



«Бегущие» космические источники гамма-излучения

Васильева Е.В.

Б22-102

Научный руководитель: Кириллов А.А.

Москва, 2025



Цель:

Оценка эффекта смещения неидентифицированных гамма-источников (ГИ) на основе данных каталогов FERMI-LAT 1FGL (11 мес.) и 4FGL (14 лет) .

Задачи:

- Оценка максимального возможного расстояния до источника, чтобы было возможно зарегистрировать эффект смещения.
- Вывод функции распределения.
- Отбор кандидатов в смещение по спектральному индексу, координатам и выходу из 95% эллипса.

Основные каталоги, опубликованные коллаборацией FERMI-LAT

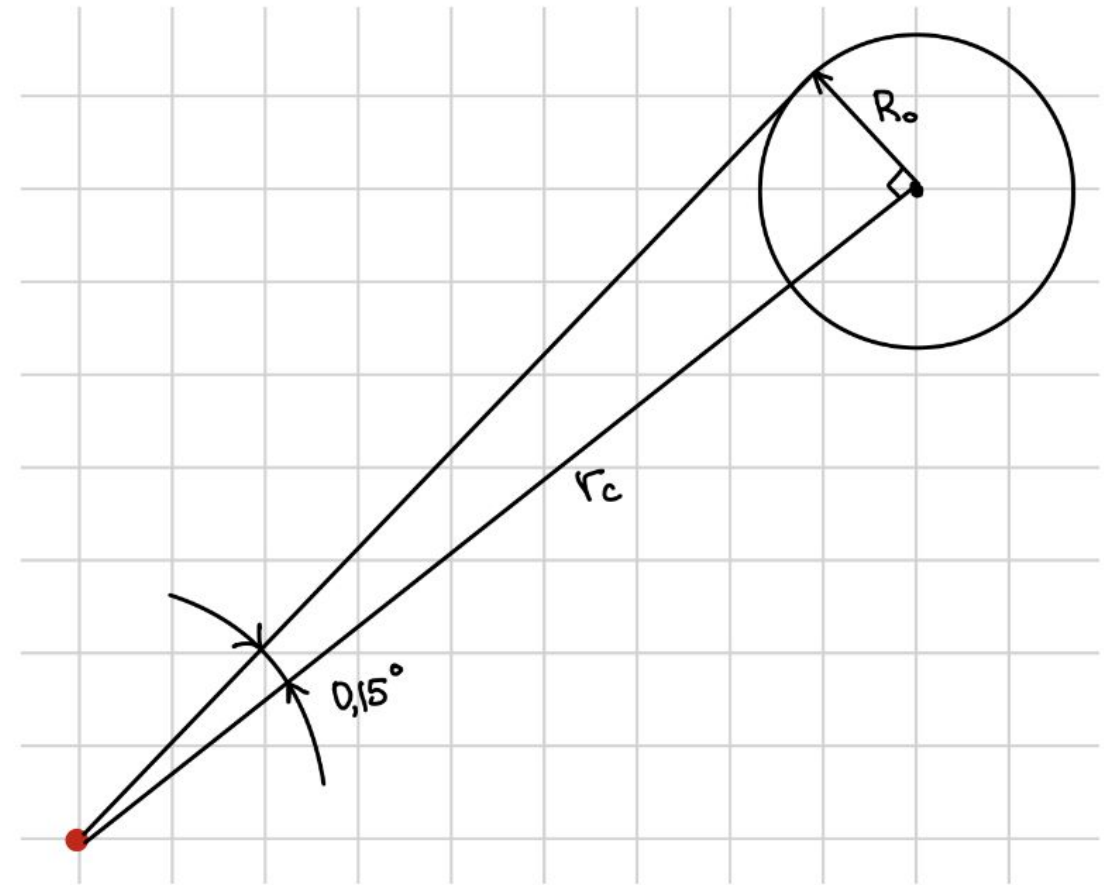
Название каталога	Время наблюдения	Количество источников	Из них неидентифицированы	В процентном соотношении
0FGL	3 месяца	205	38	19%
1FGL	11 месяцев	1451	630	43%
2FGL	2 года	1873	576	31%
3FGL	4 года	3033	1010	33%
4FGL	8 лет	5064	1336	26%
4FGL-DR2	10 лет	5788	1658	29%
4FGL-DR3	12 лет	6658	2155	32%
4FGL-DR4	14 лет	7194	2577	36%

Расчет расстояния до источника

$$R_0 = v_0 \Delta t = 250 \text{ км/с} * 14 \text{ лет} \approx 0.0036 \text{ пк}$$

Угловое разрешение телескопа
FERMI-LAT составляет $\delta < 0.15^\circ$ (при
энергиях > 10 ГэВ).

$$\text{tg}(0.15^\circ) \approx \frac{0.15\pi}{180} = \frac{R_0}{r_c} \Rightarrow r_c = \frac{180R_0}{0.15\pi} \approx 1.4 \text{ пк}$$



Концентрация сгустков ТМ:

$$n_5 = \frac{\xi \rho_{loc}}{M} \sim 1.6 \frac{10^{-5} M_{\odot}}{M} \text{ пк}^{-3},$$

Численная оценка количества потенциально наблюдаемых сгустков:

$$N_5 = n_5 \frac{4}{3} \pi r_c^3 = 1.6 \frac{10^{-5} M_{\odot}}{M} \frac{4}{3} \pi r_c^3 \approx 19 \frac{10^{-5} M_{\odot}}{M}.$$

Функция распределения смещенных источников

Плотность вероятности обнаружения источника в диапазоне координат от (b_2, l_2) до $(b_2 + db_2, l_2 + dl_2)$:

$$P(b_2, l_2) = \frac{df(b_2, l_2)}{db_2 dl_2} = \frac{R_0 \cos b_2}{r_c (\sqrt{\pi})^3} \int_0^{r_c/R_0} d\rho_1 \int_0^{r_c/R_0} d\rho_2 \times \\ \times \exp \left[-\frac{1}{R_0^2} \left((-r_2 \cos b_2 \sin l_2 + r_1 \cos b_1 \sin l_1 - 1)^2 + \right. \right. \\ \left. \left. + (r_2 \cos b_2 \cos l_2 - r_1 \cos b_1 \cos l_1)^2 + (r_2 \sin b_2 - r_1 \sin b_1)^2 \right) \right]$$

Вероятность найти источник в конкретной области пространства может быть получена в результате интегрирования плотности вероятности по b_2 и l_2

Критерии отбора:

- Источники вне плоскости Галактики $|b| > 15^\circ$.
- Спектральный индекс γ .
- Выход из 95 % эллипса ошибок и максимальное расстояние между источниками d .

$$\left(\frac{(l_s - l_e) \cos(b_e) \cos(\theta) + (b_s - b_e) \sin(\theta)}{a} \right)^2 + \left(\frac{-(l_s - l_e) \cos(b_e) \sin(\theta) + (b_s - b_e) \cos(\theta)}{b} \right)^2 > 1$$

$$|\gamma_i - \gamma_{\text{cat}}| < \delta\gamma,$$

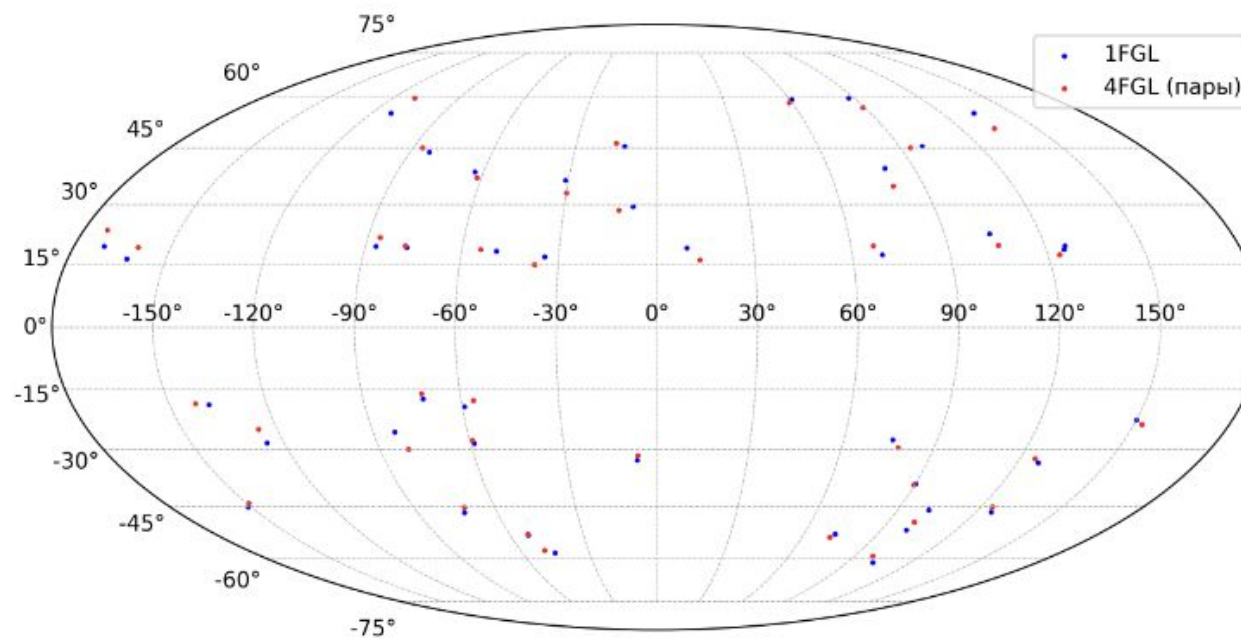
$$d = (l_{4\text{FGL}} - l_{1\text{FGL}})^2 + (b_{4\text{FGL}} - b_{1\text{FGL}})^2$$

Отбор источников — кандидатов в смещение

Критерии отбора:

- Максимальное расстояние между источниками равно $d = 5^\circ$.
- Спектральный индекс $\gamma = 2$.

42 пары ГИ

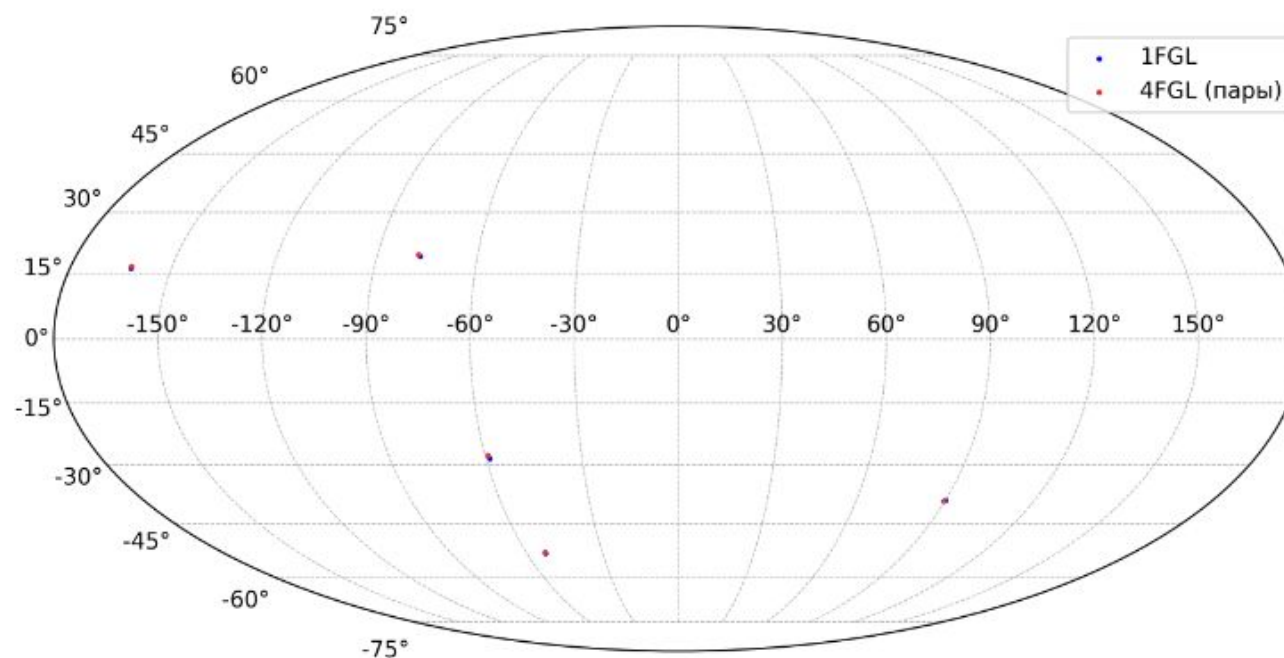


Отбор источников — кандидатов в смещение

Критерии отбора:

- Максимальное расстояние между источниками равно $d = 1^\circ$.
- Спектральный индекс $\gamma = 2$.

5 пар ГИ

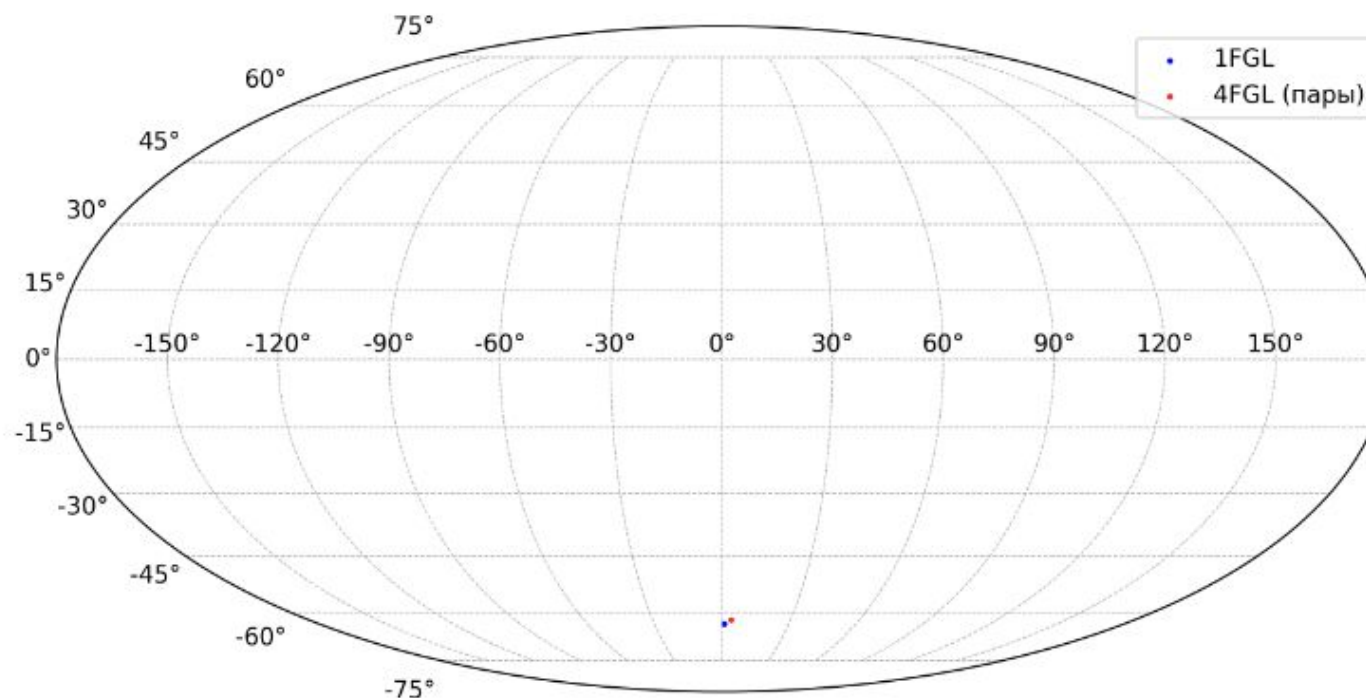


Отбор источников — кандидатов в смещение

Критерии отбора:

- Максимальное расстояние между источниками равно $d = 5^\circ$.
- Спектральный индекс $\gamma = 1.5$.

1 пара ГИ

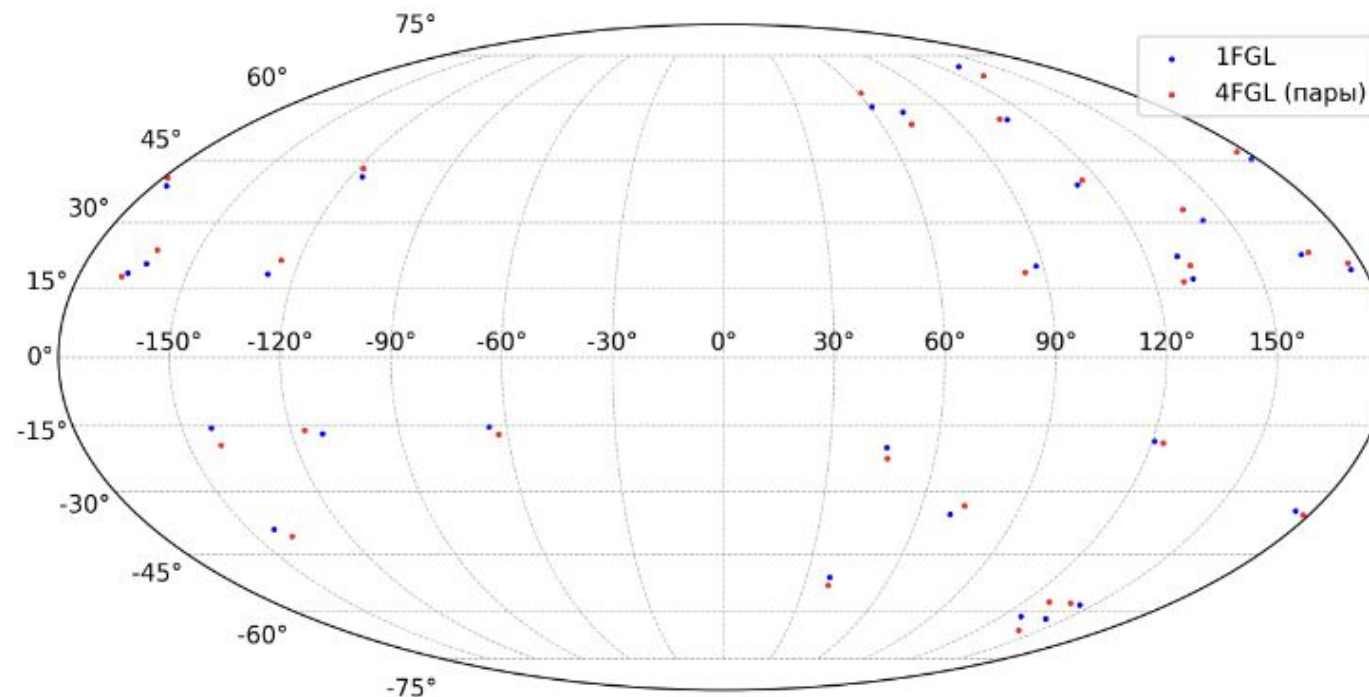


Отбор источников — кандидатов в смещение

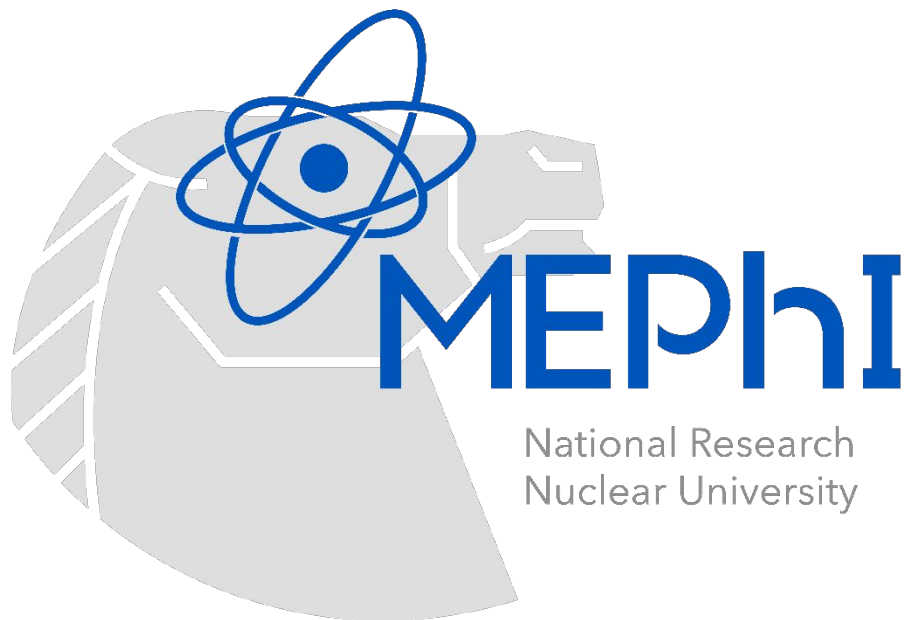
Критерии отбора:

- Максимальное расстояние между источниками равно $d = 5^\circ$.
- Спектральный индекс $\gamma = 2.5$.

29 пар GI



- Было рассчитано максимальное расстояние до неидентифицированного гамма-источника.
- Исходя из предположения о природе ГИ, как о сгустках темной материи, было рассчитано их возможное количество
- Аналитически получена функция плотности вероятности распределения гамма-источников
- Для дальнейшего статистического анализа были отобраны пары кандидатов в смещение с различными параметрами отбора (спектральным индексом и максимальным расстоянием между ГИ)



**Спасибо за
внимание!**

Москва, 2025