

Поиск нейтринного сигнала от быстрых радио-всплесков в детекторе Борексино

Жутиков И.Н.

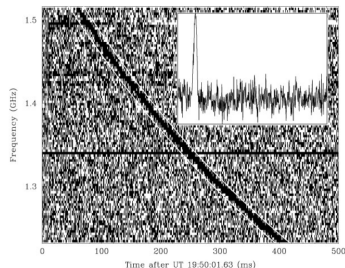
Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

27 декабря 2020 г.

Введение

Цель работы: Поиск МэВ нейтрино от быстрых радио-всплесков (FRB).

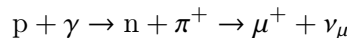
FRB высокоэнергетическое космическое событие, выделяется энергия порядка 10^{37} эрг, которое сопровождается коротким радио-всплеском в районе 1400 МГц. По современным оценкам в день должно происходить до 10^4 таких событий.



Механизм образования FRB

Сейчас наиболее правдоподобной версией формирования FRB является синхротронное мазерное излучение возникающее на фронте релятивистской ударной волны, вызванной переходными выбросами из магнетара (эта версия подтверждена наблюдением гамма и радио всплесков от магнетара SGR 1935+2154).

Одним из важных следствий такой модели должно быть образование нейтрино через взаимодействие релятивистских протонов с синхротронными фотонами.



Отбор данных

Будем искать события взаимодействия электронных антинейтрино по обратному бета-распаду: $\bar{\nu}_e + p \rightarrow e^+ + n$, и нейтрино всех сортов по рассеянию на электронах.

В этой работе использовались следующие данные:

- Данные за период с 2009 по 2019 год доступные на сайте каталога FRB¹
- Данные за тот же период полученные FADC системой Борексино (мюонные события были исключены)

Суммарное время всех использованных данных составляет 2007.85 дней.

¹<http://www.frbcatalog.org>

Отбор данных и выбор временного окна

Из всех FRB рассматривались только всплески с флюенсом более $91.5 \text{ Ян} \cdot \text{мс}$, количество которых оценивается 8 ± 2.3 в день, что позволяет выбрать временное окно для сигнала $\pm 170 \text{ с}$ и для фона $[-340; -170] \cup [170; 340] \text{ с}$ в которые с 90% вероятностью не попадают другие вспышки таких флюенсов. Всего из 192 было отобрано всего 4 всплеска

FRB	F, Ян · мс	z
FRB171020	200	0.06
FRB180430	177	0.08
FRB171213	133	0.1
FRB180212	96	0.11

Обратный бета-распад (IBD)

Для отбора антинейтринных событий использовались следующие критерии:

- Энергия мгновенного события должна быть больше 0.8 МэВ
- Энергия задержанного события должна быть в диапазоне $[1.4; 5.5]$ МэВ
- Время задержки должно быть в диапазоне $[20, 1280]$ мкс
- Не должно быть событий с энергией больше 1 МэВ в течении 2 мс до или после мгновенного или задержанного событий

Так же все отобранные события были сверены со списком антинейтринных событий из [M. Agostini et al., 2020]

Расчёт предела на флюенс по IBD

Расчет верхнего предела на флюенс был проведен по следующим этапам :

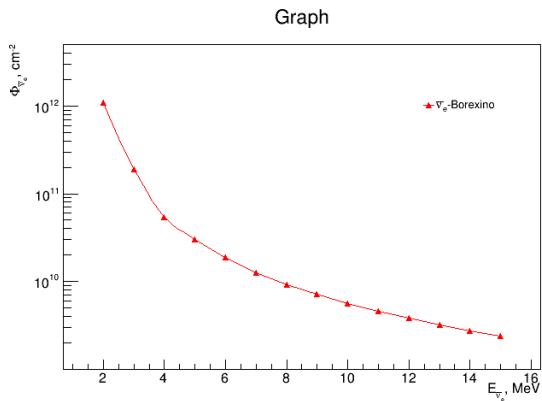
1) Предел на количество событий ассоциируемых с со всеми FRB μ_{90} был рассчитан следуя процедуре Фельдмана-Казинса, после чего получен предел на количество событий от одного FRB как $N_{90} = \mu_{90}/N_{\text{FRB}}$

2) После чего предел на флюенс рассчитан как

$$\Phi_{\bar{\nu}_e} = \frac{N_{90}^{\text{IBD}}(E_{\bar{\nu}_e})}{N_p \langle \varepsilon \rangle \sigma(E_{\bar{\nu}_e})}$$

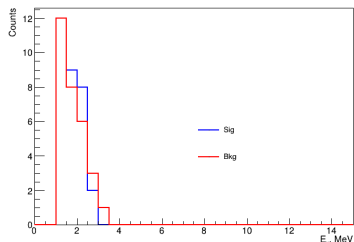
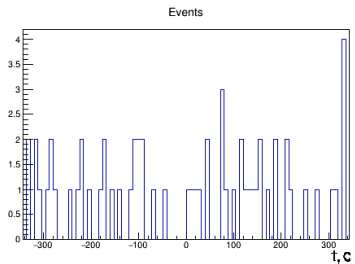
Ограничение на флюенс

В результате получена зависимость ограничения на флюенс от энергии нейтрино:



Рассеяние нейтрино на электронах

Для нахождения предела на флюенс через рассеяние на электронах искались одиночные события с энергией больше 1 МэВ. В итоге получены следующие гистограммы показывающие распределение событий (слева) и энергетический спектр (справа).



Расчёт предела на флюенс через $\nu - e$ рассеяние

Расчет верхнего предела на флюенс через рассеяние на электронах был проведен аналогично обратному бета-распаду

1) Предел на количество событий ассоциируемых с со всеми FRB μ_{90} был рассчитан следуя процедуре Фельдмана-Казинса, после чего получен предел на количество событий от одного FRB как $N_{90} = \mu_{90}/N_{\text{FRB}}$

2) Полное эффективное сечение рассчитано как

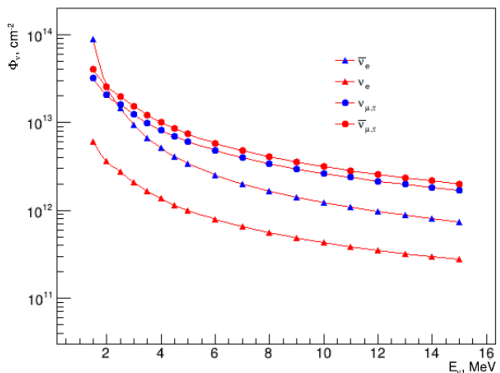
$$\sigma_{\text{eff}} = \int_{T_{\text{th}}}^{T_{\nu}^{\text{up}}} \int_{T^-}^{T^+} \frac{d\sigma(E_{\nu}, T')}{dT'} G(T', \sigma_T(T'); T) dT' dT$$

3) И наконец получен предел на флюенс нейтрино как

$$\Phi_{\nu}(E_{\nu}) = \frac{N_{90}(E_{\nu})}{N_e \sigma_{\text{eff}}(E_{\nu})}$$

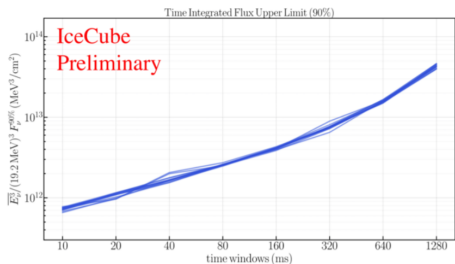
Верхний предел на флюенс нейтрино

В результате получена зависимость ограничения на флюенс от энергии нейтрино:



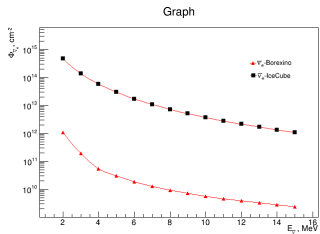
Другой предел на флюенс

Есть еще один предел на флюенс электронного антинейтрино полученный IceCube. Их предел был получен из предположения, что нейтринный спектр от FRB схож со спектром от взрыва сверхновой. Их наиболее сильный предел может быть выражен как $\Phi_\nu(\langle E_\nu \rangle) = 19.2^3 / \langle E_\nu^3 \rangle \cdot 8 \cdot 10^{11} \text{ см}^{-2}$.



Сравнение результатов

Такое предположение о форме спектра позволяет нам преобразовать их предел для средней энергии $\langle E_\nu \rangle$ в предел для обычной энергии $E_\nu = 5/4\langle E_\nu \rangle$ используя формулу $\Phi(E_\nu) \approx 0.626\Phi(\langle E_\nu \rangle = 4/5E_\nu)$



Таким образом ограничения, полученные при помощи Бorexино, в среднем, на 3 порядка более строгие, чем ограничения IceCube.

Заключение

Подведем итоги, в данной работе были получены:

- Более строгий предел на флюенс электронного антинейтрино через обратный бета распад в диапазоне от 2 до 15 МэВ
- Первые пределы на флюенс всех ароматов нейтрино и антинейтрино через рассеяние на электронах в диапазоне от 1.5 до 15 МэВ