

*Konstantin N. Novikov,  
Researcher,  
SIHE Kryvyi Rih National University*

## Model of the Fundamental Fermions Structure (Second Generation)

**Key words:** *Fundamental Fermions, fractional charges, model of fermions structure of the second generation, isospin projection, hypercharge, Gell-man's - Nisidzima formula, exchange particles.*

**Annotation:** *Based on structure of model of fermions of the first generation the model of structure of the second generation is developed. The composition of fermions of the second generation is offered. The analysis of reactions of interaction of elementary particles based on development of structure of particles is carried out. The question of systematization of exchange particles in interaction reactions is considered.*

### 1. Введение.

Эта статья является продолжением статьи «Модель структуры фундаментальных фермионов (первое поколение)» (6).

Перед тем как приступить к содержанию данной статьи сделаем некоторые уточняющие пояснения к предыдущей.

Прежде всего, о дробных зарядах. Предположим, что дробные заряды есть результат компенсации противоположных электрических зарядов более мелких частиц. Так, в частице с зарядом  $2/3$  до целого числа недостает  $1/3$ . Мы можем предположить, что это место заполнено двумя мелкими зарядами противоположного знака и величиной  $1/6$  заряда электрона, а значит, сумма этих зарядов равна 0. В оставшейся части  $2/3$  частицы должны находиться 4 одинаковых по знаку мелких зарядов. Таким образом, всего в такой частице находятся 6 мелких зарядов, и мы назвали их элзами (элементарный заряд). В Таблице 1 представлен элзовый состав фундаментальных фермионов первого поколения, сумма элзов частицы и заряд частицы в единицах заряда электрона.

Таблица 1. Развертка фундаментальных фермионов первого поколения в элзах.

Название частицы	Символ	Развертка в элзах				$\sum_1^6 q$ элз	Q е
		$g_{iz}$	$q_X$	$q_Y$	$q_Z$		
электрон	$e^-$	-	-	-	-	-6	-1
u-антикварк	$\bar{u}$	-	-	-	+	-4	-2/3
d-кварк	$d$	-	-	-	+	-2	-1/3
антинейтрино	$\bar{\nu}_e$	-	-	-	+	0	0
нейтрино	$\nu_e$	+	+	+	-	0	0
d-антикварк	$\bar{d}$	+	+	+	-	+2	+1/3
u-кварк	$u$	-	+	+	+	+4	+2/3
позитрон	$e^+$	+	+	+	+	+6	+1

Отсюда следует, что заряд частицы в единицах заряда электрона определяется как

$$Q = (\sum_1^6 q) / 6.$$

Состав и месторасположение в таблице 1 нейтрино и антинейтрино были определены в предыдущей статье (6).

Такое представление элементарных частиц позволило материализовать такие свойства элементарных частиц как зетовая проекция изоспина  $I_z$  и гиперзаряд  $Y$  (6), а также проводить анализ реакций взаимодействия с целью определения закономерностей протекания этих процессов.

Квантовые числа  $I_z$  и  $Y$  – характеристики частиц участвующих в сильных взаимодействиях. В слабых взаимодействиях им соответствуют квантовые числа  $T_z$  и  $Y_w$ .

Эти квантовые числа связаны между собой формулой Гелл-мана – Нисидзимы (10):

$$Q = I_z + Y/2 \quad (1) \quad Y = B + S + C + V' + T \quad (2)$$

где:  $B$  – барионный заряд,  $S$  – странность,  $C$  – очарование,  $V'$  – прелесть,  $T$  – истина.

Для частиц первого и второго поколения формула (2) приводится к виду:

$$Y = B + S + C \quad (3)$$

Аналог формулы Гелл-мана для слабого взаимодействия:

$$Q = T_z + Y_w / 2 \quad (4) \quad Y_w = B - L \quad (5)$$

Где:  $T_z$  – проекция слабого изоспина,  $Y_w$  – слабый гиперзаряд,  $B$  – барионный заряд,  $L$  – лептонный заряд.

В настоящей статье согласно элзовой теории проекция изоспина и гиперзаряд определяются следующим образом (6):  $I_z$  и  $T_z$  определяются как сумма элзов  $g_{iz}$  независимо от того, в каком взаимодействии эти частицы участвуют.

$$I_z(T_z) = \frac{1}{6} \sum_1^n g_{iz} \quad (6)$$

где:  $n$  – число фермионов в частице,  $g_{iz}$  – сумма элзов  $g_{iz}$  в фермионе,  $g_{iz} = +3$  или  $-3$ . Гиперзаряд и слабый гиперзаряд определяется по формуле:

$$Y(Y_w) = \frac{1}{3} \sum_1^n (g_x + g_y + g_z) \quad (7)$$

В Таблице 2 приведены элзовая развертка частиц с одним, двумя и тремя фермионами, расчеты значений  $I_z$  и  $Y$  по формулам Гелл-мана, а также по формулам (6), (7).  
Таблица 2.

Частица	Электрон $e^-$	$\pi^0$ -мезон	Протон $p$
Развертка по элзам	$g_{iz}g_xg_yg_z$ $e^- \quad -3. ---$	$g_{iz}g_xg_yg_z$ $u \quad +3. ++-$ $\bar{u} \quad -3. --+$	$g_{iz}g_xg_yg_z$ $u \quad +3. -++$ $d \quad -3. +-+$ $u \quad +3. ++-$
Расчет по формулам Гелл-мана $Y_w = B - L$ $Y = B + S + C$ $T_z = Q - Y_w / 2$ $I_z = Q - Y / 2$	$Y_w = 0 - 1 = -1$  $T_z = -1 - (-1/2) = -\frac{1}{2}$	$Y = 0 + 0 + 0 = 0$  $I_z = 0 - 0 = 0$	$Y = 1 + 0 + 0 = 1$  $I_z = +1 - (-1/2) = \frac{1}{2}$
Расчет по формулам (6), (7) $Y(Y_w) = \frac{1}{3} \sum_1^n g_k$ $I_z(T_z) = \frac{1}{6} \sum_1^n g_{iz}$	$Y_w = \frac{1}{3}(-3) = -1$  $T_z = \frac{1}{6}(-3) = -\frac{1}{2}$	$Y = \frac{1}{3}(-3+3) = 0$  $I_z = \frac{1}{6}(-3+3) = 0$	$Y = \frac{1}{3}(-3+6) = 1$  $I_z = \frac{1}{6}(-3+6) = \frac{1}{2}$

Как видно из таблицы результаты расчета по формулам (6) и (7) идентичны результатам выполненным по формулам Гелл-мана. В Таблице 2 приведен расчет для частиц первого поколения. Аналогичный расчет для частиц второго поколения отличается от вышеприведенного расчета и будет приведен ниже.

Далее мы рассмотрим закономерности протекания реакций взаимодействия частиц и следствия, вытекающие из этих закономерностей.

Основной такой закономерностью должно быть выполнение закона сохранения материи, который заключается в следующем: материя не должна возникать из ничего и не исчезать бесследно. В данном случае к материи мы относим фундаментальные частицы и элзы. Исходя из этого мы, можем сформулировать правила, которые должны выполняться в реакциях взаимодействия.

Но прежде чем сформулировать эти правила обратим внимание на следующее. В таблице 1 группа элзов  $g_{iz}$  отличается от группы  $g_x$   $g_y$   $g_z$  (в дальнейшем эту группу будем обозначать как  $g_k$ ). Отличие состоит в том, что как мы видели на примерах в (6), а также во всех реакциях, которые мы рассматриваем в этой статье, реакции происходят в результате обмена элзами из группы  $g_k$ . При этом группа элзов  $g_{iz}$  никогда не принимает участие в обмене элзами и остается неизменной в любой реакции. Это дает нам основание определить эти группы как частицы разного вида материи и, следовательно, сохраняться в реакциях они должны каждая в отдельности, что и отражено в нижеприведенных правилах выполнения реакций. Так как группа элзов  $g_{iz}$  остается неизменной во всех реакциях, в дальнейшем в элзовских развертках частиц мы будем обозначать ее в сокращенном виде как +3. для положительной группы и -3. для отрицательной группы.

Правила выполнения реакций взаимодействия:

1. количество кварков и количество лептонов должно сохраняться, т.е. их количество до реакции и после нее должно быть одинаковым;
2. количество элзов обеих полярностей должно сохраняться, это выражается в том, что количество положительных элзов и количество отрицательных элзов по отдельности должно быть одинаковым до и после реакции;
3. количество положительных групп  $g_{iz}$ , а также количество отрицательных групп  $g_{iz}$ , должно быть одинаковым до и после реакции;
4. количество положительных элзов группы  $g_k$ , а также количество отрицательных элзов этой группы должно быть одинаковым до и после реакции.

Рассмотрим реакцию  $\beta$  - распада:  $n \rightarrow p + e^- + \bar{\nu}_e$ . (8).

Вот как она описывается в технической литературе (2, p. 150): "Они должны рассматриваться как проявления реакций взаимодействия, включающих составные части нуклонов,- превращения кварка одного вида в кварк другого вида". И еще в (3 p. 62): "Подчеркнем, что при слабых взаимодействиях, как и при электромагнитных, реакции идут с рождением новых частиц, т.е. число частиц не сохраняется. Ни в коем случае нельзя считать, что  $e^-$  и  $\bar{\nu}_e$  "сидят" в нейтроне, что нейтрон есть связанная система из протона и нейтрона. Нейтрон так же элементарен, как и протон. Частицы действительно рождаются".

Проанализируем реакцию (8) на соответствие требованиям вышеперечисленных правил. В реакции (1) не выполняется ни одно из выше сформулированных правил. Для того чтобы это можно было наглядно видеть, представим реакцию (8) в кварковом виде:

$$\mathbf{d u d} \rightarrow \mathbf{u d u} + \mathbf{e}^- + \bar{\mathbf{v}}_e$$

Уже здесь видно, что количество фундаментальных фермионов в левой части три, а в правой пять, т.е. два из них появились из ничего. На Рис.1 представлены элловая развертка частиц на входе и выходе реакции.

Рис.1.

		<i>Iz</i>	<i>X</i>	<i>Y</i>	<i>Z</i>			<i>Iz</i>	<i>X</i>	<i>Y</i>	<i>Z</i>		
<i>n</i> {	<i>d<sub>X</sub></i>	-3	-	+	+			-3	-	-	-		<i>e<sup>-</sup></i>
	<i>d<sub>Y</sub></i>	-3	+	-	+			+3	-	+	+		<i>u<sub>X</sub></i>
	<i>u<sub>Z</sub></i>	+3	+	+	-			-3	+	-	+		<i>d<sub>Y</sub></i>
								+3	+	+	-		<i>u<sub>Z</sub></i>
								-3	+	+	+		<i>v̄<sub>e</sub></i>

Отсюда видно количество групп эллов  $g_{iz}$ : на входе реакции:  $n_{iz}^+ = 1$ ,  $n_{iz}^- = 2$ ; на выходе реакции:  $n_{iz}^+ = 2$ ,  $n_{iz}^- = 3$ .

Для того, чтобы, согласно вышеприведенному правилу 3, выровнять количество групп  $g_{iz}$ , необходимо на вход реакции добавить один нейтрино и один антинейтрино. Тогда на входе реакции станет  $n_{iz}^+ = 2$ ,  $n_{iz}^- = 3$ , т.е. таким же, как и на выходе. Далее можно убедиться, что после этого выполняются все четыре правила выполнения реакций, т.е. соблюдается закон сохранения материи. Как показывает анализ реакций, в большинстве случаев, также как и в предыдущем примере достаточно проследить равенство количества групп  $g_{iz}$ , чтобы выполнялись все четыре правила, однако после этого в ряде случаев необходимо проверить выполнение и остальных правил.

Таким образом, правильная запись реакции (8) будет такой:

$$\mathbf{v}_e + \bar{\mathbf{v}}_e + \mathbf{n} \rightarrow \mathbf{p} + \mathbf{e}^- + \bar{\mathbf{v}}_e \quad (9)$$

Элловская развертка этой реакции представлена на Рис.2. Рис. 2.

	$I_z$	$X$	$Y$	$Z$		$I_z$	$X$	$Y$	$Z$	
$\nu_e$	+3	-	-	-	$\times$	-3	-	-	-	$e^-$
$d_X$	-3	-	+	+	$\times$	+3	-	+	+	$u_X$
$d_Y$	-3	+	-	+	$\longrightarrow$	-3	+	-	+	$d_Y$
$u_Z$	+3	+	+	-	$\longrightarrow$	+3	+	+	-	$u_Z$
$\bar{\nu}_e$	-3	+	+	+	$\longrightarrow$	-3	+	+	+	$\bar{\nu}_e$
Сумма +	+6	+3	+3	+3		+6	+3	+3	+3	
Сумма -	-9	-2	-2	-2		-9	-2	-2	-2	

На рисунке прямоугольником обведены обменные элзы, т.е. два верхних отрицательных элза поменялись местами с двумя нижними положительными элзами. В результате нейтрино  $\nu_e$  преобразовался в  $u_X$ -кварк, а  $d_X$ -кварк в электрон  $e^-$ . Остальные частицы остались без изменения. Таким образом, правильная интерпретация этой реакции будет такой: реакция произошла в результате обмена элзами между нейтрино и  $d$ -кварком, при этом нейтрино преобразовался в  $u$ -кварк, а  $d$ -кварк в электрон. Таким образом, реакция происходит именно при обмене элзами, а не в результате рождения частиц из ничего. Из Рис.2 также следует, что реакция не произойдет, если на ее входе не будет дополнительного нейтрино, так как именно с его элзами был произведен обмен.

## 2. Состав фундаментальных фермионов второго поколения.

В технической литературе находим следующее утверждение о свойствах частиц второго поколения: «Частицы разных поколений отличаются только массой и ароматом; все фундаментальные взаимодействия и квантовые числа идентичны» (7). И это распространенное утверждение в технической литературе. На самом деле они отличаются еще и значением гиперзаряда  $Y$  и проекцией изоспина  $I_z$  и так как ранее мы связали  $Y$  и  $I_z$  с элзовым составом частиц, мы можем предположить, что различные значения  $Y$  и  $I_z$  связаны с различием состава частиц первого и второго поколения.

В таблице 3 представлены характеристики кварков первого и второго поколения (2, p. 105).

Таблица 3.

Тип (аромат)		Верхний (up)	Нижний (down)	Странный (strange)	Очарованный (charmed)
Символ		u	d	s	c
Спин	J	1/2	1/2	1/2	1/2
Заряд	Q	2/3	-1/3	-1/3	2/3
Изоспин	I	1/2	1/2	0	0
Проекция изоспина	$I_z$	1/2	-1/2	0	0
Странность	S	0	0	-1	0
Очарование	C	0	0	0	1
Барионное число	B	1/3	1/3	1/3	1/3

Для расчета разницы значений  $Y$  и  $I_z$  кварков 1-го и 2-го поколений возьмем два кварка -  $u$ -кварк и  $s$ -кварк. Значения их гиперзарядов  $Y_u$  и  $Y_s$  определим по формуле Гелл-мана (3):

$$Y = B + S + C$$

$$Y_u = 1/3 + 0 + 0 = +1/3$$

$$Y_s = 1/3 + 0 + 1 = +4/3$$

Из формулы (1) определим  $I_z = Q - Y/2$ :

$$I_{zu} = +2/3 - (1/3)/2 = +1/2$$

$$I_{zs} = +2/3 - (4/3)/2 = 0$$

Расчетные значения  $I_{zu}$  и  $I_{zs}$  соответствуют Таблице 3.

Определим разницу значений  $\Delta Y = Y_s - Y_u$  и  $\Delta I_z = I_{zs} - I_{zu}$

$$\Delta Y = +4/3 - 1/3 = 1$$

$$\Delta I_z = 0 - 1/2 = -1/2$$

Отсюда следует, что если к  $u$ -кварку добавить частицу с  $Y = 1$  и  $I_z = -1/2$ , мы получим  $s$ -кварк.

Для определения элзовой развертки частицы с данными параметрами воспользуемся формулами (6) и (7), из которых следует:

$$\sum_1^n g_{iz} = 6I_z$$

$$\sum_1^n (g_x + g_y + g_z) = 3Y$$

В нашем случае  $n = 1$ , следовательно

$$\sum g_{iz} = 6(-1/2) = -3$$

Это три отрицательных элза, мы записываем их как -3.

$$\sum (g_x + g_y + g_z) = 3 \cdot 1 = 3$$

Это три положительных элза. Таким образом, элзовая развертка частицы: -3. + + +.

Согласно Таблице 1 такую развертку имеет антинейтрино, а это значит, что  $s$ -кварк состоит из  $u$ -кварка и антинейтрино, его состав мы можем записать так:  $s = u \bar{\nu}$ .

Элзовая развертка  $s$ -кварка представлена на Рис.3. Рис.3.

$$c \begin{cases} u & +3. - + + \\ \bar{\nu} & -3. + + + \end{cases}$$

На основании этой развертки определим  $Y$  и  $I_z$   $s$ -кварка по формулам (6) и (7).

$$I_z = +3 - 3 = 0 \quad Y = 2(+3 - 1)/6 = 4/3$$

Эти значения соответствуют вышеприведенным расчетным значениям  $I_z$  и  $Y$   $s$ -кварка определенным по формулам Гелл-мана.

Аналогично можно определить состав и других кварков второго поколения, в результате получим следующее:  $c = u \bar{\nu}$ ,  $s = d \bar{\nu}$ ,  $\bar{c} = \bar{u} \nu$ ,  $\bar{s} = \bar{d} \nu$ .

Нам остается выяснить состав лептонов второго поколения. Однако если кварки первого и второго поколения отличаются значением странности, то у лептонов согласно справочным данным странность одинакова и равна 0. Правда, в технической литературе можно встретить следующую информацию: «Между прочим, отрицательному мюону иногда приписывают странность, равную -1, странность положительного мюона при этом равна +1» (11, р. 118). Конечно, это не есть твердое утверждение, на которое можно сослаться, поэтому мы по аналогии с кварками примем странность мюона равной -1 и по аналогичному расчету, приведенному выше, определим состав мюона как:  $\mu^- = e^- \nu$ , а  $\mu^+ = e^+ \bar{\nu}$ , при этом у обеих частиц  $I_z = 0$ , т.е. также, как и у кварков второго поколения.

В Таблице 4 приведены эльзовые развертки частиц с одним, двумя и тремя фермионами 2-го поколения, расчеты значений  $I_z$  и  $Y$ , выполненные по формулам Гелл-мана, а также по формулам (6) и (7).

Таблица 4

Частица	Мюон $\mu^-$	s-кварк	$K^0$ - мезон	$\Sigma^-$ - гиперон
Развертка по элзам	<p>для <math>s = 0</math></p> $e^- = -3 \text{ ---}$ <p>для <math>s = -1</math></p> $e^- = -3 \text{ ---}$ $\nu = +3 \text{ ---}$	$d - 3 \text{ ---}$ $\nu_e + 3 \text{ ---}$	$d - 3 \text{ ---}$ $\bar{d} + 3 \text{ ---}$ $\nu_e - 3 \text{ ---}$	$d - 3 \text{ ---}$ $d - 3 \text{ ---}$ $d - 3 \text{ ---}$ $\nu_e + 3 \text{ ---}$
<p>Расчет по формулам Гелл-мана</p> $Y_w = B - L$ $Y = B + S + C$ $T_z = Q - Y_w / 2$ $I_z = Q - Y / 2$	<p>для <math>s=0</math></p> $Y_w = 0 - 1 = -1$ <p>для <math>s = -1</math></p> $Y = 0 - 1 - 1 = -2$ <p>для <math>s=0</math></p> $T_z = -1 - 1/2 = -3/2$ <p>для <math>s = -1</math></p> $I_z = -1 - (-2/2) = 0$	$Y = 1/3 - 1 = -2/3$ $I_z = -\frac{1}{3} - (-\frac{2}{3}/2) = 0$	$Y = 0 + 1 + 0 = 1$ $I_z = 0 - 1 \cdot \frac{1}{2} = -\frac{1}{2}$	$Y = -1 + 1 + 0 = 0$ $I_z = -1 - 0 = -1$
<p>Расчет по формулам (6), (7)</p> $Y(Y_w) = \frac{1}{3} \sum_1^n g_k$ $I_z(T_z) = \frac{1}{6} \sum_1^n g_{iz}$	$Y(Y_w) = \frac{1}{3}(-3 - 3) = -2$ $I_z(T_z) = \frac{1}{6}(-3 + 3) = 0$	$Y = \frac{1}{3}(-4 + 2) = -2/3$ $I_z = \frac{1}{6}(-3 + 3) = 0$	$Y = \frac{1}{3}(-3 + 6) = 1$ $I_z = \frac{1}{6}(-6 + 3) = -\frac{1}{2}$	$Y = \frac{1}{3}(6 - 6) = 0$ $I_z = \frac{1}{6}(3 - 9) = -1$



За исключением  $\mu^-$  все результаты расчетов по формулам Гелл-мана и по формулам (6) и (7) совпадают. Однако, если для  $\mu^-$  принять значение  $s=-1$ , результаты расчетов также совпадают.

Несколько сложнее обстоит дело с мюонным нейтрино и мюонным антинейтрино. Конечно можно, также по аналогии, предположить их состав таким:  $\nu_\mu = \nu_e \bar{\nu}_e$ ,  $\bar{\nu}_\mu = \bar{\nu}_e \nu_e$ , т. к. при этом  $I_z = 0$ .

Однако, при анализе реакций взаимодействия, которые мы приводим ниже, вместе с таким составом не менее часто встречается и следующий состав:  $\nu_\mu = \nu_e \nu_e$ ,  $\bar{\nu}_\mu = \bar{\nu}_e \bar{\nu}_e$ .

Это похоже на пи-мезоны  $\pi^-, \pi^+, \pi^0$ , причем  $\pi^0$  может иметь два разных состава:  $\pi_1^0 = u\bar{u}$  и  $\pi_2^0 = d\bar{d}$ . Эту симметрию четырех двухкварковых пи-мезонов с четырьмя двулептонными мюонными нейтрино можно проследить по Таблице 5.

Таблица 5

Частица	$\pi^-$	$\bar{\nu}_\mu$	$\pi^+$	$\nu_\mu$	$\pi_1^0$	$\bar{\nu}_\mu$	$\pi_2^0$	$\nu_\mu$
Кварковый состав	$\bar{u}d$	$\bar{\nu}_e \bar{\nu}_e$	$u\bar{d}$	$\nu_e \nu_e$	$u\bar{u}$	$\bar{\nu}_e \nu_e$	$d\bar{d}$	$\nu_e \bar{\nu}_e$
Элзвая развертка	-3.-++	-3.+++	+3.-++	+3.---	+3.-++	-3.+++	-3.-++	+3.---
	-3.+--	-3.+++	+3.+--	+3.---	-3.+--	+3.---	+3.+--	-3.+++
$I_z$	-1	-1	+1	+1	0	0	0	0

Реакции с различным составом  $\nu_\mu$  приведены ниже.

### 3. Реакции взаимодействия с фундаментальными фермионами второго поколения.

Реакция распада  $\Xi^-$  - гиперона (2, р. 220):  $\Xi^- + \bar{\nu} \rightarrow \pi^- + \Lambda^0$  (10)

Кварковый состав частиц:  $\Xi^- = dss = dd\nu_e d\nu_e$ ,  $\Lambda^0 = uds = udd\nu_e$ ,  $\pi^- = \bar{u}d$ .

На Рис. 4 представлена элзвая схема реакции. Рис.4.

		$I_z$	$X$	$Y$	$Z$		$I_z$	$X$	$Y$	$Z$		
$\Pi$	$S_y$	$\bar{\nu}_e$	-3	+	+	+	→	-3	+	-	-	$\left. \begin{array}{l} \bar{u}_X \\ d_X \end{array} \right\} \pi^+$
		$d_X$	-3	-	+	+	→	-3	-	+	+	
	$S_z$	$\nu_e$	+3	-	-	-	→	+3	-	+	+	$\left. \begin{array}{l} u_X \\ d_Y \\ d_Z \\ \nu_e \end{array} \right\} \Lambda^0$
		$d_Y$	-3	+	-	+	→	-3	+	-	+	
		$d_Z$	-3	+	+	-	→	-3	+	+	-	
		$\nu_e$	+3	-	-	-	→	+3	-	-	-	

На входе реакции дополнительный антинейтрино, который необходим для соблюдения ранее перечисленных правил закона сохранения материи. Реакция произошла в результате обмена между нейтрино и антинейтрино двумя элзами по координатам  $uz$ . В дальнейшем мы будем называть фермионы, между которыми произошел обмен элзами обменными фермионами, а элзы, которыми обменялись фермионы обменными элзами. Мы рассматриваем эту реакцию первой в этом разделе, чтобы на данном примере показать, что обменные элзы находятся именно в группе  $g_x g_y g_z$ . Это стало возможным потому, что третьи - необменные элзы по координате  $x$  оказались с разными знаками – у нейтрино и + у антинейтрино.

В большинстве примеров, приведенных в (6), а также в данной статье необменные элзы одинакового знака, например, в реакции на Рис.1. При этом может создаться впечатление, что обмен произошел всеми тремя элзами или даже элзами группы  $g_{iz}$ . Но это ложное впечатление, что подтверждается данным примером, а также реакциями, приведенными ниже, например, на Рис. 8,9,10.

Как следует из Рис. 4 обмен элзами произошел именно с дополнительным антинейтрино. Таким образом, без этого дополнительного антинейтрино реакция вообще была бы невозможной.

Далее рассмотрим полулептонные распады (5):

Распад  $K^0$ - мезона:  $K^0 \rightarrow \pi^- + e^+ + \nu$

Кварковый состав частиц:  $K^0 = d\bar{s} = d\bar{d}\bar{\nu}$ ,  $\pi^- = d\bar{u}$

Исходя из ранее определенных правил выполнения реакций взаимодействия (в дальнейшем правила) на вход реакции надо добавить нейтрино и тогда реакцию запишем в следующем виде:

$$K^0 + \nu \rightarrow \pi^- + e^+ + \nu \quad (11)$$

Элзовая схема реакции представлена на Рис. 5. Рис. 5.

	$I_z$	$X$	$Y$	$Z$		$I_z$	$X$	$Y$	$Z$		
$K^0$	$d_X$	-3	-	+	+	→	-3	-	+	+	$\left. \begin{array}{l} d_X \\ \bar{u}_X \\ e^+ \\ \nu_e \end{array} \right\} \pi^-$
	$\bar{d}_X$	+3	+	-	-	↔	-3	+	-	-	
	$\bar{\nu}_e$	-3	+	+	+	↔	+3	+	+	+	
	$\nu_e$	+3	-	-	-	→	+3	-	-	-	

Реакция произошла в результате обмена элзами по позициям YZ. Как видно из рисунка, реакцию можно рассматривать как результат следующих элементарных превращений:  $\bar{d}\bar{\nu} \rightarrow \bar{u}e^+$ .

Распад  $\Sigma^-$ - гиперона:  $\Sigma^- \rightarrow n + e^- + \bar{\nu}_e$  Кварковый состав частиц:  $\Sigma^- = dsd = dd\bar{v}d$ ,  $n = dud$ .

В этой реакции аналогично, как и в предыдущей, на вход реакции надо добавить антинейтрино. Тогда реакция запишется так:

$$\Sigma^- + \bar{\nu}_e \rightarrow n + e^- + \bar{\nu}_e \quad (12)$$

Элзовая схема реакции представлена на Рис. 6. Рис.6.

	$I_z$	$X$	$Y$	$Z$		$I_z$	$X$	$Y$	$Z$		
$\Sigma^-$	$d_X$	-3	-	+	+	→	-3	-	+	+	$\left. \begin{array}{l} d_X \\ d_Y \\ u_Z \\ e^- \\ \bar{\nu}_e \end{array} \right\} n$
	$d_Y$	-3	+	-	+	→	-3	+	-	+	
	$d_Z$	-3	+	+	-	↔	+3	+	+	-	
	$\nu_e$	+3	-	-	-	↔	-3	-	-	-	
	$\bar{\nu}_e$	-3	+	+	+	→	-3	+	+	+	

Аналогично, как и в предыдущем случае, реакция произошла путем обмена двумя элзами по позициям XY. Реакцию можно рассматривать как результат следующих элементарных превращений:  $d\nu_e \rightarrow ue^-$ .

Распад  $K^+$ - мезона:  $K^+ \rightarrow \pi^+ + \pi^- + \pi^+$  (4). После добавления дополнительных нейтрино на входе, реакция будет выглядеть так:

$$K^+ + \nu + \bar{\nu} + \nu \rightarrow \pi^+ + \pi^- + \pi^+ \quad (13)$$

Кварковый состав частиц:  $K^+ = u\bar{s} = ud\bar{\nu}$ ,  $\pi^+ = u\bar{d}$ ,  $\pi^- = \bar{u}d$ .

Схема реакции в элзовой развертке представлена на Рис.7. Рис.7.

	$I_z$	$X$	$Y$	$Z$		$I_z$	$X$	$Y$	$Z$		
$K^+$	$u_X$	+3	-	+	+	→	+3	-	+	+	$\left. \begin{matrix} u_X \\ \bar{d}_X \end{matrix} \right\} \pi^+$
	$\bar{d}_X$	+3	+	-	-	→	+3	+	-	-	
	$\bar{\nu}_e$	-3	+	+	+	→	-3	-	-	+	$\left. \begin{matrix} \bar{u}_Z \\ d_Z \end{matrix} \right\} \pi^-$
	$\nu_e$	+3	-	-	-	↔	-3	+	+	-	
	$\bar{\nu}_e$	-3	+	+	+	↔	+3	+	+	-	$\left. \begin{matrix} u_Z \\ \bar{d}_Z \end{matrix} \right\} \pi^+$
	$\nu_e$	+3	-	-	-	→	+3	-	-	+	

В этой реакции есть несколько интересных моментов. Во-первых, реакция произошла в результате обмена двумя элзами по координатам XY между двумя фермионами, а также одним элзом по координате Z между двумя другими фермионами. Можно предположить, что эта реакция произошла в два этапа. Сначала произошел обмен двумя элзами XY, и в этом случае произошел распад  $K^+$ - мезона на  $\pi^+$  и  $\pi^0$ , вместе с дополнительным нейтрино реакция будет выглядеть так:

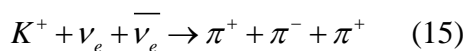


Элзовая схема этой реакции представлена на Рис.8. Рис.8.

	$I_z$	$X$	$Y$	$Z$		$I_z$	$X$	$Y$	$Z$		
$K^+$	$u_X$	+3	-	+	+	→	+3	-	+	+	$\left. \begin{matrix} u_X \\ \bar{d}_X \end{matrix} \right\} \pi^+$
	$\bar{d}_X$	+3	+	-	-	→	+3	+	-	-	
	$\bar{\nu}_e$	-3	+	+	+	→	-3	-	-	+	$\left. \begin{matrix} \bar{u}_Z \\ u_Z \end{matrix} \right\} \pi^0$
	$\nu_e$	+3	-	-	-	→	+3	+	+	-	

Реакция сводится к преобразованию:  $\nu_e \bar{\nu}_e \rightarrow u \bar{u}$ .

В след за этой реакцией произошла реакция:



Элзовая развертка этой реакции представлена на Рис.9. Рис.9.

	$I_z$	$X$	$Y$	$Z$		$I_z$	$X$	$Y$	$Z$		
$\pi^+$	$u_X$	+3	-	+	+	→	+3	-	+	+	$\left. \begin{matrix} u_X \\ \bar{d}_X \end{matrix} \right\} \pi^+$
	$\bar{d}_X$	+3	+	-	-	→	+3	+	-	-	
$\pi^0$	$\bar{u}_Z$	-3	-	-	+	→	-3	-	-	+	$\left. \begin{matrix} \bar{u}_Z \\ d_Z \end{matrix} \right\} \pi^0$
	$u_Z$	+3	+	+	-	↔	-3	+	+	-	
	$\bar{\nu}_e$	-3	+	+	+	↔	+3	+	+	-	$\left. \begin{matrix} u_Z \\ \bar{d}_Z \end{matrix} \right\} \pi^+$
	$\nu_e$	+3	-	-	-	→	+3	-	-	+	

Подчеркнем еще одну особенность этих реакций - все дополнительные нейтрино и антинейтрино на входе реакции после операций обмена элзами и соответствующих преобразований вошли в состав  $\pi^+$  и  $\pi^-$ .

Из Рис.8 следует, что реакция происходит при обмене только двумя элзами из группы элзов  $g_x g_y g_z$ , а не тремя, как это может показаться, например, в реакции Рис.б. Аналогично и в реакции на Рис.9, реакция может произойти при обмене только одним элзом из группы элзов  $g_x g_y g_z$ .

Это еще раз доказывает, что в процессе реакций группа элзов  $g_{iz}$  остается стабильно неизменной.

Далее с целью определения состава мюонного нейтрино  $\nu_\mu$ , рассмотрим несколько реакций с его участием.

Распад  $F^+$  - мезона:  $F^+ \rightarrow \mu^+ + \bar{\nu}_\mu$  (16) (1, p. 71).

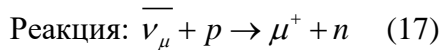
Кварковый состав частиц:  $F^+ = cs = u\bar{\nu}_e d\bar{\nu}_e$ ,  $\mu^+ = e^+ \bar{\nu}_e$ .

Элзовая схема реакции представлена на Рис.10. Рис. 10.

	$I_z$	$X$	$Y$	$Z$		$I_z$	$X$	$Y$	$Z$		
$F^+$	$\bar{\nu}_e$	-3	+	+	+	↔	+3	+	+	+	$\left. \begin{matrix} e^+ \\ \bar{\nu}_e \end{matrix} \right\} \mu^+$
	$u_X$	+3	-	+	+	↔	-3	+	+	+	
	$\bar{d}$	+3	+	-	-	→	+3	-	-	-	$\left. \begin{matrix} \nu_e \\ \bar{\nu}_e \end{matrix} \right\} \bar{\nu}_\mu$
	$\bar{\nu}_e$	-3	+	+	+	→	-3	+	+	+	

Реакция произошла в результате обмена элзами по координате X. Реакция сводится к преобразованию:  $u\bar{d} \rightarrow e^+ \bar{\nu}_e$ . В этой реакции состав нейтрино мюонного равен:  $\nu_\mu = \nu_e \bar{\nu}_e$ , что соответствует ранее принятому правилу определения состава частиц второго поколения.  $I_z$  такой частицы также, как и описанных ранее других частиц

второго поколения равен нулю. Однако, в реакциях представленных ниже состав нейтрино мюонного иной.

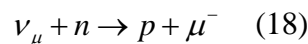


Элзовая схема реакции представлена на Рис.11. Рис. 11.

	$I_z$	$X$	$Y$	$Z$		$I_z$	$X$	$Y$	$Z$		
$\bar{\nu}_\mu$	$\bar{\nu}_e$	-3	+	+	+	→	-3	+	+	+	$\left. \begin{matrix} \bar{\nu}_e \\ e^+ \end{matrix} \right\} \mu^+$
	$\bar{\nu}_e$	-3	+	+	+	↔	+3	+	+	+	
$p$	$u_X$	+3	-	+	+	↔	-3	-	+	+	$\left. \begin{matrix} d_X \\ d_Y \\ u_Z \end{matrix} \right\} n$
	$d_Y$	-3	+	-	+	→	-3	+	-	+	
	$u_Z$	+3	+	+	-	→	+3	+	+	-	

Здесь в состав  $\bar{\nu}_\mu$  входят два  $\bar{\nu}_e$ .

Следующая реакция зарядово-сопряженная с предыдущей:



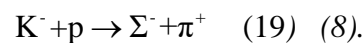
Элзовая схема реакции представлена на Рис.12

	$I_z$	$X$	$Y$	$Z$		$I_z$	$X$	$Y$	$Z$		
$\nu_\mu$	$\nu_e$	+3	-	-	-	→	+3	-	-	-	$\left. \begin{matrix} \nu_e \\ e^- \end{matrix} \right\} \mu^-$
	$\nu_e$	+3	-	-	-	↔	-3	-	-	-	
$n$	$d_X$	-3	-	+	+	↔	+3	-	+	+	$\left. \begin{matrix} u_X \\ u_Y \\ d_Z \end{matrix} \right\} p$
	$u_Y$	+3	+	-	+	→	+3	+	-	+	
	$d_Z$	-3	+	+	-	→	-3	+	+	-	

И здесь в состав  $\nu_\mu$  входят два  $\nu_e$ .

Конечно, то, что нейтрино мюонное может иметь разный состав, вызывает вопросы. В настоящее время мы не останавливаемся подробно на этом, не делаем каких-либо выводов, просто отмечаем этот интересный вопрос, возникший в результате анализа реакций, и к которому предполагаем вернуться позже.

### Реакции сильного взаимодействия.



Кварковый состав частиц:  $K^- = \bar{u}s = \bar{u}d\nu$ ,  $p = udu$ ,  $\Sigma^- = dds = ddd\nu$ ,  $\pi^+ = u\bar{d}$ .

Элзовая схема реакции представлена на Рис.13. Рис. 13.

Реакция произошла при обмене одним элзом по координате  $Y$  и сводится к преобразованию:  $u\bar{u} \rightarrow d\bar{d}$ .

Рис. 13.

	$I_z$	$X$	$Y$	$Z$		$I_z$	$X$	$Y$	$Z$		
$P$	$u_X$	+3	-	+	+	→	+3	-	+	+	$\left. \begin{array}{l} u_X \\ \bar{d}_X \end{array} \right\} \pi^+$
	$d_Y$	-3	+	-	+	↔	+3	+	-	-	
	$u_Z$	+3	+	+	-	↔	-3	+	-	+	$\left. \begin{array}{l} d_Y \\ d_X \\ d_Z \end{array} \right\} \Sigma^-$
$K^-$	$\bar{u}_X$	-3	+	-	-	↔	-3	-	+	+	
	$d_X$	-3	-	+	+	↔	-3	+	+	-	
	$v_e$	+3	-	-	-	→	+3	-	-	-	

Реакция сильного взаимодействия:  $\Sigma^- + p \rightarrow \Lambda^0 + n$  (20)

Кварковый состав частиц:  $\Sigma^- = dds = dddv$ ,  $p = udu$ ,  $\Lambda^0 = uds = uddv_e$ ,  $n = dud$ .  
Элзовая схема реакции представлена на Рис.14. Рис.14.

	$I_z$	$X$	$Y$	$Z$		$I_z$	$X$	$Y$	$Z$		
$\Sigma^-$	$v_e$	+3	-	-	-	→	+3	-	-	-	$\left. \begin{array}{l} v_e \\ d_X \\ d_Y \\ d_Z \end{array} \right\} \Lambda^0$
	$d_X$	-3	-	+	+	→	-3	-	+	+	
	$d_Y$	-3	+	-	+	→	-3	+	-	+	
	$d_Z$	-3	+	+	-	↔	+3	+	+	-	
$P$	$u_Z$	+3	+	+	-	↔	-3	+	+	-	$\left. \begin{array}{l} d_Z \\ u_X \\ d_Y \end{array} \right\} n$
	$u_X$	+3	-	+	+	→	+3	-	+	+	
	$d_Y$	-3	+	-	+	→	-3	+	-	+	

Реакция произошла без обмена элзами в результате перегруппировки кварков. Это стало возможным потому, что количество и аромат кварков на входе реакции полностью совпадает с количеством и ароматом кварков на выходе.

Реакция сильного взаимодействия:  $p + \pi^- \rightarrow \Lambda^0 + K^0$  (21)

Кварковый состав частиц:  $p = udu$ ,  $\pi^- = d\bar{u}$ ,  $\Lambda^0 = uds = uddv_e$ ,  $K^0 = d\bar{s} = d\bar{d}v$ .

Элзовая схема реакции представлена на Рис.15.

Реакция произошла при обмене одним элзом по координате Y и сводится к преобразованию:  $u\bar{u} \rightarrow d\bar{d}$ . Однако, эту реакцию (как и реакцию на Рис.13) можно представить как обмен всеми тремя элзами  $g_x g_y g_z$ , т.е глюонами между кварками  $u_x$  и  $\bar{u}_x$ , результат тот же.



Рис. 15.

	$I_z$	$X$	$Y$	$Z$		$I_z$	$X$	$Y$	$Z$	
$\nu_e$	+3	-	-	-	$\longrightarrow$	+3	-	-	-	$\left. \begin{array}{l} \nu_e \\ u_Z \\ d_Y \\ d_X \end{array} \right\} \Lambda^0$
$u_Z$	+3	+	+	-	$\longrightarrow$	+3	+	+	-	
$d_Y$	-3	+	-	+	$\longrightarrow$	-3	+	-	+	
$u_X$	+3	-	+	+	$\longrightarrow$	-3	-	+	+	
$\bar{u}_X$	-3	+	-	-	$\longrightarrow$	-3	+	+	-	$\left. \begin{array}{l} d_Z \\ \bar{d}_Z \end{array} \right\} K^0$
$d_X$	-3	-	+	+	$\longrightarrow$	+3	-	-	+	
$\bar{\nu}_e$	-3	+	+	+	$\longrightarrow$	-3	+	+	+	

#### 4. Систематизация обменных фермионов.

Как следует из анализа реакций взаимодействия частиц, все они сводятся к преобразованию двух фермионов в другую пару фермионов, т.е. два фермиона, обмениваясь элзами, превращаются в другие два фермиона.

Отсюда возникает желание выявить все возможные сочетания пар фермионов, как вступающих в реакции обмена элзами, так и результирующих пар, т.е. систематизировать эти процессы.

Вначале обратим внимание на следующие обстоятельства.

1. Как мы указывали ранее обменные элзы – это элзы группы  $g_k - g_x g_y g_z$ .

2. Обмен может производиться всеми тремя, двумя или одним разнополярированными элзами.

Из Таблицы 1 выпишем фермионы и их значения элзов группы  $g_k$  и сгруппируем их в

Таблицу 6.

Таблица 6.

Фермионы	Элзы $g_x g_y g_z$
$e^-, \nu$	- - -
$\bar{u}\bar{d}$	- - +
$du$	- + +
$\bar{\nu}e^+$	+ + +

**Примечание:** здесь и далее мы не делаем различие между кварками разного цвета, так, например, группа элзов  $g_x g_y g_z = --+$  равнозначна группе  $-+-$  и  $+--$ , т.к. в данном случае это не имеет значения.

Из Таблицы 7 имеем следующие комбинации элзов в группе  $g_k$ :

1. Две группы по три различных элза в каждой:  $(---)(+++), (--+)(++-)$ .

2. Две группы по два различных элза в каждой:  $(---)(++-), (--+)(+++)$ .



3. Две группы по одному различному элзу в каждой:  $(---)(--+) , (++)(+++)$ . Для наглядности расположим частицы с комбинацией элзов  $(---)(+++)$  в одну строку так, чтобы соседние частицы имели различные наборы элзов, получим:  $e^-(---)\bar{\nu}(+++)\nu(---)e^+(+++)$ .

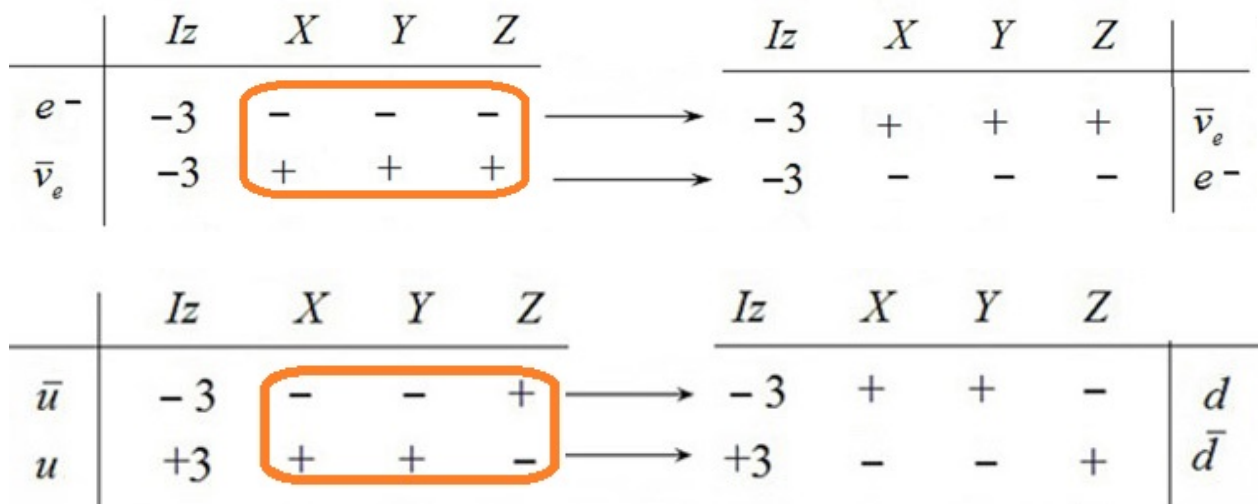
Объединяя попарно соседние частицы со сдвигом вправо, получим обменные пары:  $e^-\bar{\nu}, \bar{\nu}\nu, \nu e^+, e^+e^-$ .

Аналогично для группы элзов  $(--+)(++-)$ :

Строка частиц с различным набором элзов:  $\bar{u}(-++)d(++-)\bar{d}(-++)u(++-)$ , отсюда получим пары обменных фермионов:  $\bar{u}d, d\bar{d}, \bar{d}u, u\bar{u}$ .

На Рис.16 на примере обменных пар фермионов  $e^-\bar{\nu}$  и  $\bar{u}u$  приведена элзовая схема преобразования двух фермионов в другую пару фермионов в результате обмена всеми тремя элзами.

Рис. 16.



В Таблице 7 приведен результат вышеприведенного анализа для частиц с тремя разнополяризованными обменными элзами.

Таблица 7

Пары обменных частиц	$e^-\bar{\nu}$	$\bar{\nu}\nu$	$\nu e^+$	$e^-e^+$	$\bar{u}d$	$d\bar{d}$	$\bar{d}u$	$u\bar{u}$
Соответствующий бозон	$W^-$	$Z^0$	$W^+$	$Z^0$	$\pi^-$	$\pi^0$	$\pi^+$	$\pi^0$

Пары частиц после обмена элзами	$\bar{\nu}e^{-}$	$e^{+}e^{-}$	$e^{+}\nu$	$\bar{\nu}\nu$	$d\bar{u}$	$\bar{u}u$	$u\bar{d}$	$d\bar{d}$
---------------------------------	------------------	--------------	------------	----------------	------------	------------	------------	------------

Аналогичные операции сделаем с частицами, имеющими по два различных элза. Как отмечалось ранее, такие частицы объединены в две группы:  $(---)(++-)$  и  $(--+)(+++)$ .

Аналогично, как и ранее расположим частицы первой группы в одну строку:  $e^{-}(---)d(++-)\nu(---)u(++-)$ .

Отсюда определим обменные пары частиц:  $e^{-}d$ ,  $d\nu$ ,  $\nu u$ ,  $ue^{-}$ .

Для второй группы частиц строка частиц:  $\bar{u}(--+)\bar{\nu}(+++)\bar{d}(--+)e^{+}(+++)$ .  
Обменные пары частиц:  $\bar{u}\bar{\nu}$ ,  $\bar{\nu}\bar{d}$ ,  $\bar{d}e^{+}$ ,  $e^{+}\bar{u}$ .

На Рис.17 на примере пары обменных фермионов  $d\nu$  приведена элзовая схема преобразования их в другую пару фермионов после обмена двумя парами элзов.

Рис. 17.

	$I_z$	$X$	$Y$	$Z$		$I_z$	$X$	$Y$	$Z$	
$d$	-3	-	+	+	→	-3	-	-	-	$e^{-}$
$\nu_e$	+3	-	-	-	→	+3	-	+	+	$u$

В Таблице 8 приведен результат анализа для частиц с двумя разнополяризованными обменными элзами.

Таблица 8

Пары обменных частиц	$e^{-}d$	$d\nu$	$\nu u$	$ue^{-}$	$\bar{u}\bar{\nu}$	$\bar{\nu}\bar{d}$	$\bar{d}e^{+}$	$e^{+}\bar{u}$
Соответствующий бозон (9)	$X^{-}$	$Y^{-}$	$X^{+}$	$Y^{-}$	$X^{-}$	$Y^{+}$	$X^{+}$	$Y^{+}$

Пары частиц после обмена элзами	$de^-$	$e^-u$	$uv$	$vd$	$\bar{v}u$	$\bar{u}e^+$	$e^+d$	$\bar{d}v$
---------------------------------	--------	--------	------	------	------------	--------------	--------	------------

Третий вид обменных операций – обмен одним элзом. Частицы этого вида объединяются в две группы элзов:  $(---)(--+)$ ,  $(++-)(+++)$ .

Для группы  $(---)(--+)$  строка частиц с различным набором элзов будет такой:  
 $e^-(---)\bar{u}(--+)\bar{v}(---)\bar{d}(--+)$ .

Пары обменных элзов:  $e^-\bar{u}$ ,  $\bar{u}v$ ,  $v\bar{d}$ ,  $\bar{d}e^-$ .

Для группы  $(++-)(+++)$  строка частиц с различным набором элзов будет такой:  
 $d(++-)\bar{v}(+++)\bar{u}(++-)\bar{e}^+(+++)$ .

Пары обменных элзов:  $d\bar{v}$ ,  $\bar{v}u$ ,  $ue^+$ ,  $e^+d$ .

В Таблице 9 приведен результат анализа для частиц, обменивающихся одним элзом.

Таблица 9.

Пары обменных частиц	$e^-\bar{u}$	$\bar{u}v$	$v\bar{d}$	$\bar{d}e^-$	$d\bar{v}$	$\bar{v}u$	$ue^+$	$e^+d$
Пары частиц после обмена элзами	$\bar{u}e^-$	$e^-\bar{d}$	$\bar{d}v$	$v\bar{u}$	$\bar{v}d$	$de^+$	$e^+u$	$u\bar{v}$

Вернемся к реакции Рис.14, которая произошла якобы без обмена элзами. В Таблице 8 мы находим пару обменных частиц -  $Vu$ , которая после обмена элзами претерпевает изменения, заключающиеся в том, что  $V$  превращается в  $u$ , а  $u$  в  $V$ . В результате эта пара преобразовалась в саму себя, т.е. в результате якобы никаких изменений не произошло. На входе реакции Рис.8 как раз и находится именно эта пара частиц. Таким образом, эта реакция все же произошла в результате обмена элзами. Отсюда можно предположить следующую закономерность: любая реакция может произойти только в результате обмена элзами.

Отметим, что в группах частиц с тремя различными элзами возможны обмены не только всеми тремя элзами, но и двумя и одним элзом, а в группе с двумя различными элзами возможны также обмены одним элзом. Однако из-за большого объема мы оставляем этот вопрос на рассмотрение в будущем.

**References:**

1. Akhiezer AI, River MP. *Elementary particles*. Moscow, 1986.
2. Gottfried K, Weisskopf B. *Concepts of elementary particle physics*. Moscow, 1988.
3. Zel'dovich YaB, Blinnikov SI, Shakura NI. *Physical fundamentals of the structure and evolution of stars: section 5.4 Weak interaction*. Moscow, 1981. [Internet] Available from: [http://nuclphys.sinp.msu.ru/books/astro/zeldovich\\_blinnikov\\_shakura.htm](http://nuclphys.sinp.msu.ru/books/astro/zeldovich_blinnikov_shakura.htm)
4. Kaon. [Internet] Available from: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Каон>
5. Maltsev EI, Chuvilo IV. *The decays of hadrons with leptons*. Joint Institute for Nuclear Research. Dubna. [Internet] Available from: [http://www1.jinr.ru/Archive/Pepan/1970-v1/v-1-2/pdf\\_obzory\\_v1p2/v1p2\\_04.pdf](http://www1.jinr.ru/Archive/Pepan/1970-v1/v-1-2/pdf_obzory_v1p2/v1p2_04.pdf).
6. Novikov KN, Novikova EN. *Model of the Fundamental Fermions Structure (First Generation)*: *Eastern European Scientific Journal*, №4, 2016; 51- 66.
7. Generation (physics). [Internet] Available from: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Поколение\\_\(физика\)](https://ru.wikipedia.org/wiki/Поколение_(физика)).
8. Strong interaction. [Internet] Available from: <http://nuclphys.sinp.msu.ru/seminar/sem12.htm>.
9. List of bosons. [Internet] Available from: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Список\\_бозонов](https://ru.wikipedia.org/wiki/Список_бозонов).
10. The formula of Gell-Mann – Nishijima. [Internet] Available from: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Формула\\_Гелл-мана\\_-\\_Нусидзимы](https://ru.wikipedia.org/wiki/Формула_Гелл-мана_-_Нусидзимы)
11. Shchelkin KI. *Physics of microworld*. Moscow, 1965.