
КУРСОВАЯ РАБОТА

НЕЙТРИННЫЕ
ВСПЫШКИ
РАДИОБЛАЗАРОВ

Выполнила студентка 213 группы

Сурай Алиса Игоревна

Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова
Физический факультет

МОСКВА
2023

Цель работы:

- Проверить, не происходит ли такое, что высокоэнергичные нейтринные события, совпадающие с блазарами, чаще сопровождаются нейтрино более низкой энергии, а не совпадающие - нет. Если такой эффект обнаружится, оценить его статистическую значимость, то есть вероятность того, что он является случайным.

Основные задачи:

- Написать программу для счёта средней плотности потока через 90%-ую область неопределенности направления прихода нейтрино.
- На основе статистической обработки данных оценить вероятность случайного совпадения прихода низкоэнергетического нейтрино в направлении высокоэнергетического.

Данные

Радиоблазары:

- 8-12 ГГц (X-диапазон)
- $\geq 0,15$ Ян

http://astrogeo.org/sol/rfc/rfc_2022b/

Выборка содержит 3411
радиоблазаров из $\approx 21,9$ млн

Нейтринные события:

- Временной диапазон: 2 дня
- p-value – вероятность того, что зарегистрированное дополнительное нейтрино является атмосферным

https://gcn.gsfc.nasa.gov/gcn3_archive.html
[2210.04930](#)

Выборка содержит 60 событий

Статистический анализ

$$M = \sum_i [v_i \geq v_{real}]$$
$$N = \sum_i [v_i \leq v_{real}]$$
$$p = \frac{M + 1}{M + N + 1}$$

v_{real} - тестовая статистика для исходного набора данных

v_i - тестовая статистика для случайного набора данных.

p - вероятность случайного совпадения направления прихода высокоэнергичного нейтрино и нейтрино более низких энергий

Ошибки определения направления прихода нейтрино

Статистические:

$RA(+error\ RA1, -error\ RA2); Dec(+error\ Dec1, -error\ Dec2)$

$$\frac{\sqrt{-\log(1-0.9)}}{erf^{-1}(0.9)} \approx 1.30$$

Систематические: $\alpha \approx 0,45^\circ$

https://gcn.gsfc.nasa.gov/gcn3_archive.html

[2211.09631](#)

Коэффициент ранговой корреляции Спирмена

$$\rho = \frac{\frac{n^3-n}{6} - T_x - T_y - \sum_{i=1}^n d_i^2}{\sqrt{\left(\frac{n^3-n}{6} - 2T_x\right)\left(\frac{n^3-n}{6} - 2T_y\right)}}$$

где n - количество элементов в ранжируемом списке,

d_i - разность между рангами,

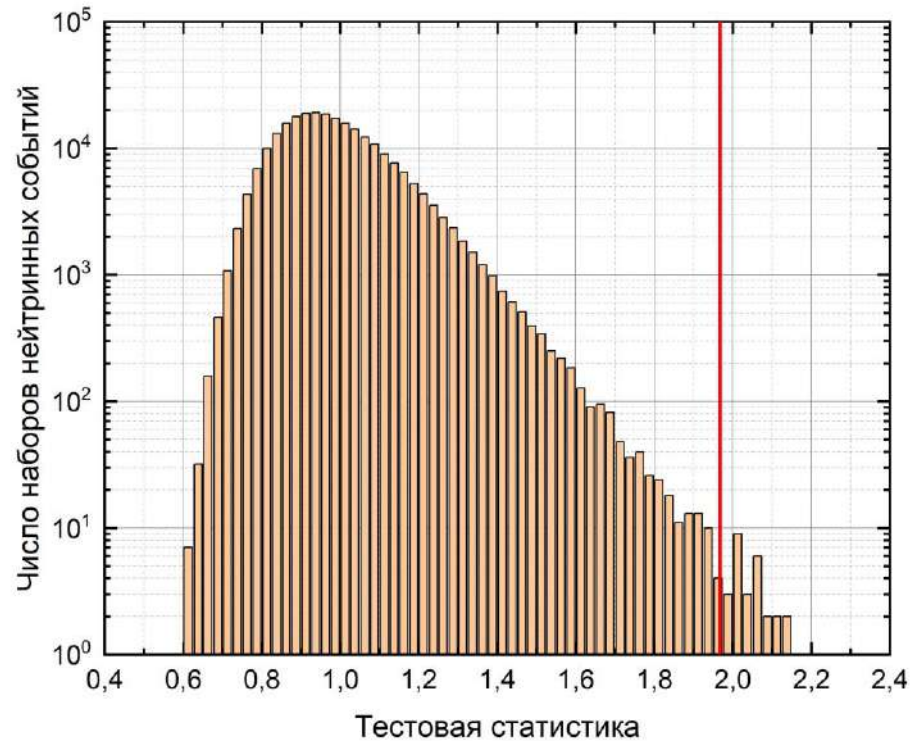
T_x и T_y - поправка на одинаковые ранги

$$T_x = \frac{1}{12} \sum (p_x^3 - p_x); \quad T_y = \frac{1}{12} \sum (p_y^3 - p_y),$$

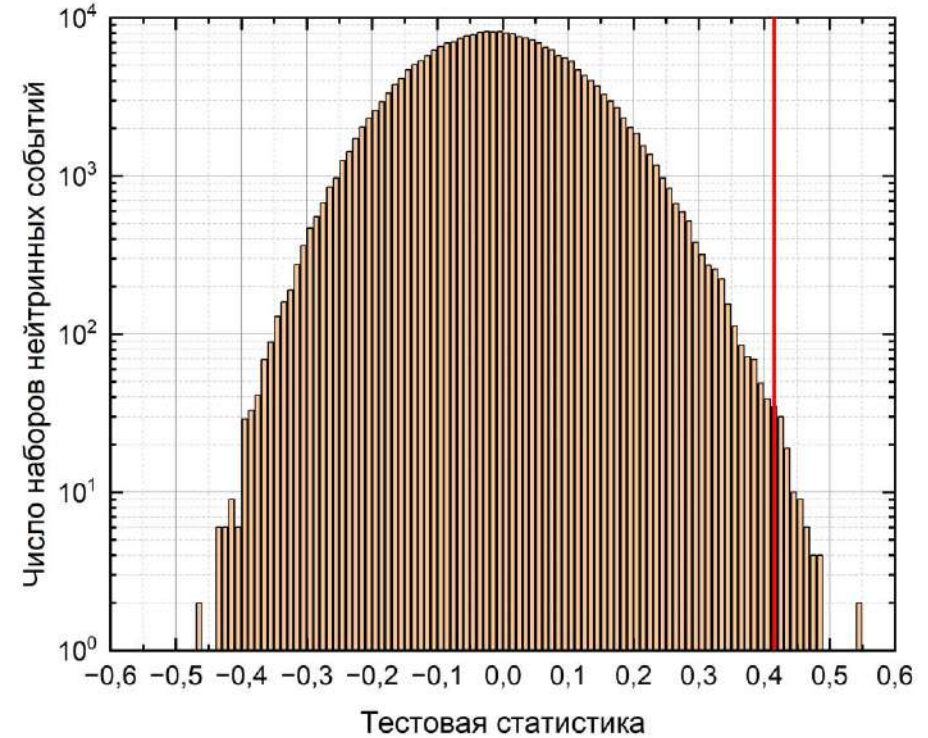
где p_x - объем каждой группы одинаковых рангов в выборке x

p_y - объем каждой группы одинаковых рангов в выборке y

Распределение случайных наборов нейтринных событий по тестовой статистике



TS – отношение средних плотностей потоков;
 $v_{\text{real}} = 1,96828$ (красная линия);
 $p = 0.013\%$



TS – коэффициент ранговой корреляции Спирмена;
 $v_{\text{real}} = 0,41452$ (красная линия);
 $p = 0.036\%$

Научные результаты

- Имеются серьезные статистические указания на то, что каждый блазар может производить как нейтрино энергии ≥ 200 ТэВ, так и нейтрино более низких энергий.
- Полученные результаты необходимо проверять в будущих экспериментах. Перспективы более глубокого понимания процессов рождения наблюдаемых нейтрино в ядрах активных галактик связаны в первую очередь с работой нейтринных телескопов IceCube, Baikal-GVD и строящегося KM3NeT.

Что было сделано:

- Написана программа для счёта средней плотности потока через 90%-ую область неопределенности направления прихода нейтрино.
- На основе статистической обработки данных оценена вероятность случайного совпадения прихода низкоэнергетического нейтрино в направлении высокоэнергетического.