

ПОИСК ТЯЖЕЛОГО НЕЙТРИНО В ЭКСПЕРИМЕНТЕ CMS НА LHC

С. Н. Гниненко*, Г. Ю. Дробышев, М. М. Кирсанов*,
А. Е. Корнеев, Н. В. Красников*, В. А. Матвеев*

Лево-правая симметричная модель $SU_C(3) \otimes SU_L(2) \otimes SU_R(2) \otimes U(1)$ [1] объясняет причину нарушения четности при слабых взаимодействиях и предсказывает существование дополнительных калибровочных бозонов W_R и Z' . Также в этой модели естественным образом возникают тяжелые правосторонние майорановские состояния нейтрино (N_l), которые могут быть партнерами легких состояний нейтрино, объясняя, таким образом, ненулевую массу нейтрино посредством механизма «качели» (seesaw). Поэтому поиск калибровочных бозонов W_R, Z' и тяжелых нейтрино N_l представляется важным и интересным.

В рамках этой модели мы изучаем возможность регистрации распада W_R и N_l при протон-протонных взаимодействиях на ускорителе LHC. Показано, что сигнал можно выделить с малым уровнем фона. Для интегральной светимости LHC в $L = 30 \text{ фб}^{-1}$ и уровня достоверности 5σ возможно открытие W_R и N_l с массами до 4 и 2.4 ТэВ соответственно.

1. Лево-право симметричная модель

Среди нескольких расширений [2] Стандартной модели (СМ), которые могли бы быть проверены на LHC, лево-правая симметричная модель представляется одной из самых интересных. Эта модель включает в себя СМ и естественным образом объясняет нарушение четности при слабых взаимодействиях как результат спонтанного нарушения четности. Модель включает в себя дополнительные калибровочные бозоны W_R и Z' и тяжелые правосторонние майорановские состояния нейтрино N_l , которые могут быть партнерами легких состояний нейтрино ν_l ($l = e, \mu, \tau$), объясняя, таким образом, ненулевую массу нейтрино посредством механизма «качели» (seesaw) [3]. Модель представляется весьма интересной, поскольку результаты последних экспериментов [4] подтверждают существование осцилляций нейтрино, что является указанием на массивность нейтрино. Несмотря на то что упомянутые эксперименты весьма впечатляющи, они не объясняют ни природу возникновения массы (т. е. не делают различия между дираковскими и майорановскими нейтрино), ни ее значения. Единственный факт, позволяющий предпочесть одни модели по сравнению с другими – это то, что масса нейтрино значительно меньше массы заряженных лептонов и кварков. С другой стороны, поиск сигнала от N_l в диапазоне энергий LHC выглядит многообещающим, поскольку большое количество расширений лево-правой симметричной модели предсказывают массу тяжелого нейтрино в диапазоне от нескольких сотен ГэВ до нескольких ТэВ [2].

*Институт ядерных исследований, Москва.

2. Образование и распад тяжелого майорановского нейтрино

На LHC возможно изучение двух типов реакций с образованием N_l и W_R :

$$1) p + p \rightarrow W_R + X \rightarrow N_l + l + X ;$$

$$2) p + p \rightarrow Z' \rightarrow 2N_l + X ,$$

с последующим распадом $N_l \rightarrow l + j_1 + j_2$ [5, 6].

Соответствующие фейнмановские диаграммы показаны на рис. 1.

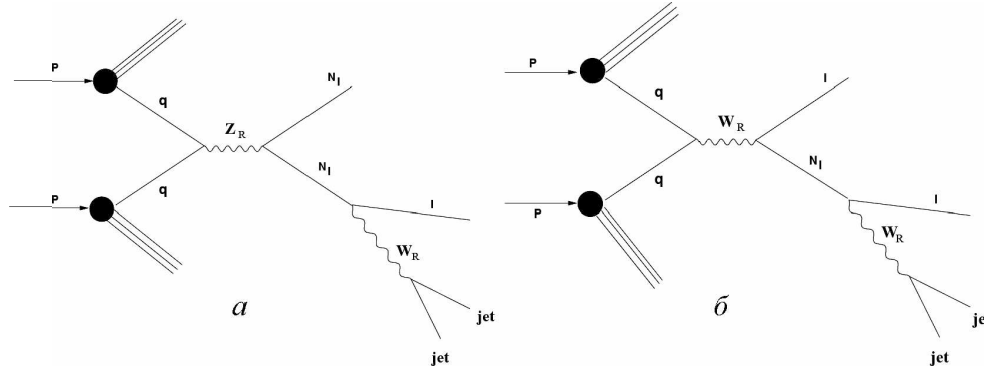


Рис. 1. Фейнмановские диаграммы образования тяжелого нейтрино через: *a* – Z' бозон; *б* – W_R бозон

Сечение реакций зависит от следующих параметров модели:

- значения константы связи g_R ;
- масс N_l и W_R ;
- параметров матрицы смешивания СМК для правостороннего сектора;
- силы смешивания $W_R - W_L$ and $Z' - Z$.

Для упрощения нашего исследования мы используем следующие общепринятые предположения:

- углы смешивания малы;
- правосторонняя СМК матрица равна левосторонней;
- $g_R = g_L$.

При этих условиях реакция через Z' имеет меньшее сечение и более сложный канал распада (signature), поэтому для нашего исследования мы ограничились реакцией, идущей с образованием и распадом W_R .

В качестве контрольной точки мы используем $M(N_l) = 500$ ГэВ и $M(W_R) = 2$ ТэВ.

3. Моделирование сигнала и фона

Моделирование событий проводилось с помощью пакетов PYTHIA [7] и ALPGEN [8] (вычисление сечений и генерация событий) и CMSSW (отклик детектора и реконструкция событий).

Для анализа выбираются события, соответствующие конечному состоянию при распаде через W_R , т. е. с двумя лептонами и минимум двумя адронными струями (при этом используется две с наибольшим поперечным импульсом). Затем на основании 4-импульсов пары струй и пары лептонов вычисляется инвариантная масса $M(W_R) = M(jjll)$. Интерес представляет пик в распределении $M(W_R)$.

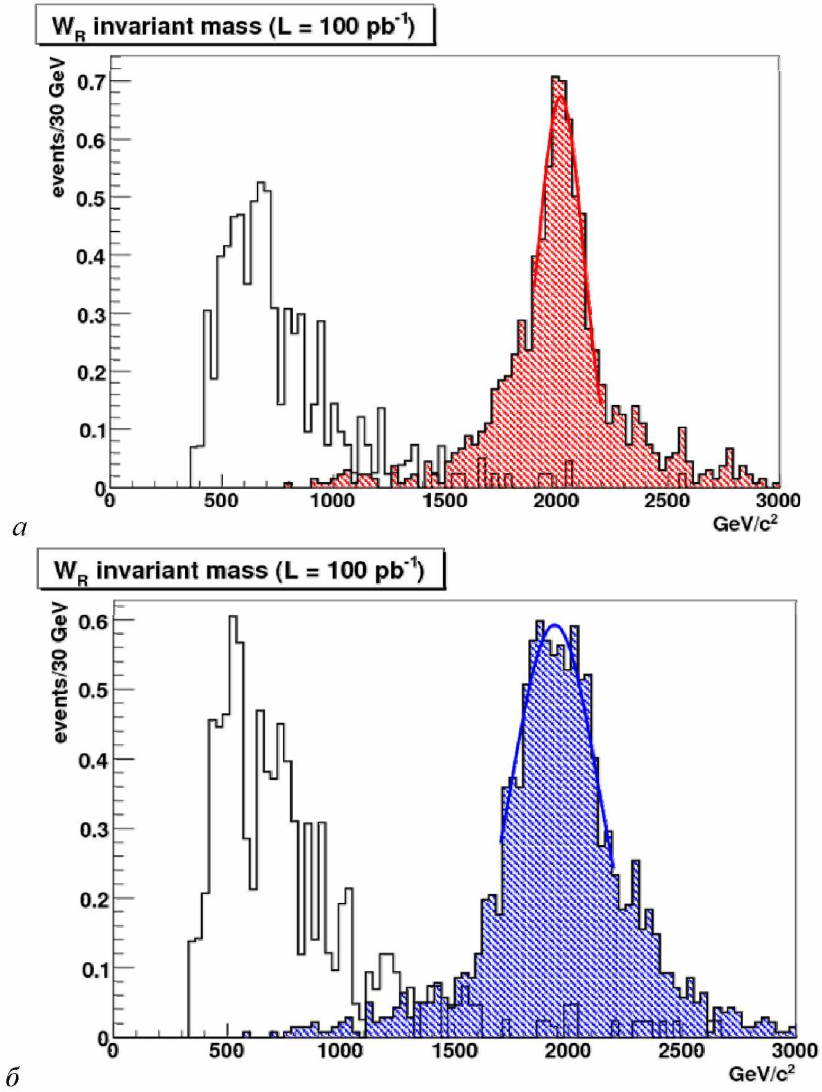


Рис. 2. Распределения восстановленной инвариантной массы W_R бозона для различных каналов распада: *a* – электронный канал, *б* – мюонный канал. Закрашенная область – сигнал; пустая – фон

Наиболее существенный вклад в фон вносят события образования $t\bar{t}$ и $Z + jet$. Сечения обеих реакций на несколько порядков превышают сечение сигнала. Поэтому для выделения сигнала из фона применяется дополнительная фильтрация событий. Наиболее эффективной себя показала фильтрация по порогу инвариантной массы пары лептонов $M(l\bar{l})$. На рис. 2 показаны распределения инвариантной массы $M(W_R)$ при отборе $M(l\bar{l}) > 200$ ГэВ. Видно, что пики от распадов калибровочного бозона W_R и тяжелого нейтрино N_1 отчетливо идентифицируются.

4. Заключение

Статистическая значимость открытия событий с N_e и W_R на детекторе CMS рассчитана с помощью следующего соотношения [9]:

$$S = 2 \cdot (\sqrt{N_S + N_B} - \sqrt{N_B}) \geq 5,$$

где N_S и N_B количество сигнальных и фоновых событий соответственно.

Соответствующая диаграмма, иллюстрирующая области исключенных значений масс N_e и W_R , представлена на рис. 3.

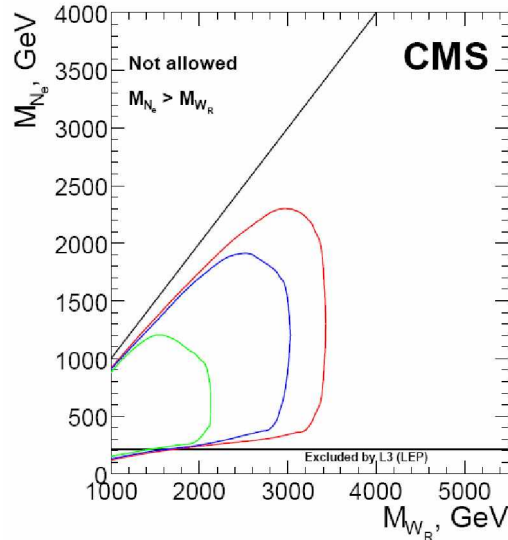


Рис. 3. Области исключенных значений масс W_R и N_l на детекторе CMS для различных значений интегральной светимости $L = 1, 10, 30 \text{ фб}^{-1}$ (соответственно 1 месяц, 1 год, 3 года работы LHC)

В статье мы представили результаты изучения возможности регистрации тяжелого правостороннего майорановского нейтрино N_l и тяжелого калибровочного бозона W_R на детекторе CMS. Для интегральной светимости в 30 фб^{-1} эти частицы могут наблюдаться с массами до 2.4 и 4 ТэВ соответственно. В нашей контрольной точке (массы 0.5 и 2 ТэВ соответственно) частицы могут быть обнаружены уже после 1 месяца работы LHC.

Литература

1. *Pati J. C., Salam A.* // Phys. Rev. D. 1974. Vol. 10. P. 275; *Mohapatra R. N., Pati J. C.* // Phys. Rev. D. 1975. Vol. 11. P. 366; *Senjanovic G., Mohapatra R. N.* // Phys. Rev. D. 1975. Vol. 12. P. 1502.
2. *Krasnikov N. V., Matveev V. A.* // arXiv: hep-ph/0309200.
3. *GellMann M., Ramon P., Slansky R.* // Super Gravity. 1979; *Yanagida T.* // Proc. Workshop on the Unified Theory and the Baryon Number in the Universe. 1979; *Mohapatra R. N., Senjanovic G.* // Phys. Rev. Lett. 1980. Vol. 44. P. 912.

4. *Giunti C., Laveder M.* // arXiv:hep-ph/0310238.
5. *Tso-hsiu H., Cheng-rui C., Zhijian T.* // Phys. Rev. D. 1990. Vol. 4. P. 2265.
6. *Data A., Guchait M., Roy D. P.* // Phys. Rev. D. 1993. Vol. 47. P. 961.
7. *Sjostrand T.* // Comput. Phys. Commun. 1994. Vol. 82. P. 74; *Sjostrand T.* // Computer Physics Commun. 1986. Vol. 39. P. 347; *Bengtsson H., Sjostrand T.* // Computer Physics Commun. 1987. Vol. 43. P. 367.
8. *Mangano M. L., Moretti M.* et al. // JHEP 2003. 0307:001.
9. *Bityukov S. I., Krasnikov N.V.* // CMS CR 2002/05, hep-ph/0204326; *Bityukov S. I., Krasnikov N.V.* // Mod. Phys. Lett. 1998. Vol. A13. P. 3235.

SEARCH FOR HEAVY NEUTRINO ON CMS EXPERIMENT AT LHC

**S. N. Gninenko*, G. Yu. Drobychev, M. M. Kirsanov*, A. E. Korneev,
N. V. Krasnikov*, V. A. Matveev***

The $SU_C(3) \otimes SU_L(2) \otimes SU_R(2) \otimes U(1)$ left-right (LR) symmetric model [1] explains the origin of the parity violation in weak interactions and predicts the existence of additional gauge bosons W_R and Z' . In addition, heavy right-handed Majorana neutrino states N_l arise naturally within LR symmetric model. The N_l could be partners of light neutrino states, related to their non-zero masses through the see-saw mechanism. This makes the searches of W_R , Z' and N_l interesting and important. In the framework of the LR model we study the possibility to observe signals from N_l and W_R production in pp collisions at LHC. We show that their decay signals can be identified with a small background. For the integral LHC luminosity of $L = 30 \text{ fb}^{-1}$, the 5σ discovery of W_R -boson and heavy Majorana neutrinos N_l with masses up to 4 TeV and 2.4 TeV respectively is found possible.

* Institute for Nuclear Research, Moscow.