

Смещение космических
неидентифицированных гамма-
источников как наблюдательное
проявление сгустков скрытой массы

Студентка: Верзакова В.В., М21-115

Научный руководитель: Кириллов А.А.

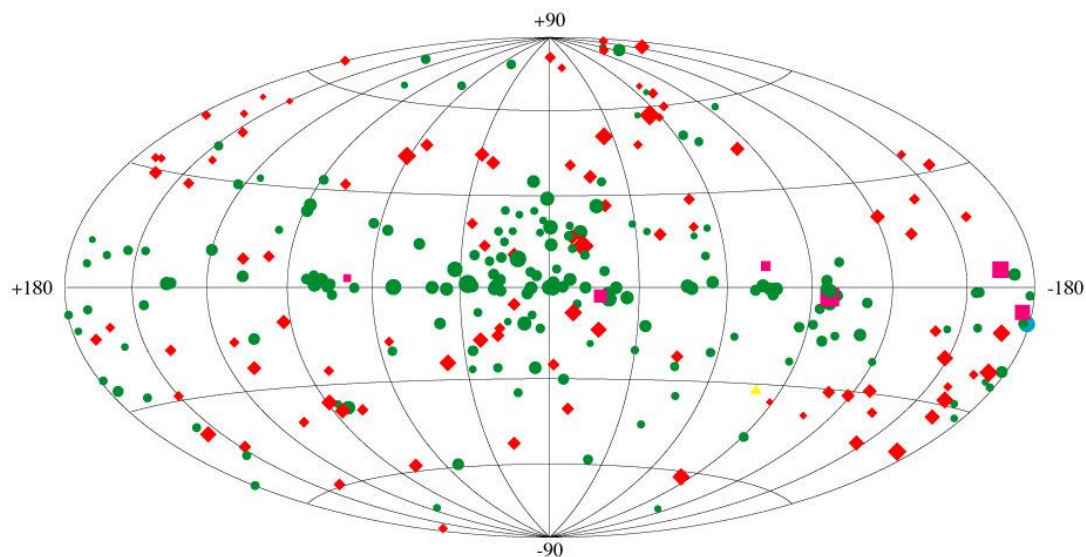
Цель работы:

Оценка эффекта смещения
мелкомасштабных астрофизических
объектов (сгустков скрытой массы),
доступного наблюдательной проверке
современными и будущими гамма-
обсерваториями

Неидентифицированные гамма-источники

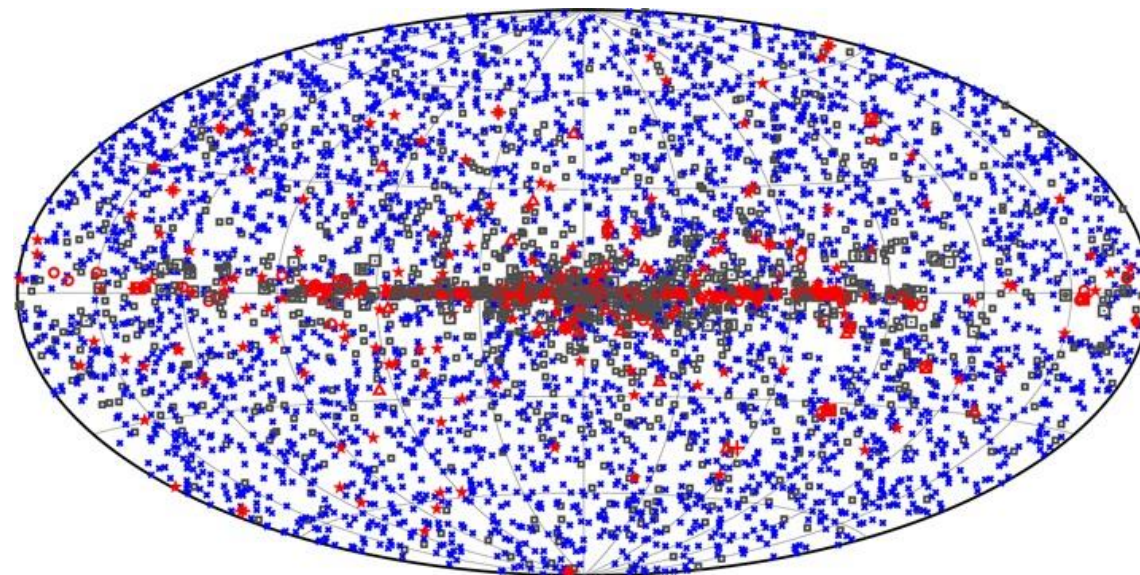
Third EGRET Catalog

$E > 100 \text{ MeV}$



- ◆ Active Galactic Nuclei
- Unidentified EGRET Sources
- Pulsars
- ▲ LMC
- Solar FLare

271 источник
170 не идентифицированы



- | | | |
|-----------------------|--|--------|
| ■ No association | ■ Possible association with SNR or PWN | ● AGN |
| ★ Pulsar | ▲ Globular cluster | ◆ PWN |
| ■ Binary | + Galaxy | ● SNR |
| ★ Star-forming region | □ Unclassified source | ● Nova |

5064 источника
1336 не идентифицированы

Функция распределения источников

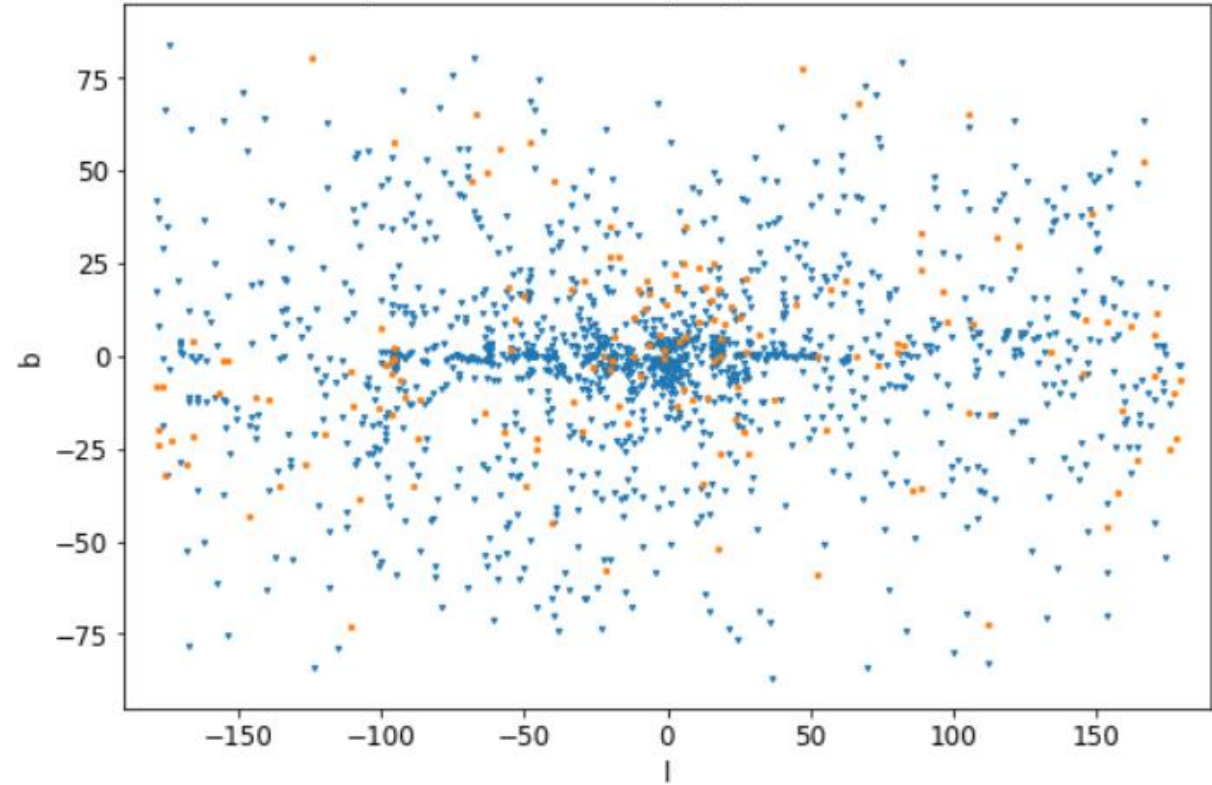
$$P = \frac{R_0 \cos b_2}{r_0 (\sqrt{\pi})^3} \int_0^{r_0/R_0} d\rho_1 \int_0^{r_0/R_0} d\rho_2 \times$$
$$\times \rho_2^2 \exp \left[- \left((-\rho_2 \cos b_2 \sin l_2 + \rho_1 \cos b_1 \sin b_1 - 1)^2 + \right. \right.$$
$$\left. \left. + (\rho_2 \cos b_2 \cos l_2 - \rho_1 \cos b_1 \cos l_1)^2 + (\rho_2 \sin b_2 - \rho_1 \sin b_1)^2 \right) \right].$$

$(b_1; l_1), (b_2, l_2)$ - начальные и конечные галактические координаты смещенного источника

Отбор источников

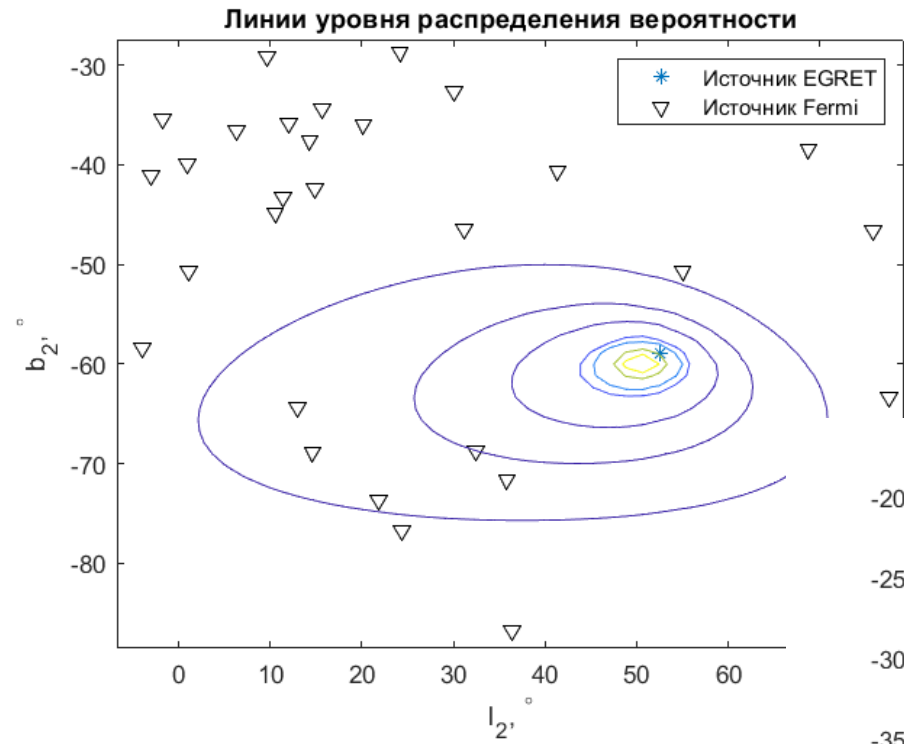
По спектральному индексу:

$$|I_{LAT} - I_{EGRET}| \leq \sqrt{(\Delta I_{LAT})^2 + (\Delta I_{EGRET})^2}$$



3EG name	l_E	b_E	I_E	ΔI_E	4FGL name	l_F	b_F	I_F	ΔI_F
3EG J0215+1123	153.75	-46.37	2.03	0.62	4FGL J0000.3-7355	307.70	-42.74	2.119	0.146
3EG J0215+1123	153.75	-46.37	2.03	0.62	4FGL J2351.4-2818	24.37	-76.69	2.374	0.176
3EG J0426+1333	181.98	-23.82	2.17	0.25	4FGL J0000.3-7355	307.70	-42.74	2.119	0.146
3EG J1631-1018	5.55	24.94	2.2	0.27	4FGL J0031.0-2327	70.33	-84.11	2.194	0.133
3EG J1347+2932	47.31	77.5	2.51	0.61	4FGL J2326.5+8555c	121.32	23.32	2.811	0.158
3EG J0329+2149	164.9	-27.88	2.61	0.33	4FGL J0112.0+3442	127.72	-27.98	2.337	0.167
3EG J1527-2358	342.97	26.5	2.67	0.99	4FGL J0017.1-4605	320.39	-69.87	2.801	0.157
3EG J1733+6017	89.12	32.94	3.0	0.38	4FGL J0934.5+7223	139.73	37.62	2.987	0.137
3EG J1822+1641	44.84	13.84	3.06	0.68	4FGL J1912.2+3621	67.89	11.83	2.582	0.140
3EG J1308+8744	122.74	29.38	3.17	0.66	4FGL J0934.5+7223	139.73	37.62	2.987	0.137

Распределения для источников из каталогов EGRET и Fermi-LAT



3EG J2251-1341
 $l = 2.43$

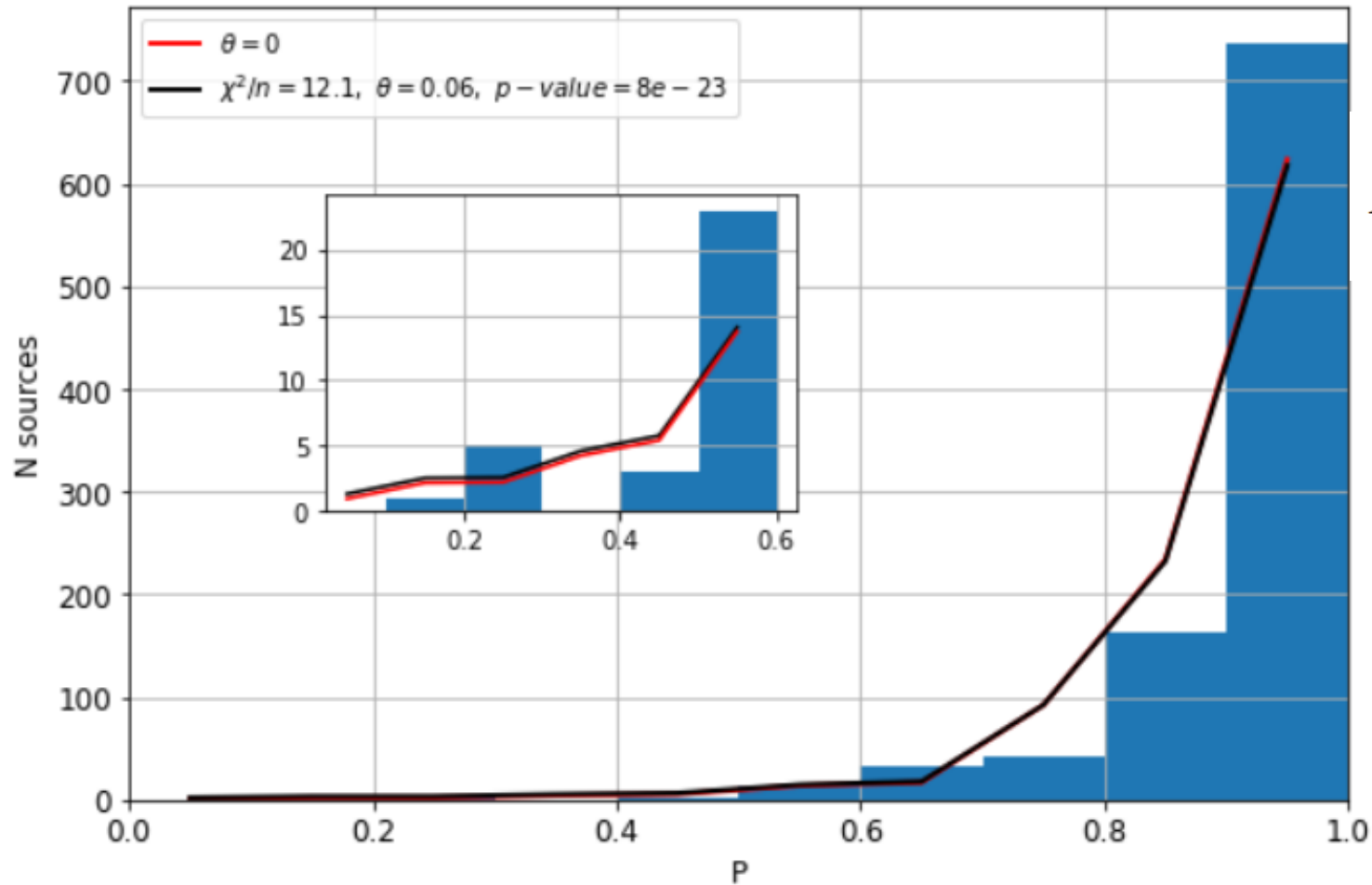


3EG J0245+1758
 $l = 2.61$



3EG J1631-1018
 $l = 2.2$

Статистический анализ



По оси Oy – количество источников, попавших в область,
по оси Ox – номер области, определяющей вероятность.

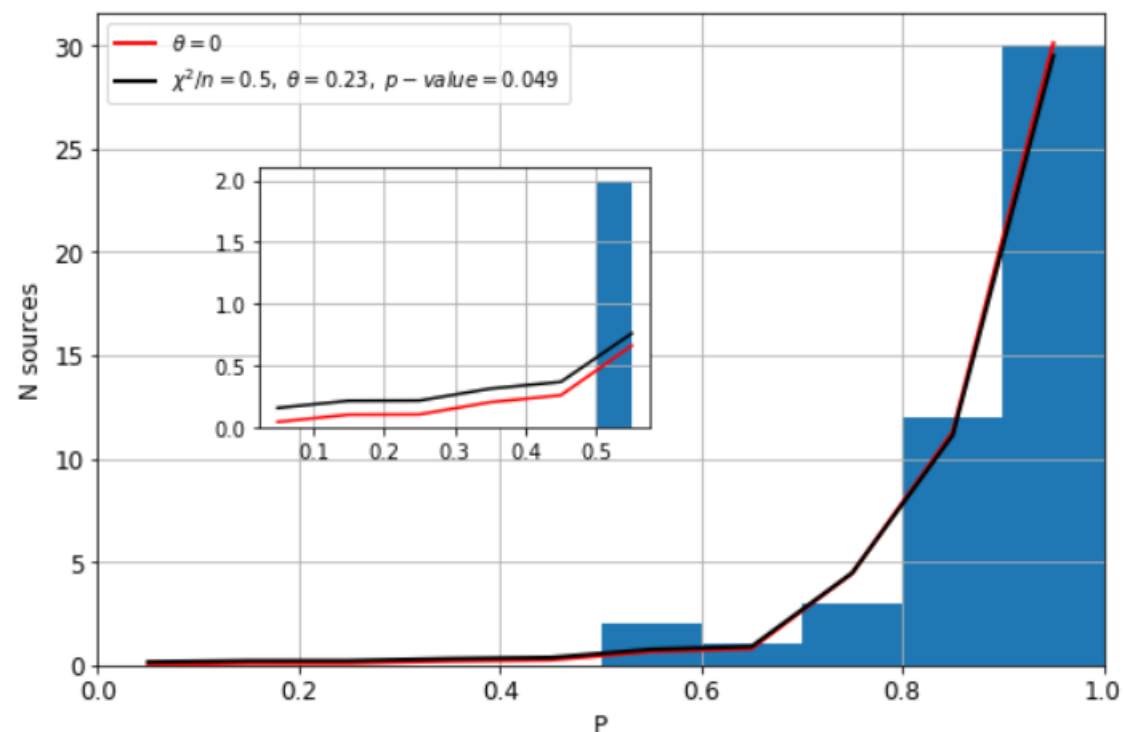
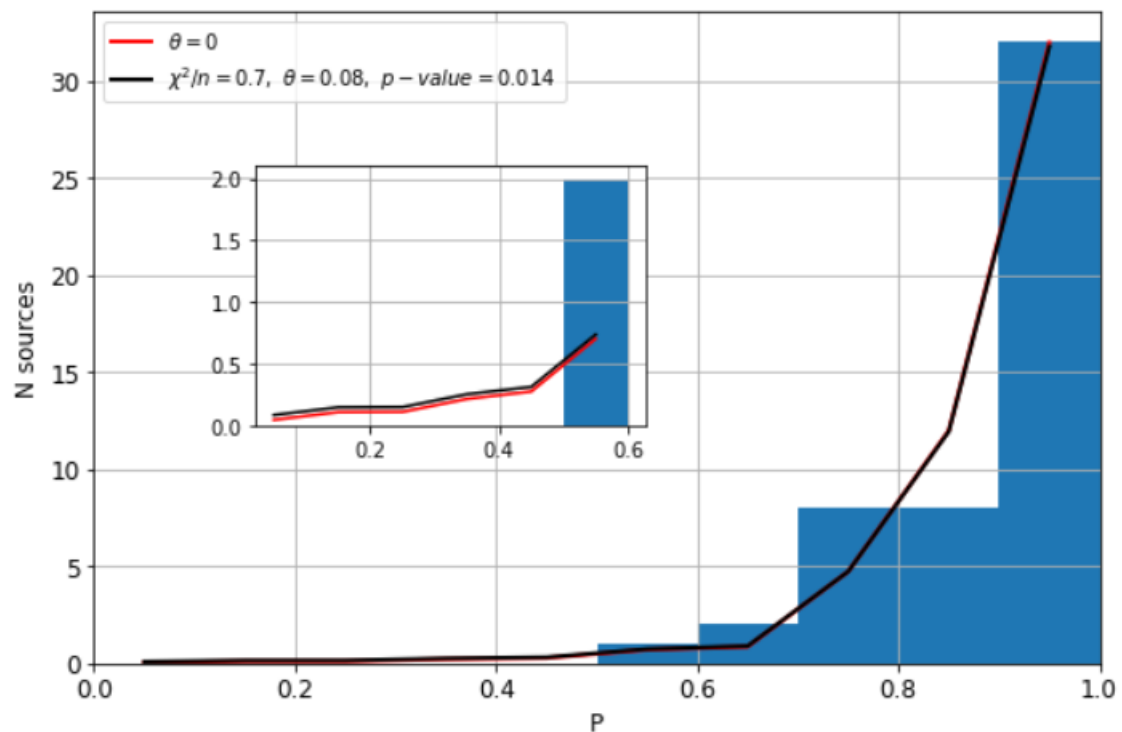
$$N_i = \sum_a N_i^a = \frac{S_i}{S_{\text{tot}}} \cdot (N_{\text{tot}} - a \cdot \theta) + 0.1 \cdot a \cdot \theta$$

На рисунке представлены:

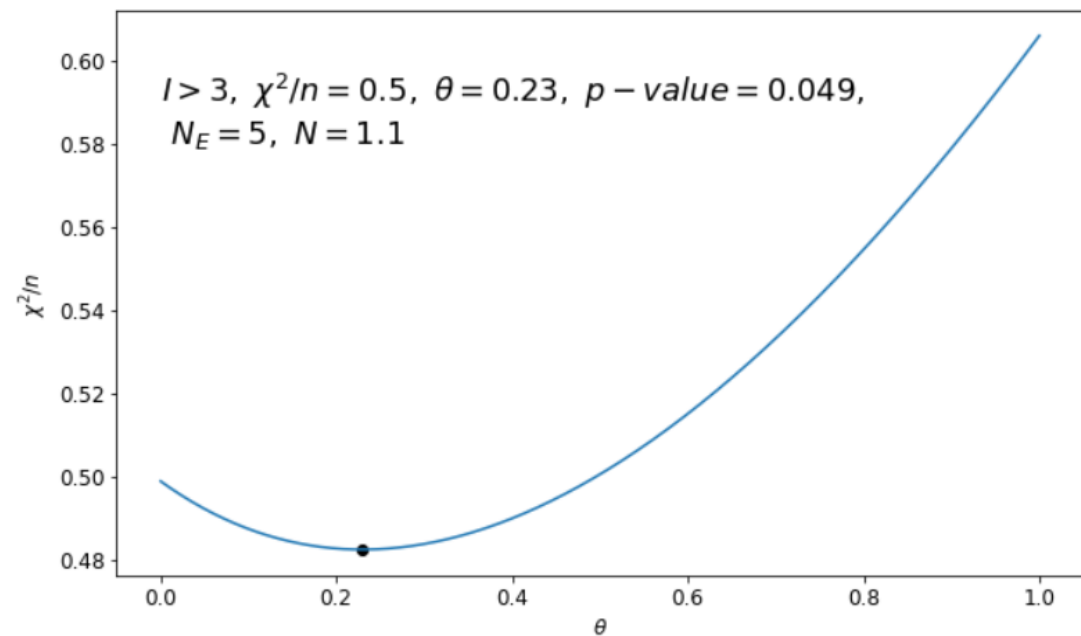
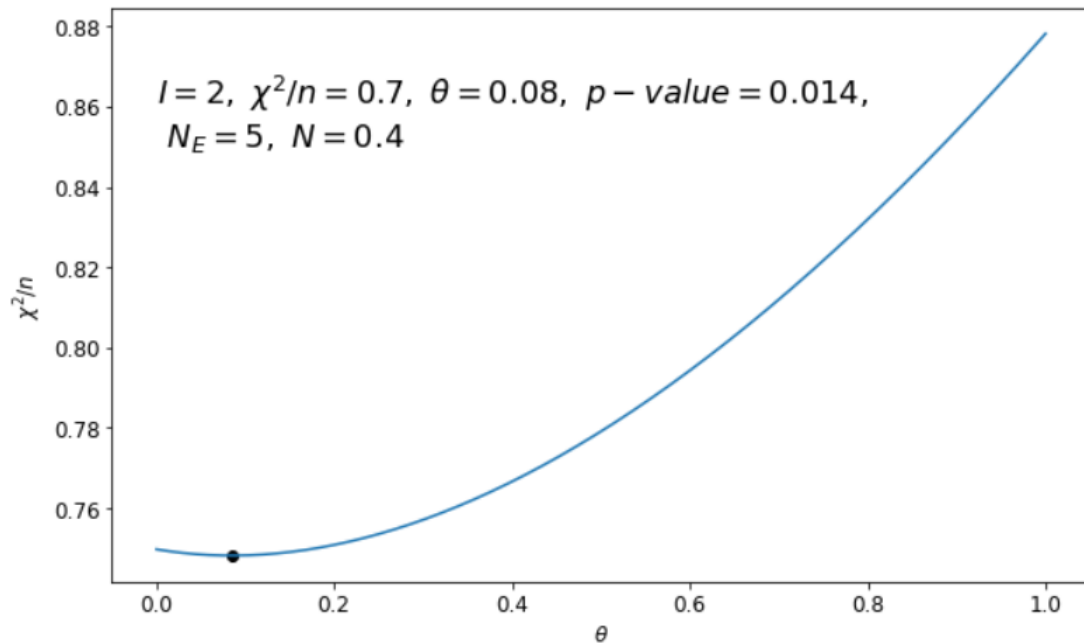
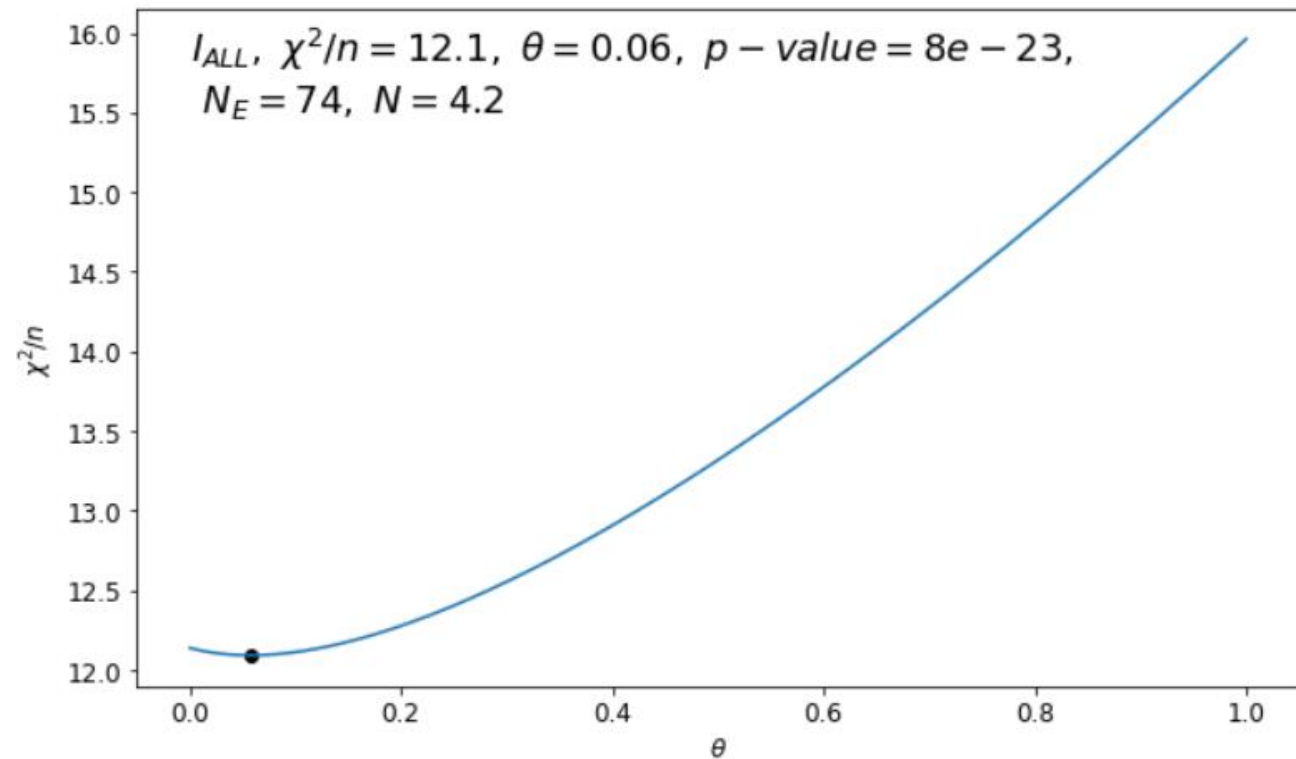
- на гистограмме - наблюдаемое распределение источников Fermi
- черная линия - распределение фон+сигнал
- **красная линия** - ожидаемое распределение при наличии исключительно **фона**

Анализ распределений

- На рисунках представлены:
- на гистограмме - наблюдаемое распределение источников Fermi
- черная линия - распределение фон+сигнал
- **красная линия** - ожидаемое распределение при наличии исключительно **фона**



Зависимость приведенного хи-квадрат от параметра смещения

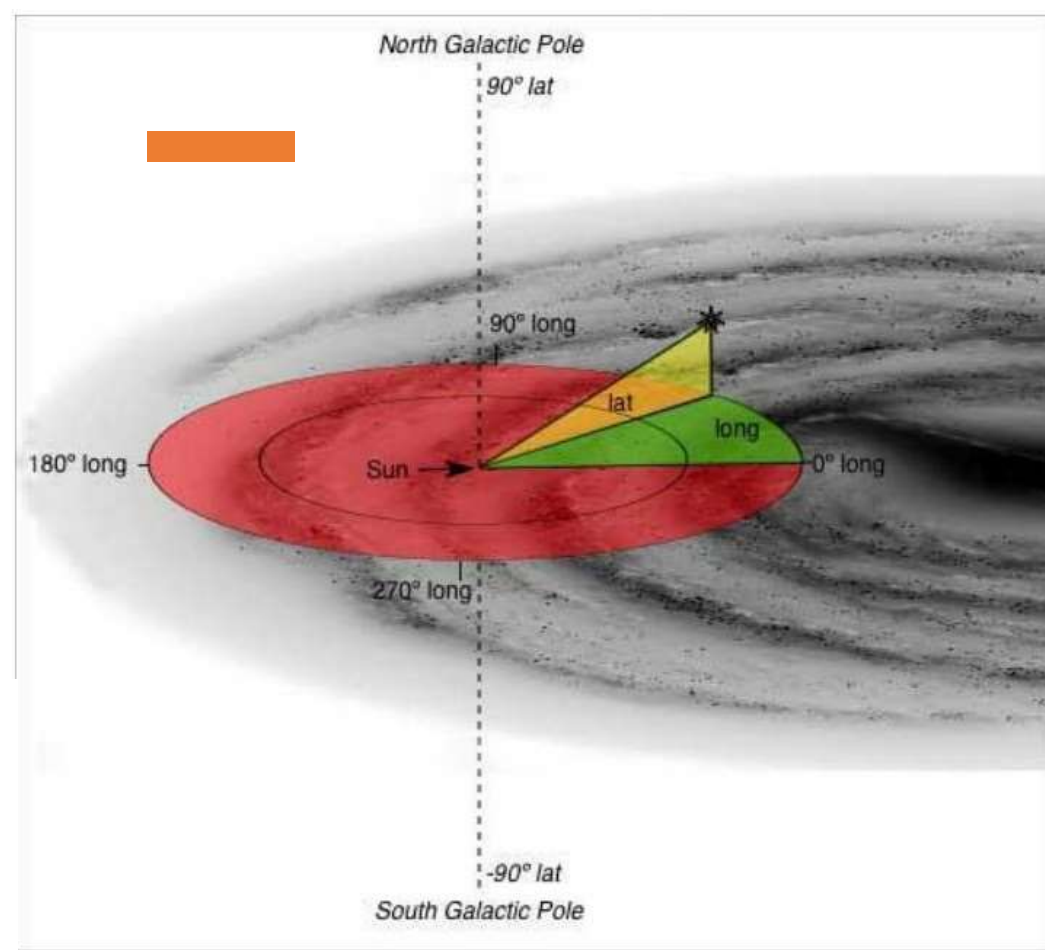
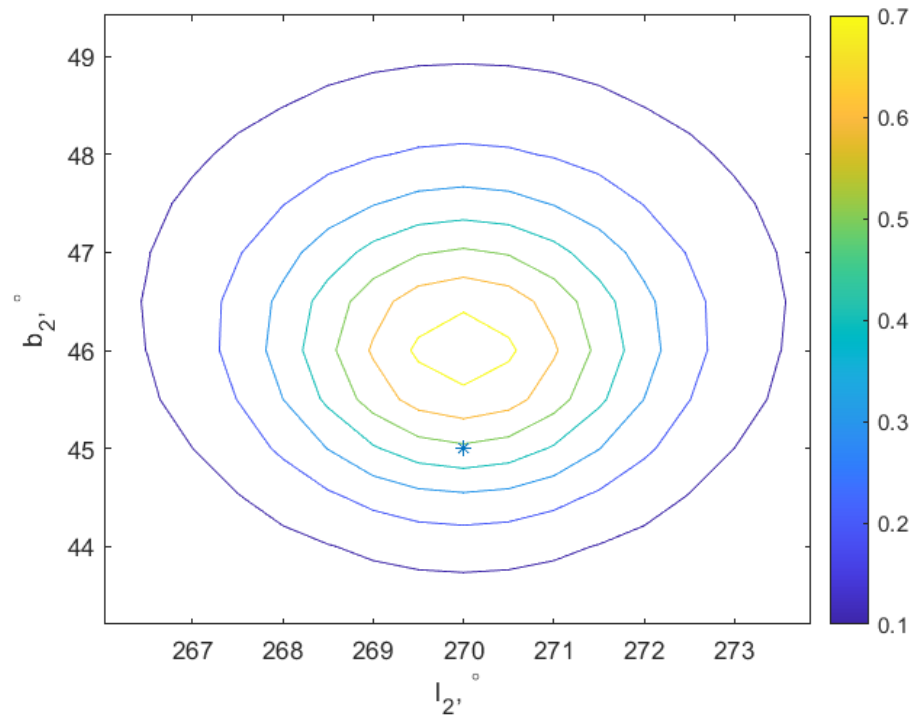
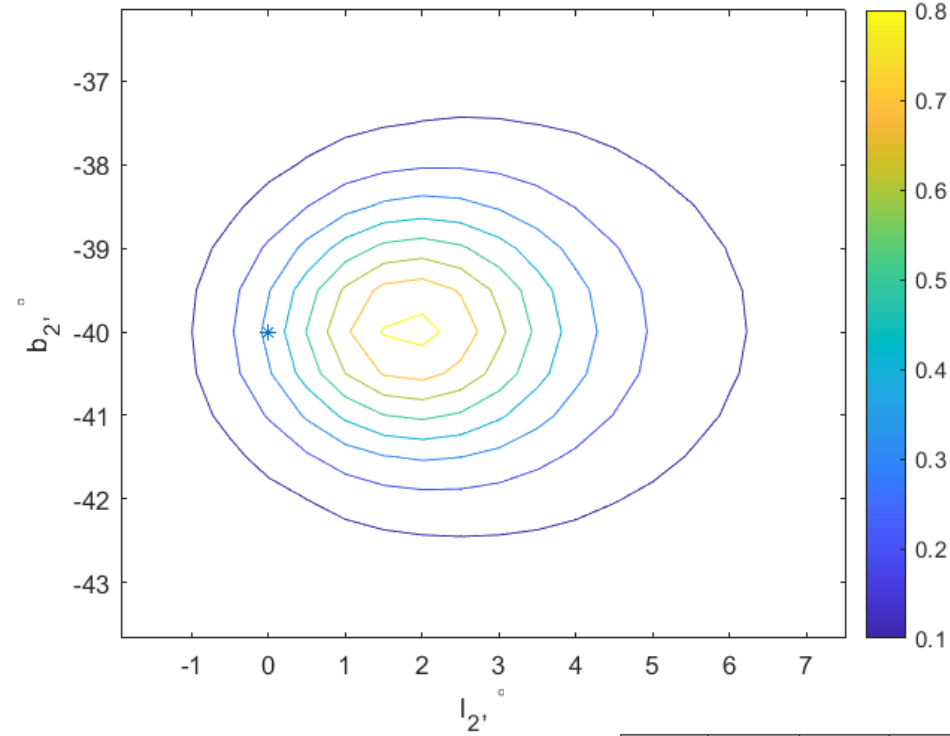


I_E	θ	χ^2/n	p -value	N_E	N
$I_E = 2$	0.08	0.7	0.014	5	0.4
$2.1 < I_E \leq 2.4$	0.05	4.8	10^{-9}	20	1
$I_E = 2.5$	0	1.8	0.0001	16	0
$2.6 < I_E \leq 2.9$	0.19	1.7	0.0002	18	3.5
$I_E = 3$	0.31	1.9	0.0001	10	3.1
$I_E > 3$	0.23	0.5	0.0495	5	1.1
Без отбора по I	0.06	12.1	10^{-22}	74	4.2

Результат

Заключение:

- Построена функция распределения смещенных источников.
- Произведен отбор кандидатов среди данных по неидентифицированным источникам
- Построена модель, позволяющая провести статистический анализ.
- Предсказано количество смещенных источников для различных спектральных индексов.
- Выделены перспективные группы, для которых эффект проявляется в большей мере



Галактические
координаты

$$\frac{dN}{N} = \frac{1}{(v_0\sqrt{\pi})^3} \exp\left(-\frac{(v_x - v_\odot)^2 + v_y^2 + v_z^2}{v_0^2}\right) dv_x dv_y dv_z.$$

$$N_i^a = (N_{\text{tot}}^a - \theta) \cdot \frac{S_i}{S_{\text{tot}}} + 0.1 \cdot \theta.$$

