1 - \sin^2 \xi)^2 \left[a^2 (h_1^0)^2 + c^2 (h_2^0)^2 + 4b_1^2 H^+ H^- \right] + \right. \\
 &+ (y_2 + \sin^2 \xi)^2 \left[b^2 (h_1^0)^2 + d^2 (h_2^0)^2 + 4a_1^2 H^+ H^- \right] \left. \right\} + \\
 &+ g^2 tg \eta (1 - \sin^2 \eta) A_\mu Z^\mu H^+ H^- + \frac{g g_2 \sin \eta}{\sin \xi} \left[b_1^2 (y_1 - \sin^2 \xi) - a_1^2 (y_2 + \sin^2 \xi) \right] A_\mu Z'^\mu H^+ H^- + \\
 &+ \frac{g g_2}{8 \cos \eta \sin \xi} Z_\mu Z'^\mu \left\{ (y_1 - \sin^2 \xi) \left[a^2 (h_1^0)^2 + c^2 (h_2^0)^2 - 4b_1^2 (1 - 2 \sin^2 \eta) H^+ H^- \right] - \right. \\
 &\left. - (y_2 + \sin^2 \xi) \left[c^2 (h_1^0)^2 + d^2 (h_2^0)^2 - 4a_1^2 (1 - 2 \sin^2 \eta) H^+ H^- \right] \right\} + \frac{y_s^2 g_2^2}{4 \sin^2 \xi} Z'_\mu Z'^\mu \left[(h_3^0)^2 - (h_4^0)^2 \right]. \tag{7}
 \end{aligned}$$

Приложение.

Величины, входящие в выражения (3), имеют следующий вид:

$$a = \left[\frac{3v_1^2 x_1 - v_2^2 x_4}{3(v_1^2 x_1 + v_2^2 x_2) - (v_1^2 + v_2^2) x_4} \right]^{1/2}, \quad b = \left[\frac{3v_2^2 x_2 - v_1^2 x_4}{3(v_1^2 x_1 + v_2^2 x_2) - (v_1^2 + v_2^2) x_4} \right]^{1/2},$$

$$c = \left[\frac{v_1^2 x_1 - v_2^2 x_4}{v_1^2 x_1 + v_2^2 x_2 - (v_1^2 + v_2^2) x_4} \right]^{1/2}, \quad d = \left[\frac{v_2^2 x_2 - v_1^2 x_4}{v_1^2 x_1 + v_2^2 x_2 - (v_1^2 + v_2^2) x_4} \right]^{1/2},$$

$$a_1 = \left[\frac{v_1^2 x_3 + v_2^2 x_2}{v_1^2 (x_1 + x_3) - v_2^2 (x_2 + x_3)} \right]^{1/2}, \quad b_1 = \left[\frac{v_1^2 x_1 + v_2^2 x_3}{v_1^2 (x_1 + x_3) + v_2^2 (x_2 + x_3)} \right]^{1/2},$$

где

$$x_1 = g^2 + y_1^2 g_1^2 + (1 + y_1)^2 g_2^2,$$

$$x_2 = g^2 + y_2^2 g_1^2 + (1 - y_2)^2 g_2^2,$$

$$x_3 = g^2 + y_1 y_2 g_1^2 - (1 + y_1)(1 - y_2) g_2^2,$$

$$x_4 = g^2 - y_1 y_2 g_1^2 + (1 + y_1)(1 - y_2) g_2^2 - 8h^2.$$

Таблица 1.

	e_i	T_{3i}
H_1^0, \tilde{H}_1^0	0	1/2
H_1^-, \tilde{H}_1^-	-1	-1/2
H_2^+, \tilde{H}_2^+	1	1/2
H_2^0, \tilde{H}_2^0	0	-1/2

Таблица 2.

Хиггсовские бозоны	Фермионные партнеры	SU(2) _w	Y	Y ₁	Y ₂
$H_1^j = (H_1^0, H_1^-)$	$\tilde{H}_1^j = (\tilde{H}_1^0, \tilde{H}_1^-)$	Дублет	-1	y ₁	-1- y ₁
$H_2^j = (H_2^+, H_2^0)$	$\tilde{H}_2^j = (\tilde{H}_2^+, \tilde{H}_2^0)$	Дублет	1	y ₂	1- y ₂
N	\tilde{N}	Синглет	0	y _s	- y _s

1. Ф.Т.Халил-Заде, Б.И.Мехтиев, Х.А.Мустафаев, *Transactions of Azerbaijan Academy of Sciences, Series of Physical-mathematical and Technical sciences, Physics and Astronomy*, **XXV** №5 (2005) 13.
2. Ф.Т.Халил-Заде, Б.И.Мехтиев, Х.А.Мустафаев, *Transactions of Azerbaijan Academy of Sciences, Series of Physical-mathematical and Technical sciences, Physics and Astronomy*, **XXVI** №5 (2006) 58.
3. Ф.Т.Халил-Заде, Б.И.Мехтиев, Х.А.Мустафаев, *Transactions of Azerbaijan Academy of Sciences, Series of Physical-mathematical and Technical sciences, Physics and Astronomy*, **XXVII** №5 (2007) 31.
4. F.T.Khalil-zade, *Proceedings of International Workshop "Quantum particles, Fields and strings"*, Baku, September, (2005) 50.
5. О.Б.Абдинов, Ф.Т.Халил-Заде, С.С.Рзаева, *Transactions of Azerbaijan Academy of Sciences, Series of Physical-mathematical and Technical sciences, Physics and Astronomy*, **XXVII** №5 (2007) 15.
6. Ф.Т.Халил-Заде, Б.И.Мехтиев, Х.А.Мустафаев, *Transactions of Azerbaijan Academy of Sciences, Series of Physical-mathematical and Technical sciences, Physics and Astronomy*, **XXVIII** №5 (2008) 42.
7. J.H.Schwarz, *Phys. Rep.*, **C89** (1982) 223.
8. D.J.Gross et al., *Nucl. Phys.*, **B256** (1985) 253; **B257** (1986) 75.
9. F. del Aguila et al., *Nucl. Phys.*, **B284** (1987) 530.
10. V.Varger, K.Whisnant, *Phys. Rev.*, **D36** (1987) 3429.
11. Н.В.Красников, В.А.Матвеев, *УФН*, **174** (2004) 697.
12. Н.Е.Haber, G.L.Kane, *Phys. Rep.*, **C117** (1985) 73.

**SUPERSIMMETRIK SU(2)×U(1)×U'(1)– MODELINDƏ HIQQS BOZONLARIN
KALIBRLƏNMİŞ BOZONLARLA QARŞILIQLI TƏSİRİ**

F.T.XƏLİL-ZADƏ, B.İ.MEHDIYE, X.A.MUSTAFAYEV

Genişləndirilmiş supersimmetrik SU(2)×U(1)×U'(1)– modeli çərçivəsində HiqqS və kalibrlemə bozonların qarşılıqlı təsirinə baxılmışdır. Kalibrlemə $A_\mu, W_\mu^\pm, Z_\mu, Z'_\mu$ bozonlarla H^\pm, h_1^0, h_2^0 HiqqS bozonlarının qarşılıqlı təsir laqranjianları üçün ifadələr alınmışdır.

**THE INTERACTIONS OF THE HIGGS BOSONS WITH GAUGE BOSONS IN
SUPERSYMMETRIC SU(2)×U(1)×U'(1)–MODEL**

F.T.KHALIL-ZADE, B.I.MEHDIYEV, Kh.A.MUSTAFAYEV

The interactions of the Higgs and gauge bosons have been considered in the framework of the extended supersymmetric SU(2)×U(1)×U'(1)–model. The expressions for the interactions of the gauge bosons $A_\mu, W_\mu^\pm, Z_\mu, Z'_\mu$ with Higgs bosons H^\pm, h_1^0, h_2^0 have been obtained.

Редактор: Ш.Нагиев