

ОТЧЁТ О БАКАЛАВРСКОЙ ДИПЛОМНОЙ РАБОТЕ

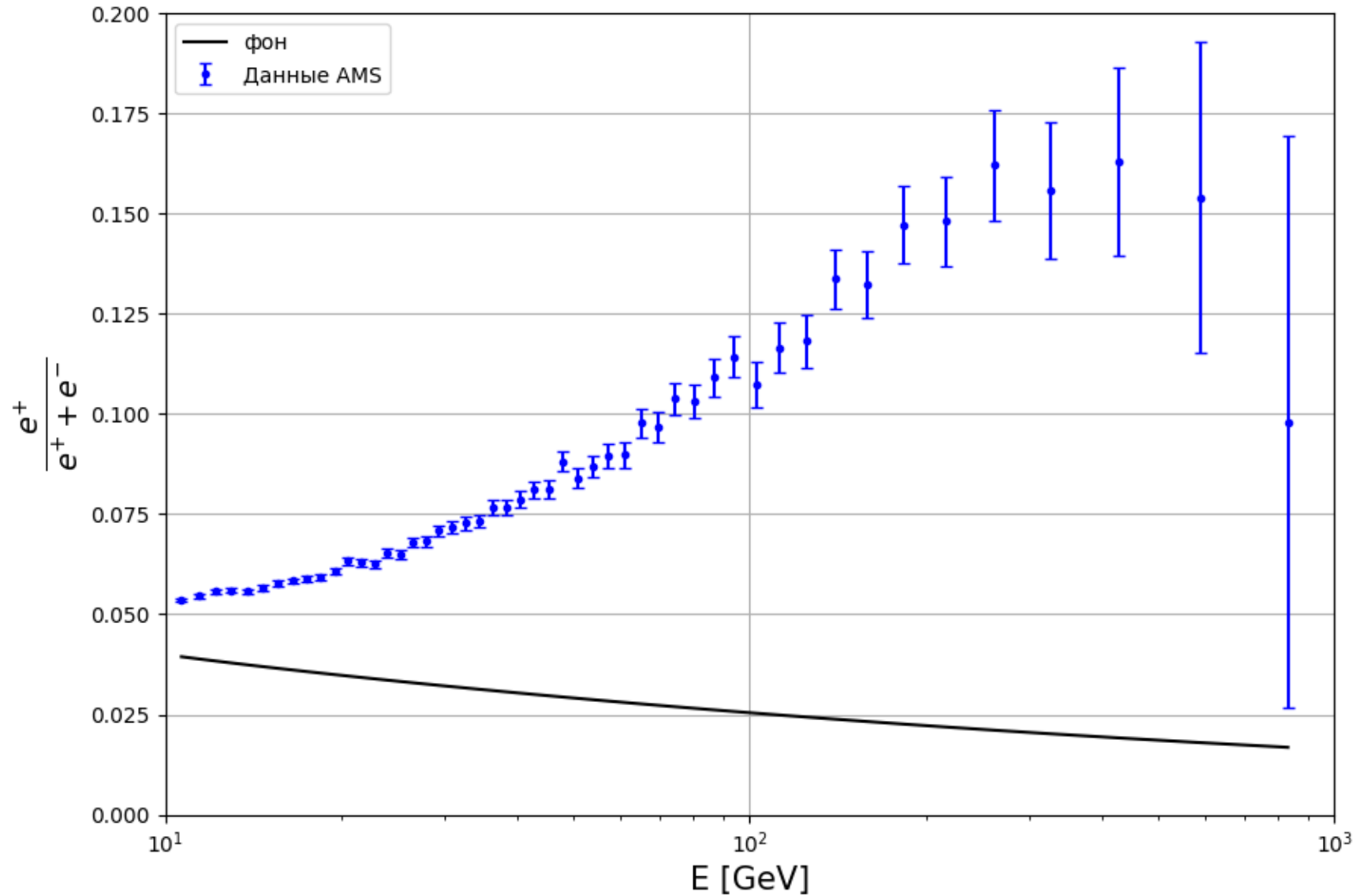
ПОИСК ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ
ИСТОЧНИКОВ ИЗЛУЧЕНИЯ ДЛЯ ОБЪЯСНЕНИЯ
ИЗБЫТКА КОСМИЧЕСКИХ ПОЗИТРОНОВ

Выполнил: Ф. В. Костромин

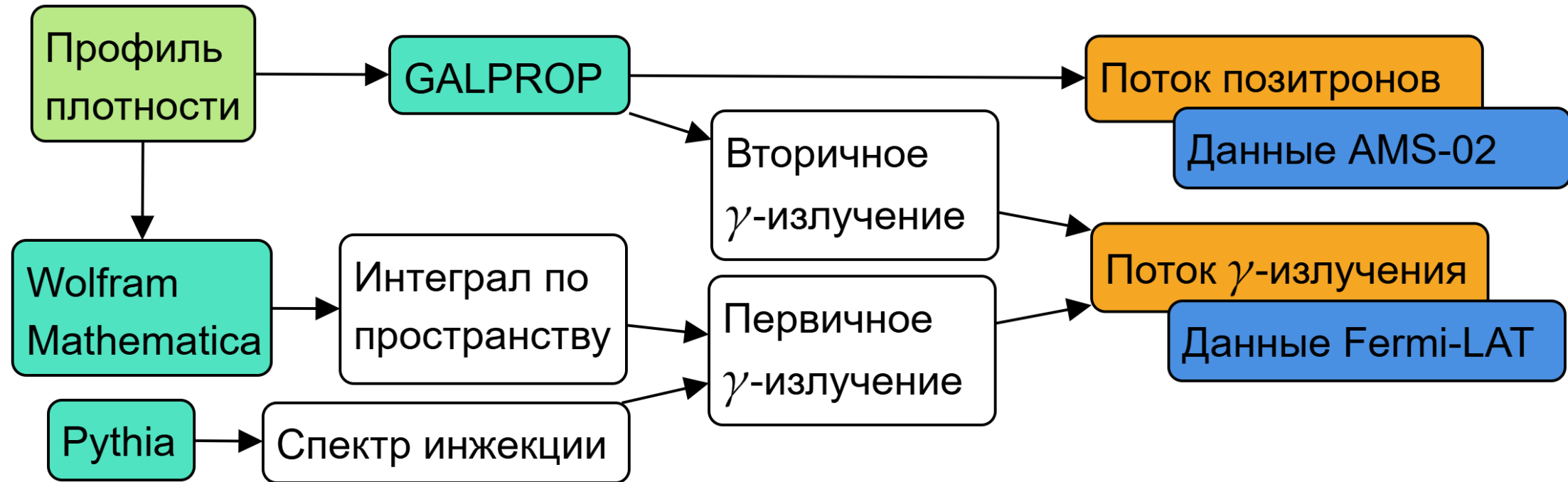
Научный руководитель: К. М. Белоцкий

Научный консультант: М. Л. Соловьёв

Проблема позитронной аномалии



Получение спектров от заданного профиля. Используемые вычислительные средства.



$$X\bar{X} \rightarrow e^+e^-$$

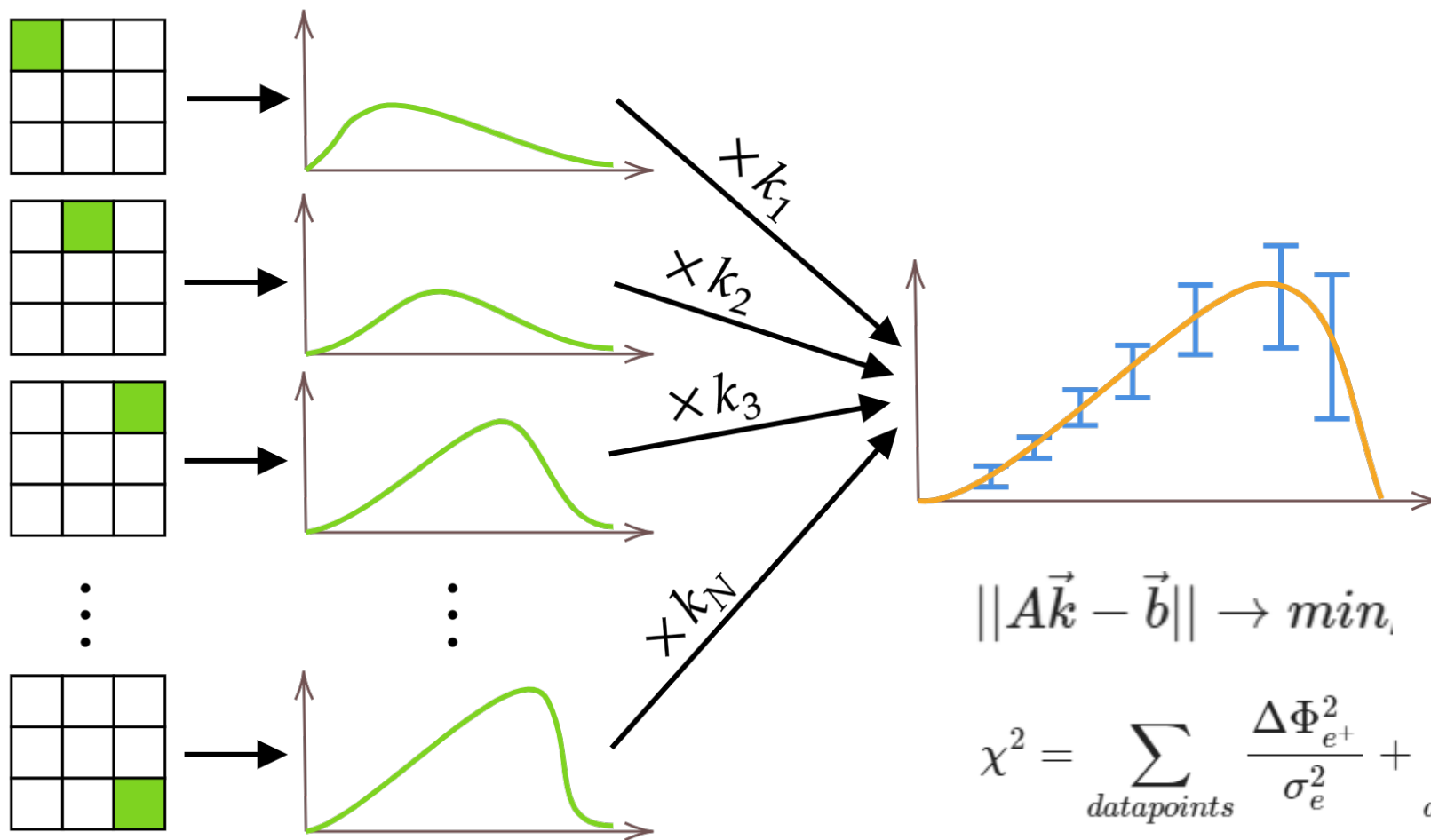
$$X\bar{X} \rightarrow \mu^+\mu^-$$

$$X\bar{X} \rightarrow \tau^+\tau^-$$

$$\Phi = \frac{dN}{dE} \frac{\langle \sigma v \rangle}{4} \frac{1}{\Delta\Omega} \int \frac{1}{4\pi r^2} \frac{\rho^2}{M^2} dV$$

$$\Phi = \underbrace{\frac{dN}{dE}}_{\text{Spectrum}} \underbrace{\frac{\langle \sigma v \rangle}{4} \frac{1}{\Delta\Omega} \frac{1}{4\pi M^2}}_{\text{Angular and mass factors}} \underbrace{\int \frac{\rho^2}{r^2} dV}_{\text{Spatial integral}}$$

Составление профиля плотности из набора областей

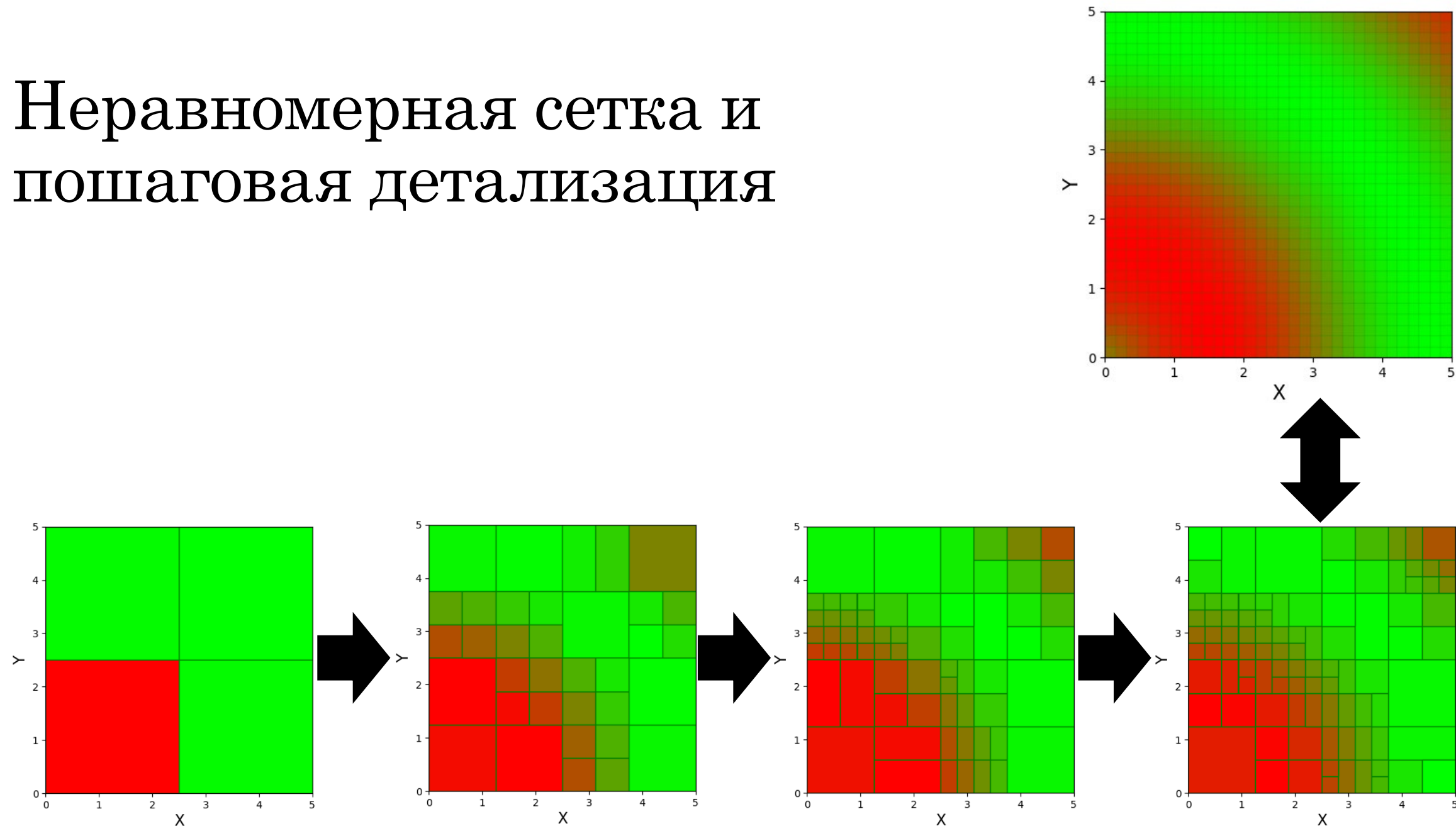


$$||A\vec{k} - \vec{b}|| \rightarrow \min$$

$$\chi^2 = \sum_{\text{datapoints}} \frac{\Delta\Phi_{e^+}^2}{\sigma_e^2} + \sum_{\text{datapoints}} \frac{\Delta\Phi_\gamma^2}{\sigma_\gamma^2} \rightarrow \min$$

$$\chi^2 = \chi_\theta^2 = \sum_{\text{datapoints}} \frac{\Delta\Phi_{e^+}^2}{\sigma_e^2} + \sum_{\text{datapoints}} \frac{\Delta\Phi_\gamma^2}{\sigma_\gamma^2} \theta(\Delta\Phi_\gamma)$$

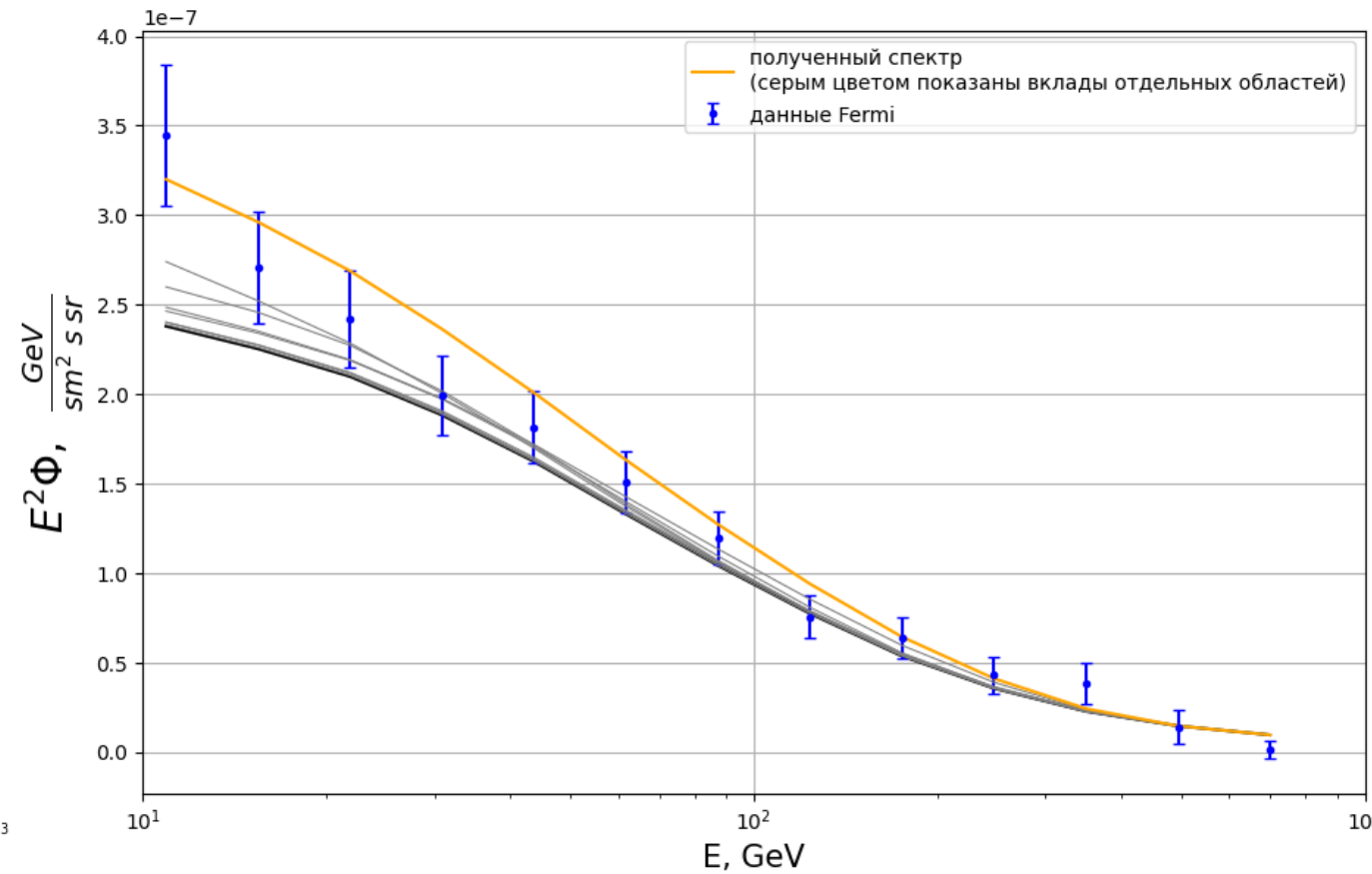
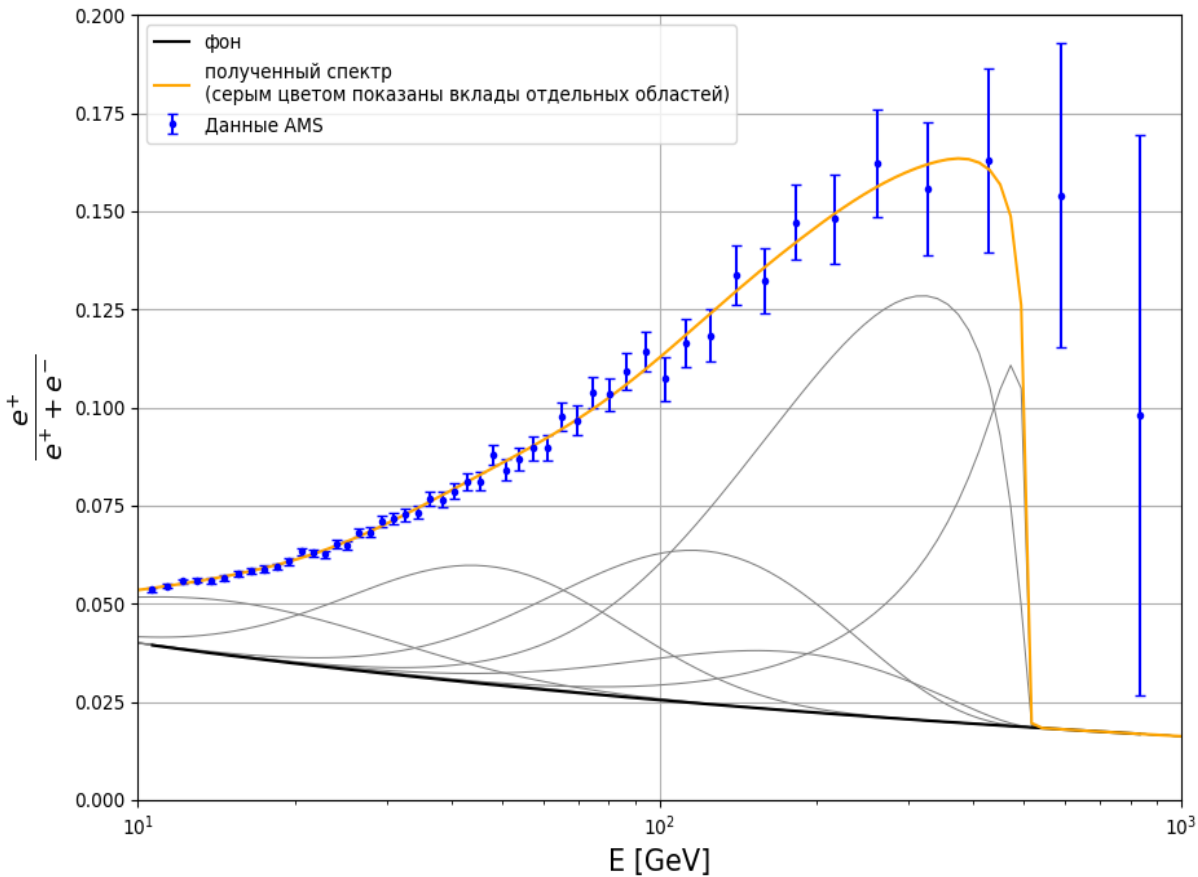
Неравномерная сетка и пошаговая детализация



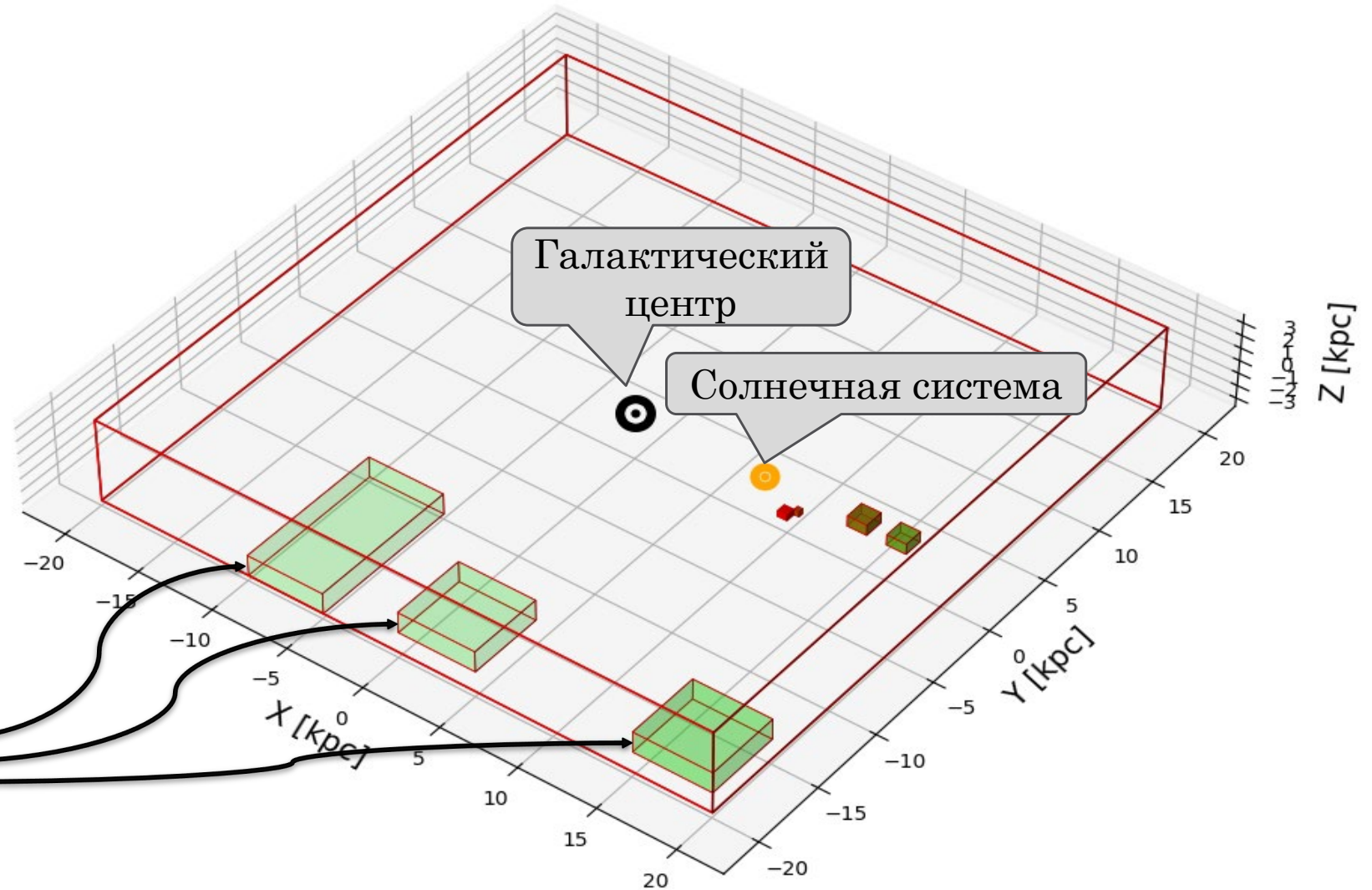
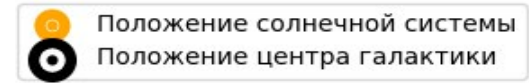
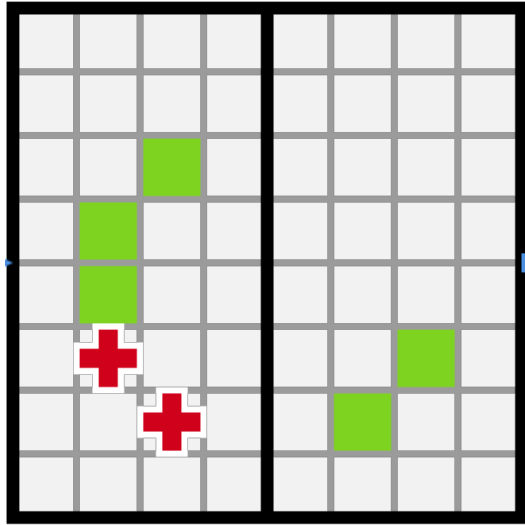
Результаты и проблемы.

e^+e^- -канал, масса 500 ГэВ

5



Результаты и проблемы.



Области с ненулевой
плотностью источников

Поиск всех возможных профилей плотности.

Было:

$$\vec{\Phi} = [\vec{f}_1, \vec{f}_2, \vec{f}_3 \dots \vec{f}_N] \begin{bmatrix} k_1 \\ k_2 \\ k_3 \\ \vdots \\ k_N \end{bmatrix} \quad \chi^2 = \chi_{min}^2$$

Стало:

$$\vec{\phi}_i = [\vec{f}_1, \vec{f}_2, \vec{f}_3 \dots \vec{f}_N] \begin{bmatrix} k_{1i} \\ k_{2i} \\ k_{3i} \\ \vdots \\ k_{Ni} \end{bmatrix} \quad \vec{\Phi} = [\vec{\phi}_1, \vec{\phi}_2, \vec{\phi}_3 \dots \vec{\phi}_M] \begin{bmatrix} \alpha_1 \\ \alpha_2 \\ \alpha_3 \\ \vdots \\ \alpha_M \end{bmatrix} \quad \vec{\Phi} = [\vec{f}_1, \vec{f}_2, \vec{f}_3 \dots \vec{f}_N] \begin{bmatrix} k_{11}, k_{21}, k_{31} \dots k_{M1} \\ k_{12}, k_{22}, k_{32} \dots k_{M2} \\ k_{13}, k_{23}, k_{33} \dots k_{M3} \\ \vdots \\ k_{1N}, k_{2N}, k_{3N} \dots k_{MN} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \alpha_1 \\ \alpha_2 \\ \alpha_3 \\ \vdots \\ \alpha_M \end{bmatrix}$$

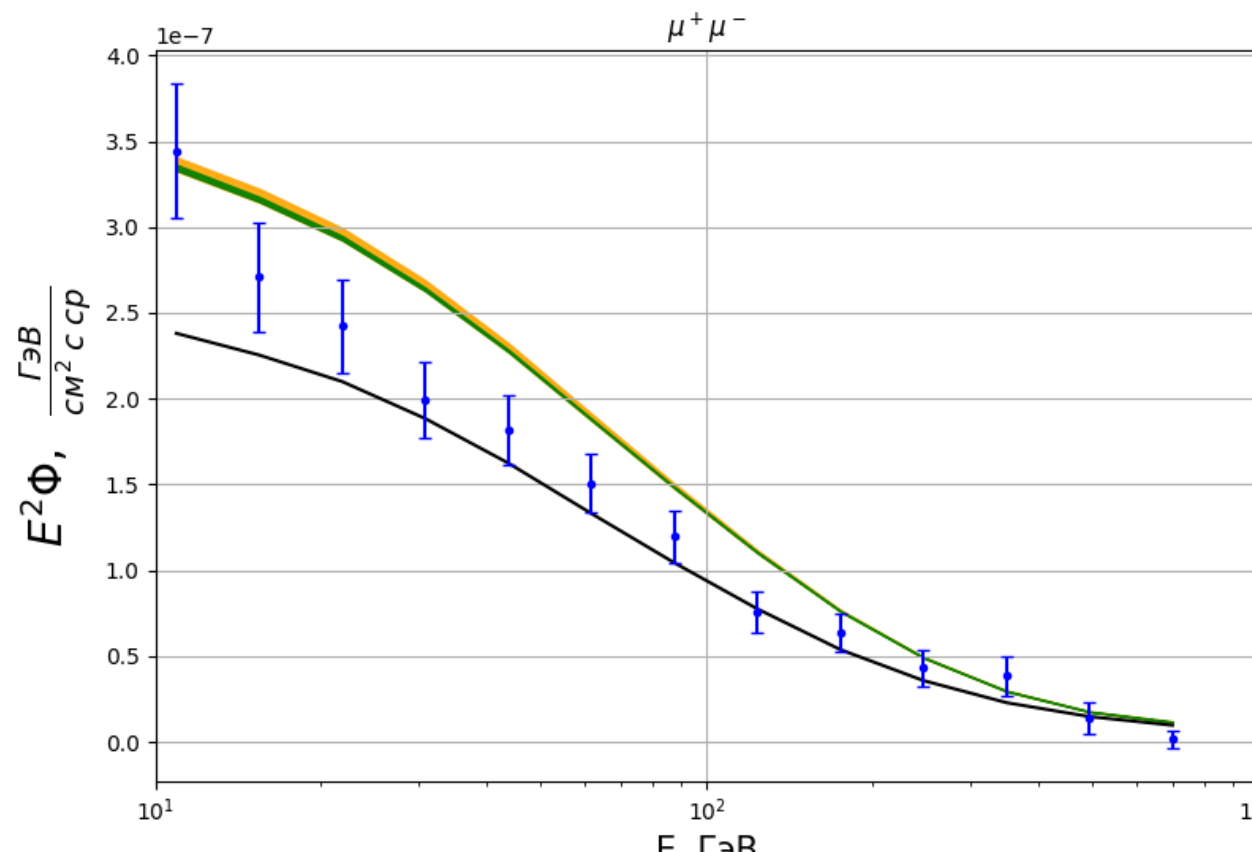
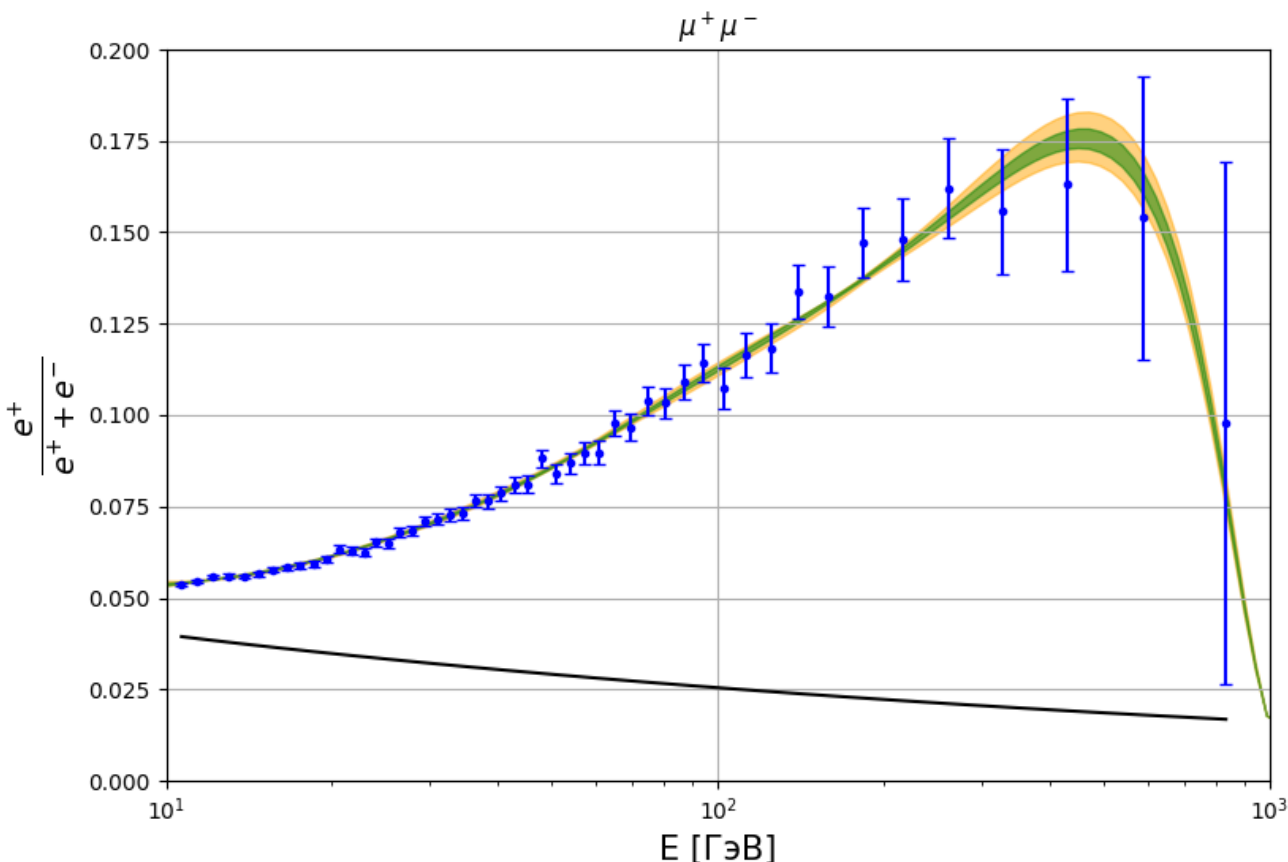
$$\chi^2 \leq \chi_{min}^2 + \Delta\chi^2$$

$$\alpha_i > 0 \quad \sum_i \alpha_i = 1$$

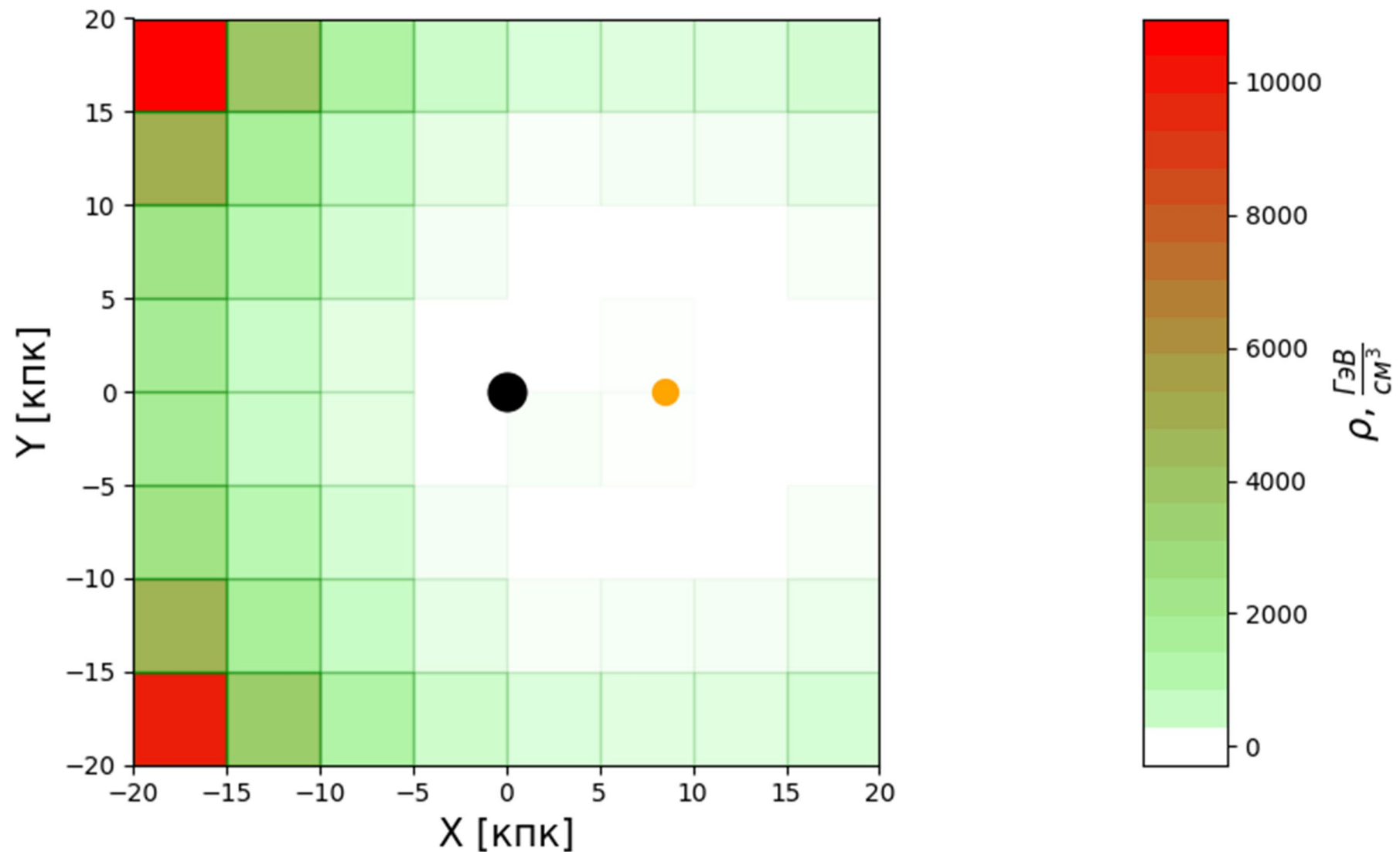
Модель произвольного профиля в плоскости Галактики

Совокупность потоков позитронов и γ -излучения для всех возможных значений параметров α_i . Мюонный канал, масса 1000 ГэВ.

Зелёные области соответствуют выбору $\Delta\chi^2/\chi^2_{min}$ равным 2%, оранжевые - 10%,
 $\chi^2_{min}/N_{\text{точек данных}} = 1.3$

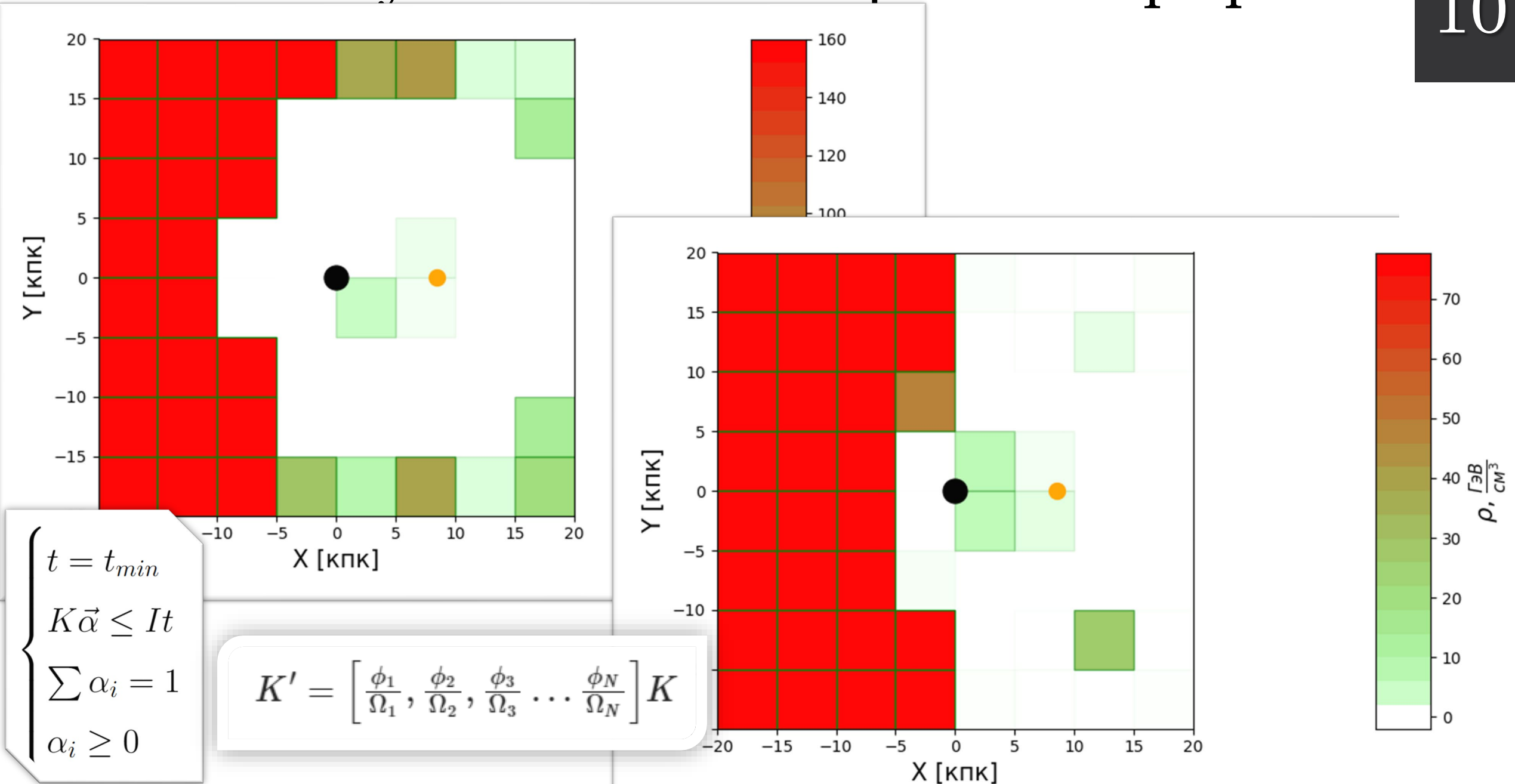


Оценка сверху на плотность источников



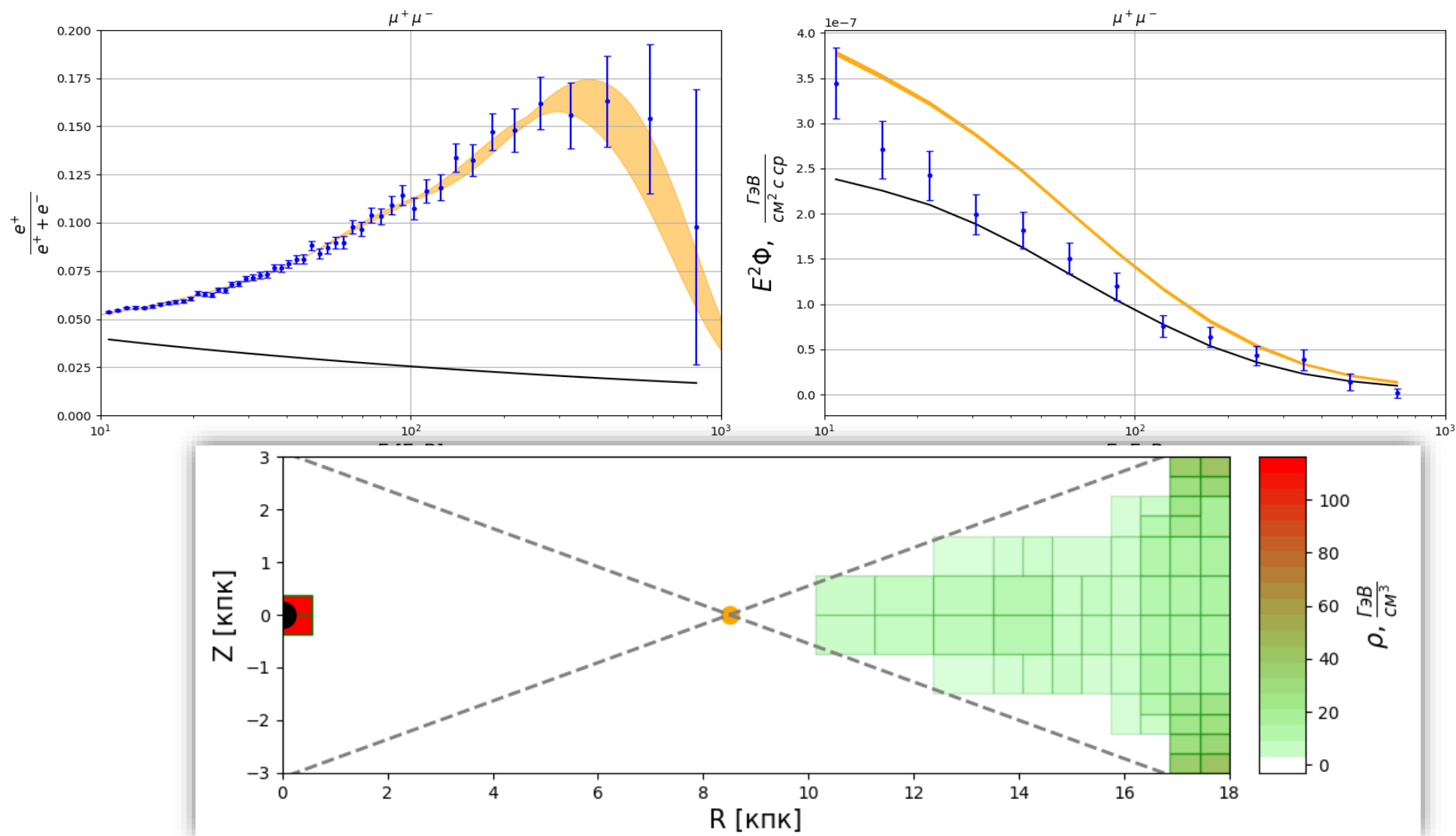
Возможные условия на конкретный профиль

10



Модель центрально-симметричного профиля

Мюонный канал, $\Delta\chi^2/\chi^2_{min}$ равен 8%



Заключение

Данная работа была посвящена поиску пространственного распределения источников излучения для объяснения избытка позитронов в космических лучах.

Были разработаны методы, позволяющие находить общее решение поставленной задачи на основе экспериментальных данных:

- Предложен и применён метод линейной алгебры для поиска оптимального профиля плотности с использованием разработанного адаптивного разбиения объёма Галактики.
- Предложен алгоритм поиска совокупности решений, лежащих в выбранном диапазоне $\Delta\chi^2$. Продемонстрирован выбор единственного решения с использованием тестовых условий.

На основе предложенных методов показана возможность **удовлетворительного** описания позитронной аномалии моделями скрытой массы, установлены ограничения на плотность источников в подобных моделях.

Рассмотрены случаи произвольного распределения источников в плоскости Галактики и центрально-симметричного распределения: плоского и объёмного. Рассмотрены различные массы частиц и каналы аннигиляции.

Дальнейшая работа:

- ❑ Проблема корректного введения числа степеней свободы рассматриваемых моделей.
- ❑ Проблема поиска условий фиксирующих частное решение.
- ❑ Проблема фиксации нефизического параметра $\Delta\chi^2$.
- ❑ Включение новых наборов данных.
- ❑ Анализ зависимостей результатов от масс частиц и каналов аннигиляции.

Доп.

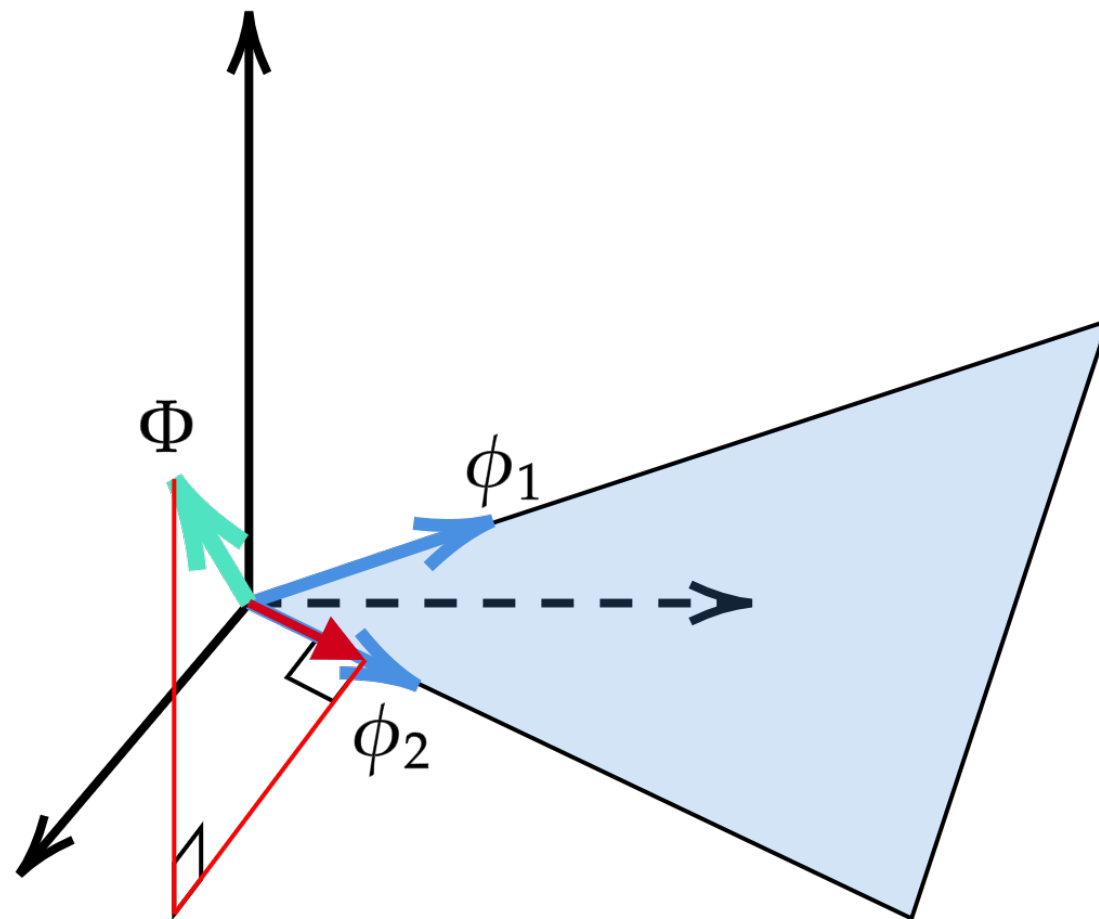
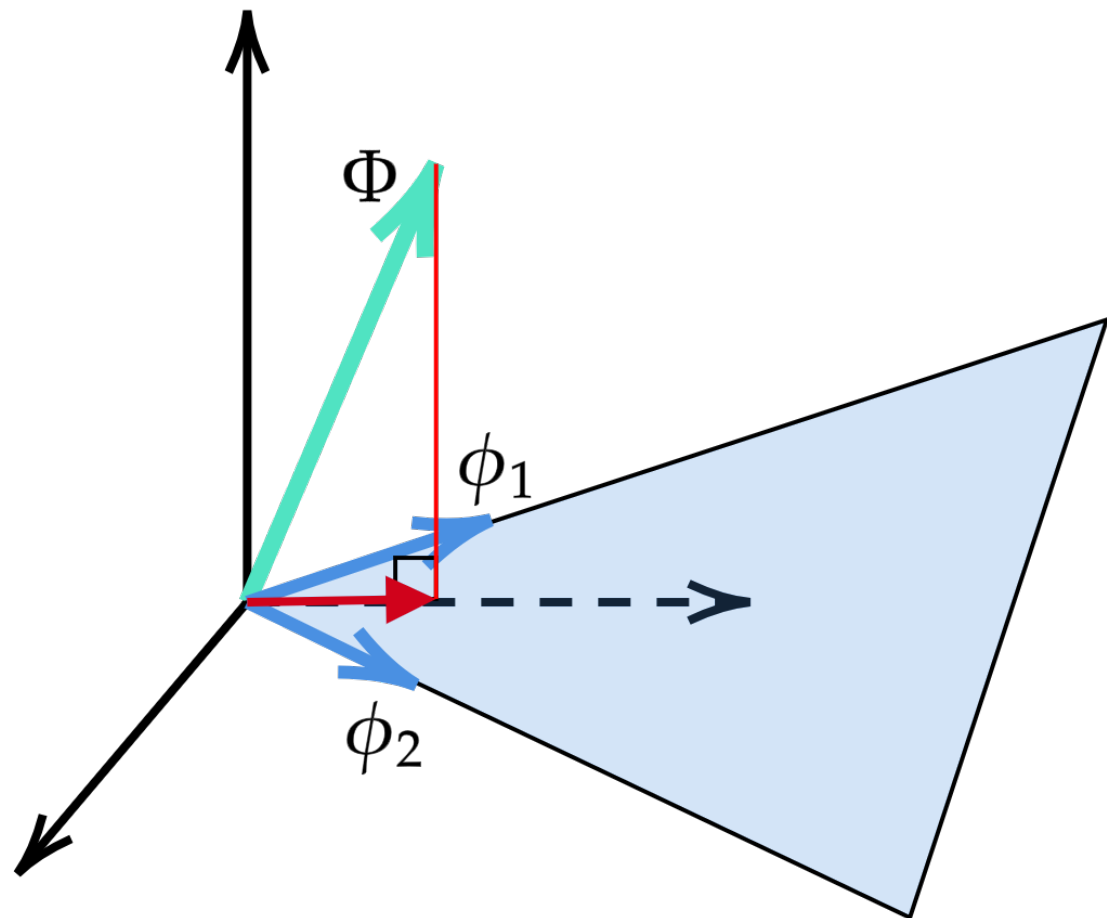
$$D_i \rightarrow \rho_i \rightarrow \begin{bmatrix} \phi_{i1}^{e^+} \\ \phi_{i2}^{e^+} \\ \vdots \\ \phi_{im}^{e^+} \\ \phi_{i1}^\gamma \\ \phi_{i2}^\gamma \\ \vdots \\ \phi_{il}^\gamma \end{bmatrix} \equiv \begin{bmatrix} \phi_{i1} \\ \phi_{i2} \\ \vdots \\ \phi_{iM} \end{bmatrix} \quad A = \begin{bmatrix} \phi_{11}/\sigma_1 & \phi_{21}/\sigma_1 & \cdots & \phi_{N1}/\sigma_1 \\ \phi_{12}/\sigma_2 & \phi_{22}/\sigma_2 & \cdots & \phi_{N2}/\sigma_2 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \phi_{1M}/\sigma_M & \phi_{2M}/\sigma_M & \cdots & \phi_{NM}/\sigma_M \end{bmatrix} \quad \vec{b} = \begin{bmatrix} \Phi_1^{e^+}/\sigma_1 \\ \Phi_2^{e^+}/\sigma_2 \\ \vdots \\ \Phi_{M-1}^\gamma/\sigma_{M-1} \\ \Phi_M^\gamma/\sigma_M \end{bmatrix}$$

$$||A\vec{k} - \vec{b}|| \rightarrow min,$$

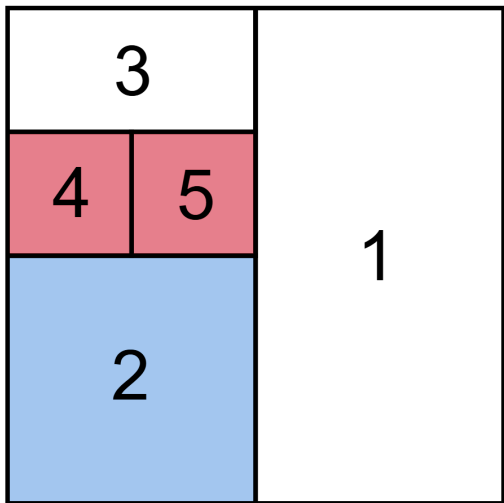
$$\chi^2 = \sum_{datapoints} \frac{\Delta\Phi_{e^+}^2}{\sigma_e^2} + \sum_{datapoints} \frac{\Delta\Phi_\gamma^2}{\sigma_\gamma^2} \rightarrow min$$

$$\chi_\theta^2 = \sum_{datapoints} \frac{\Delta\Phi_{e^+}^2}{\sigma_e^2} + \sum_{datapoints} \frac{\Delta\Phi_\gamma^2}{\sigma_\gamma^2} \theta(\Delta\Phi_\gamma)$$

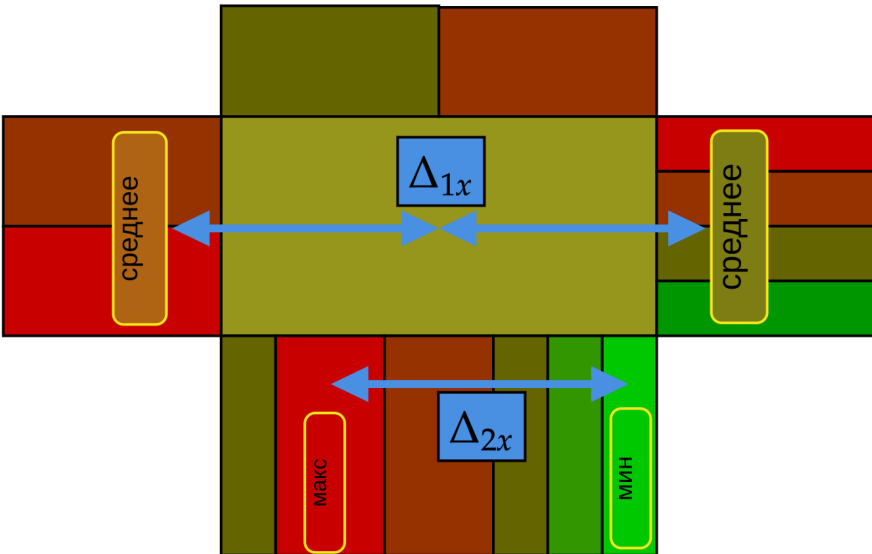
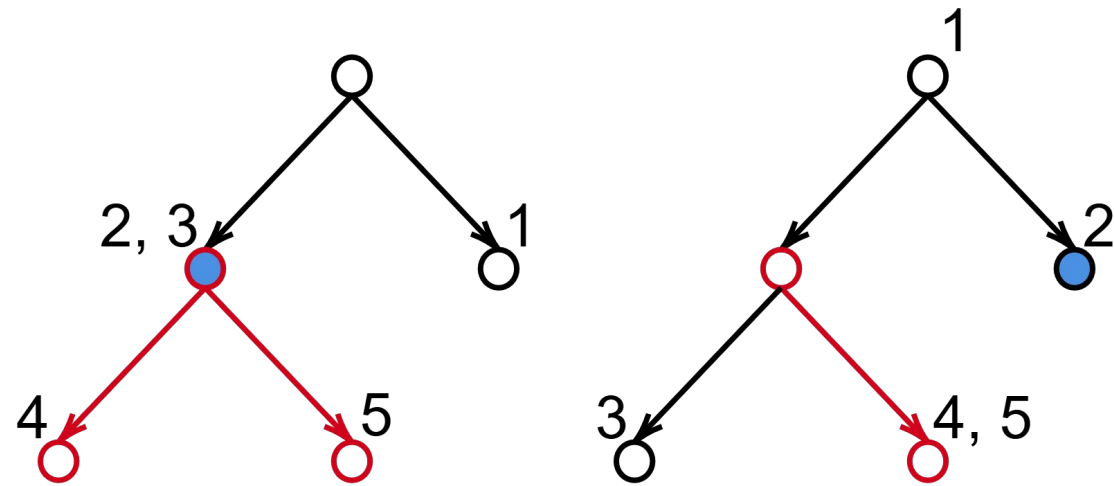
Доп.



Доп.



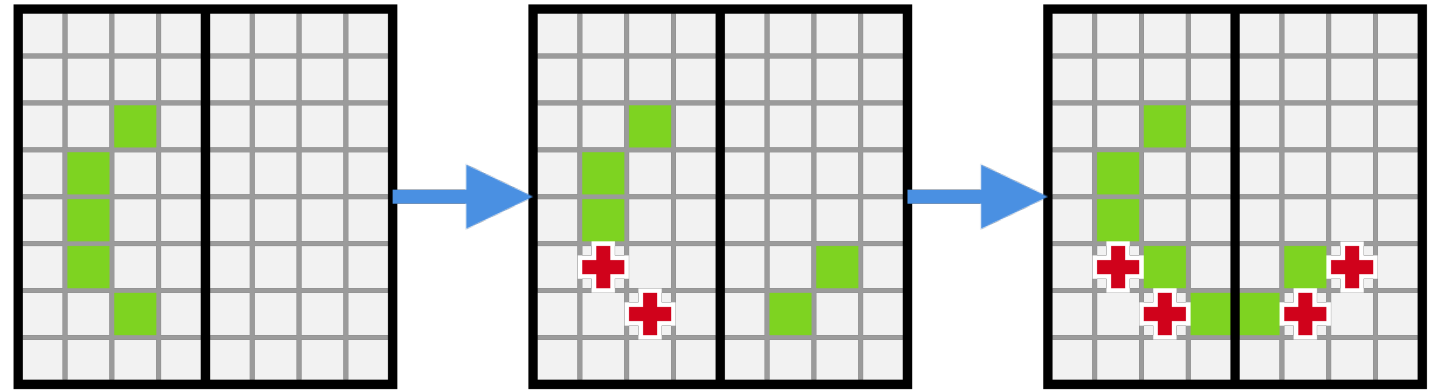
Разбиения по оси X Разбиения по оси Y



Поиск всех возможных профилей плотности.

Идея:

Вывод из рассмотрения одной из областей и повторное применение описанных методов позволяют найти ещё один вариант профиля с близким χ^2



Проблема:

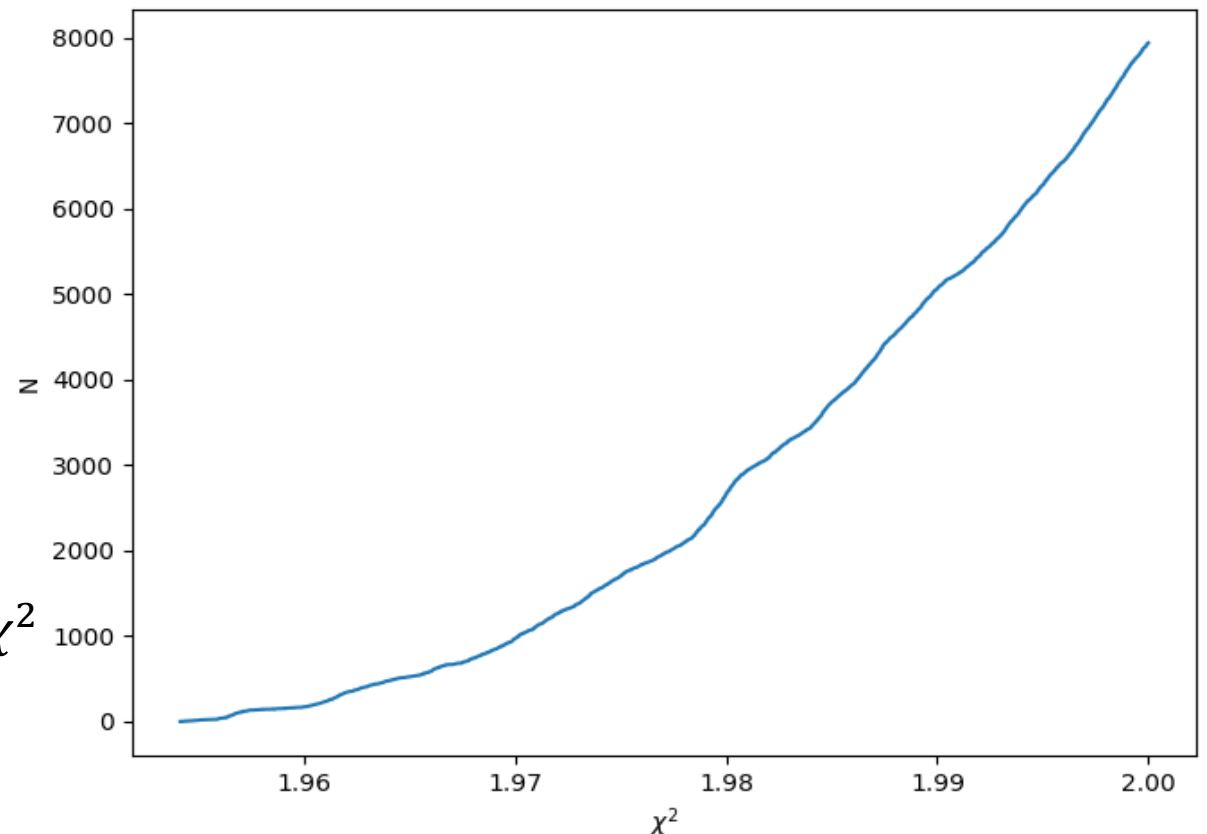
Полный перебор не возможен

Результат:

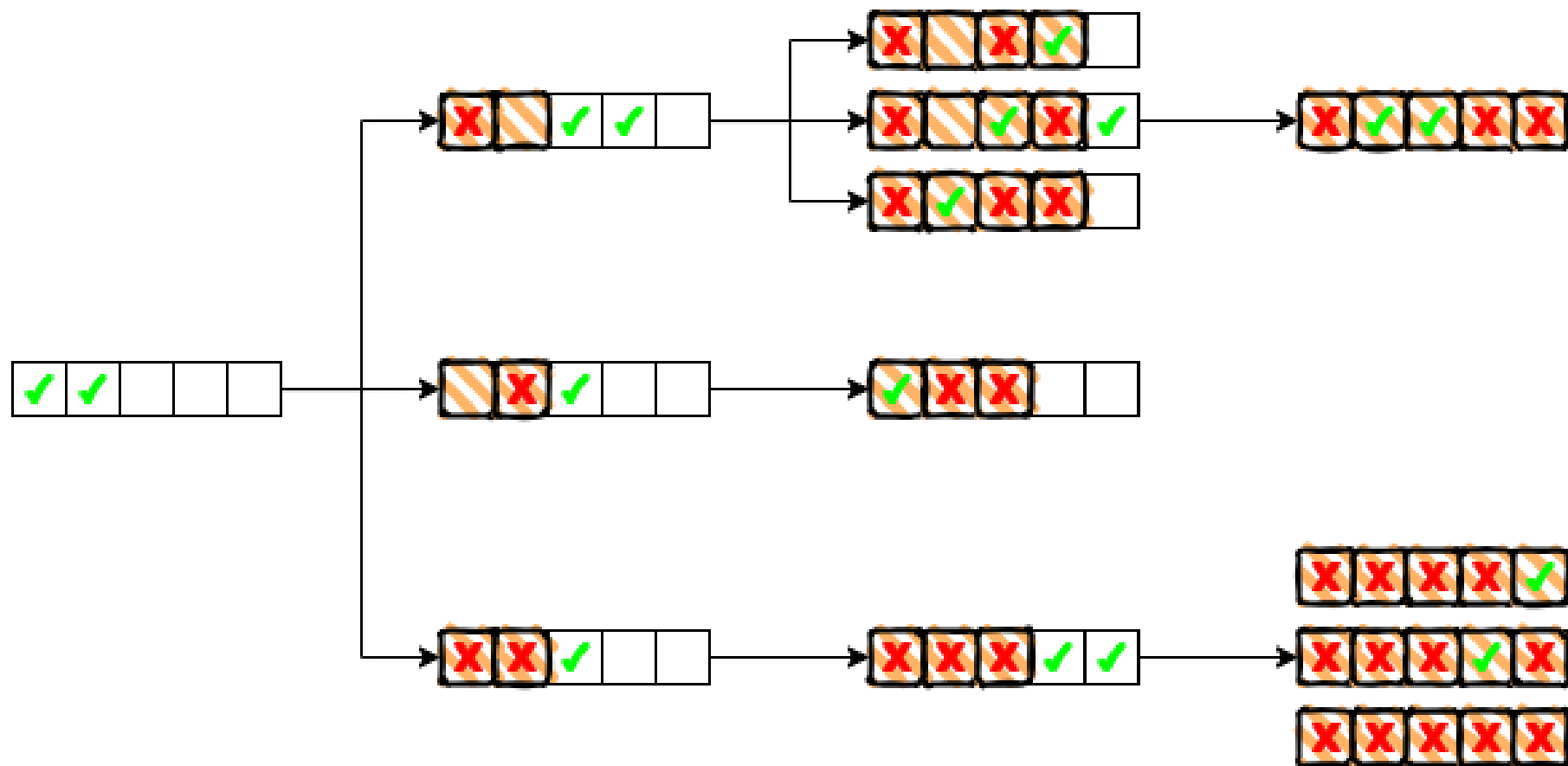
Был разработан алгоритм, позволяющий:

- производить перебор в порядке увеличения χ^2
- заранее исключать варианты, приводящие к одному решению

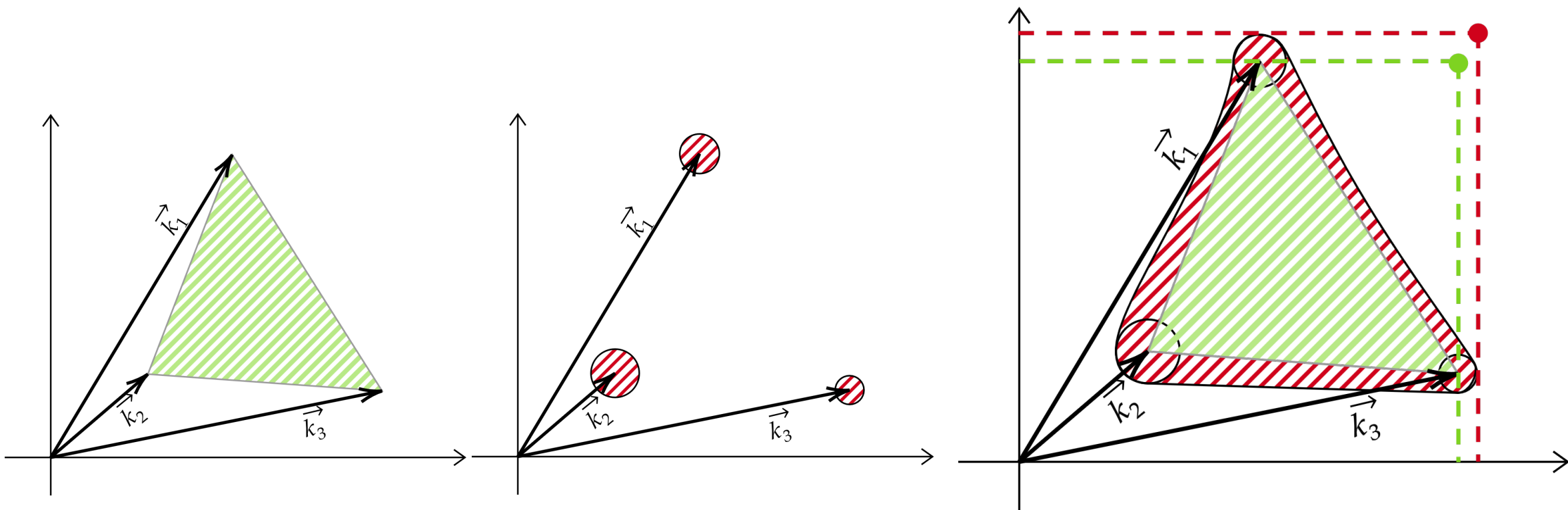
Зависимость числа возможных профилей плотности от величины χ^2



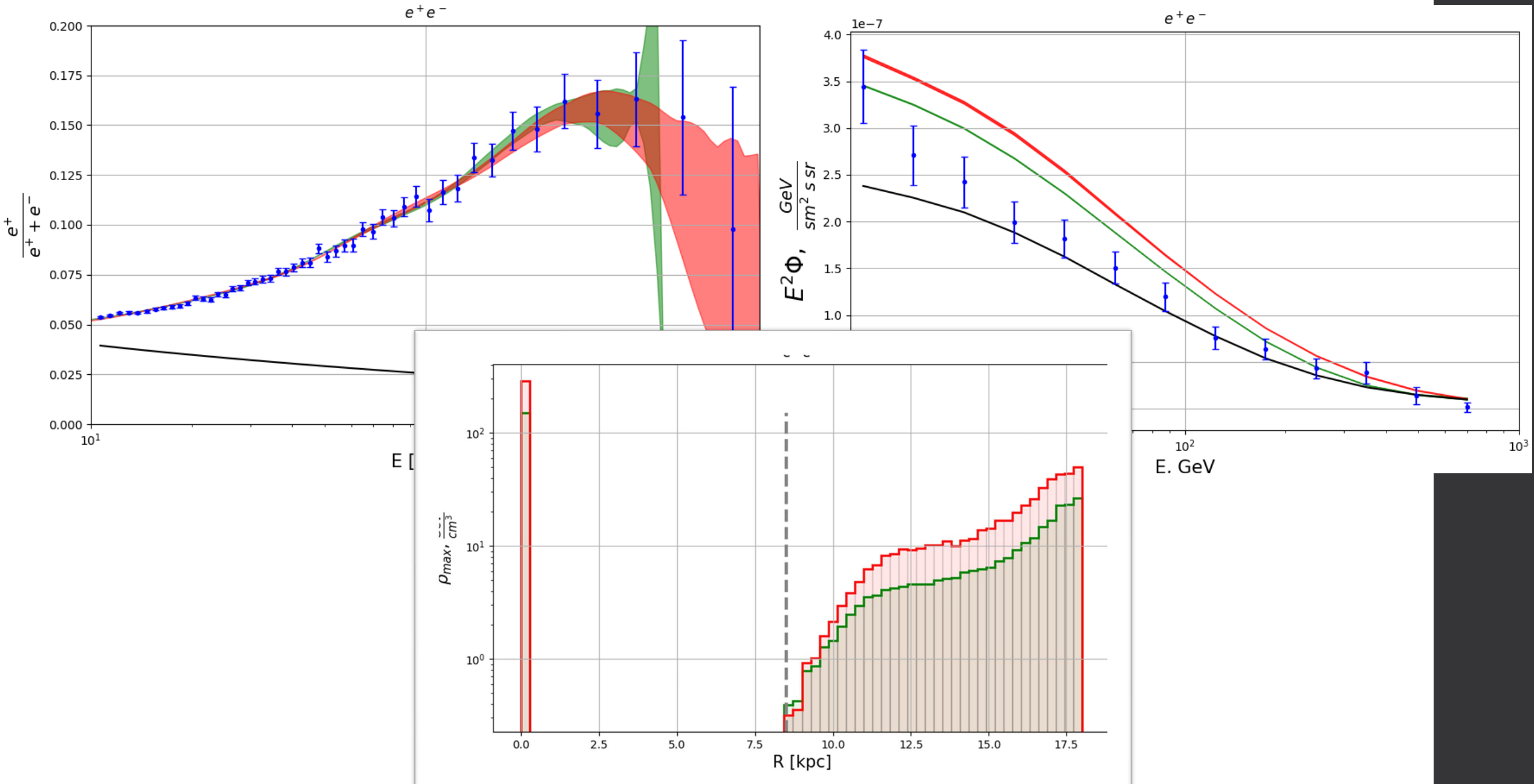
Доп.



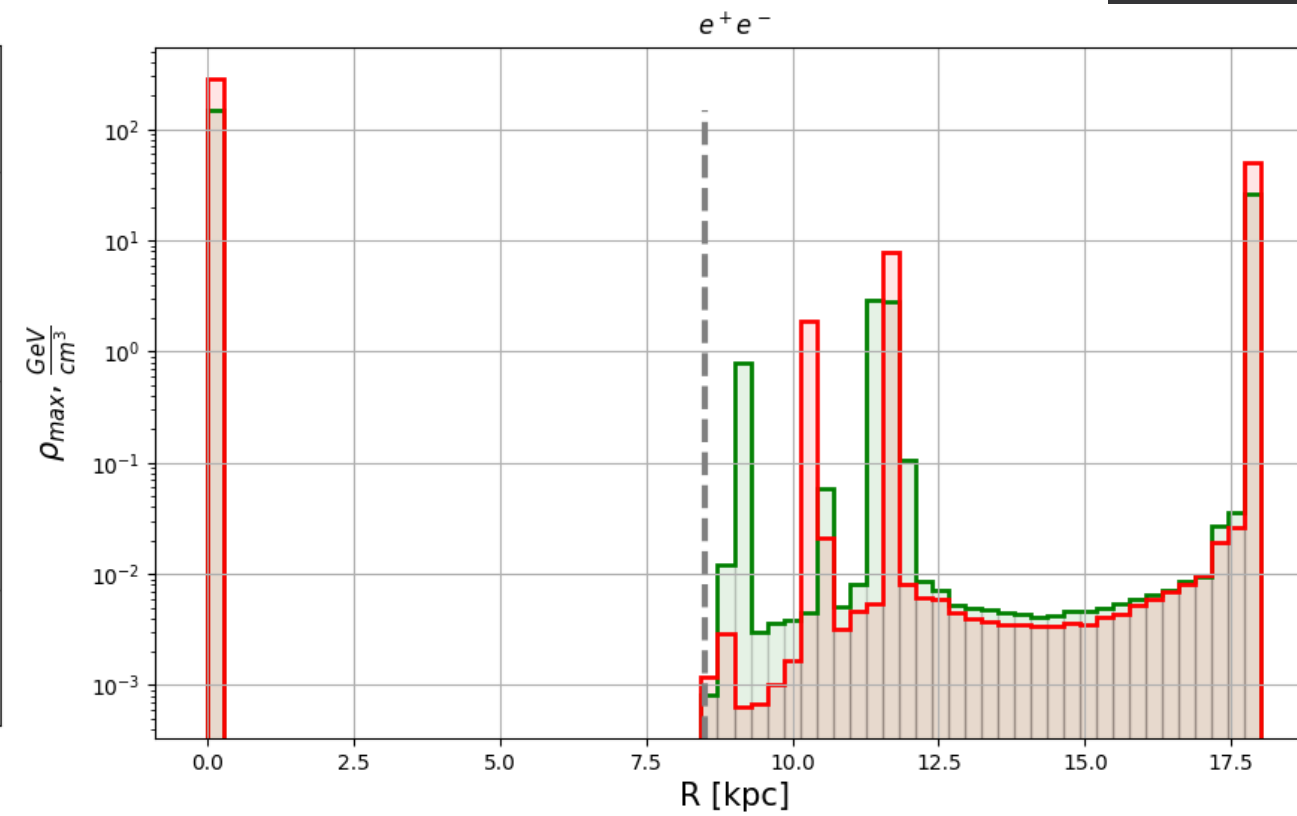
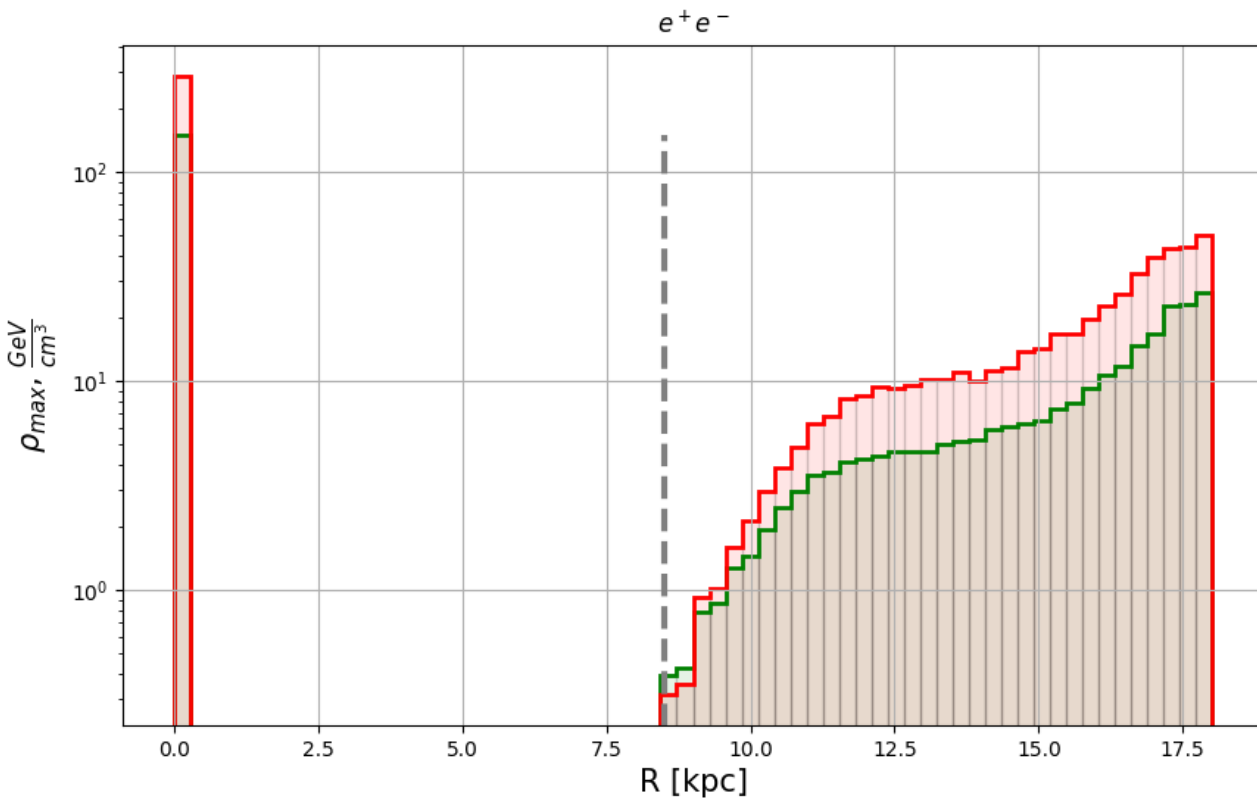
Доп.



Плоский центрально-симметричный профиль

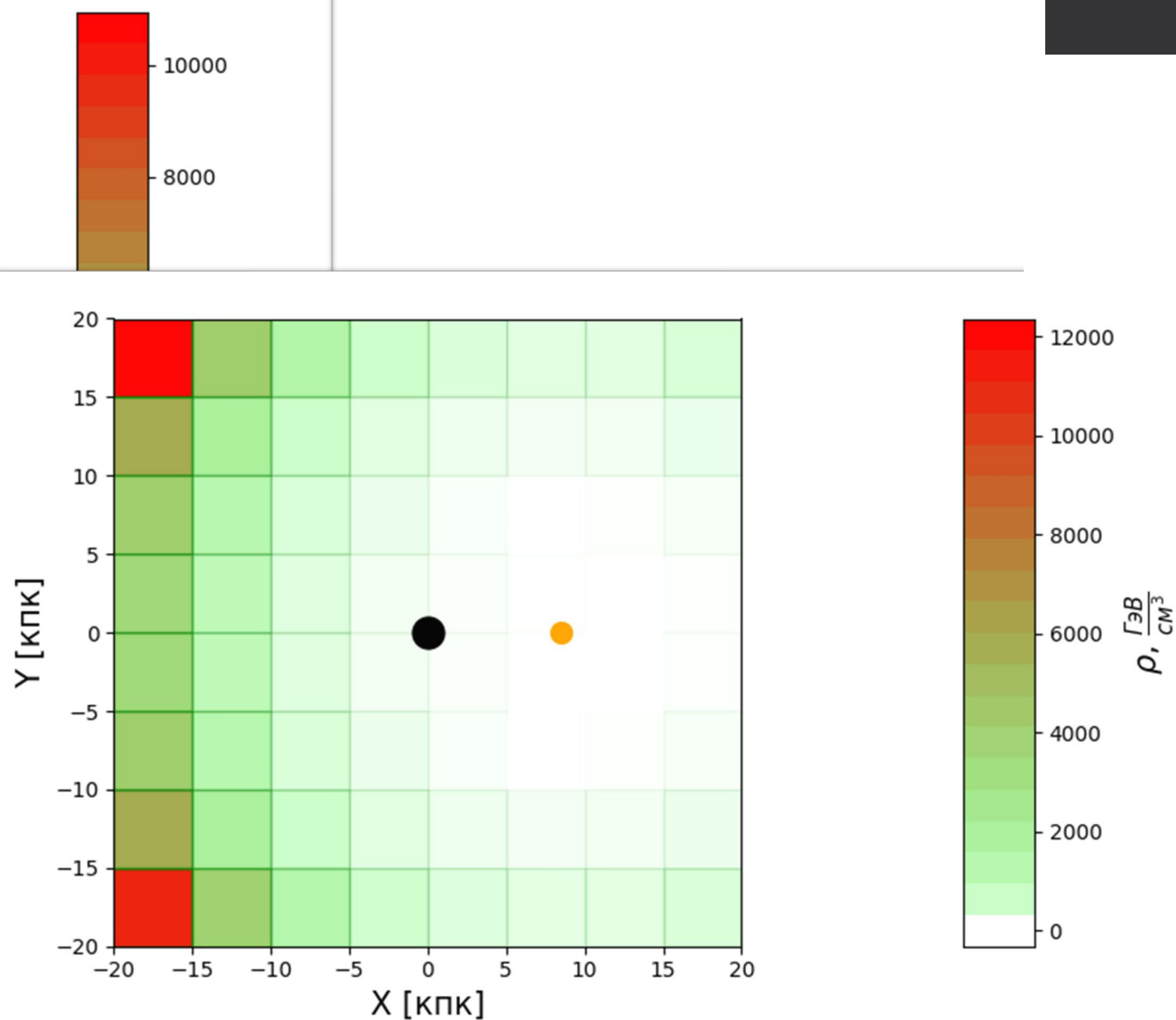
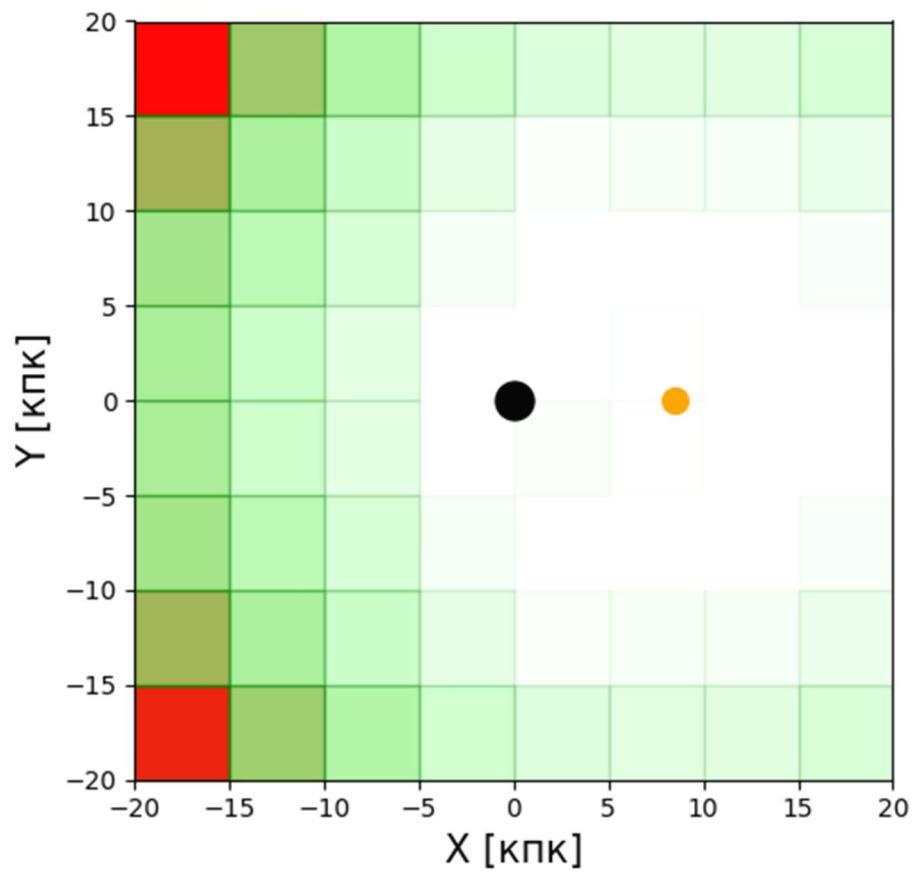


Плоский центрально-симметричный профиль

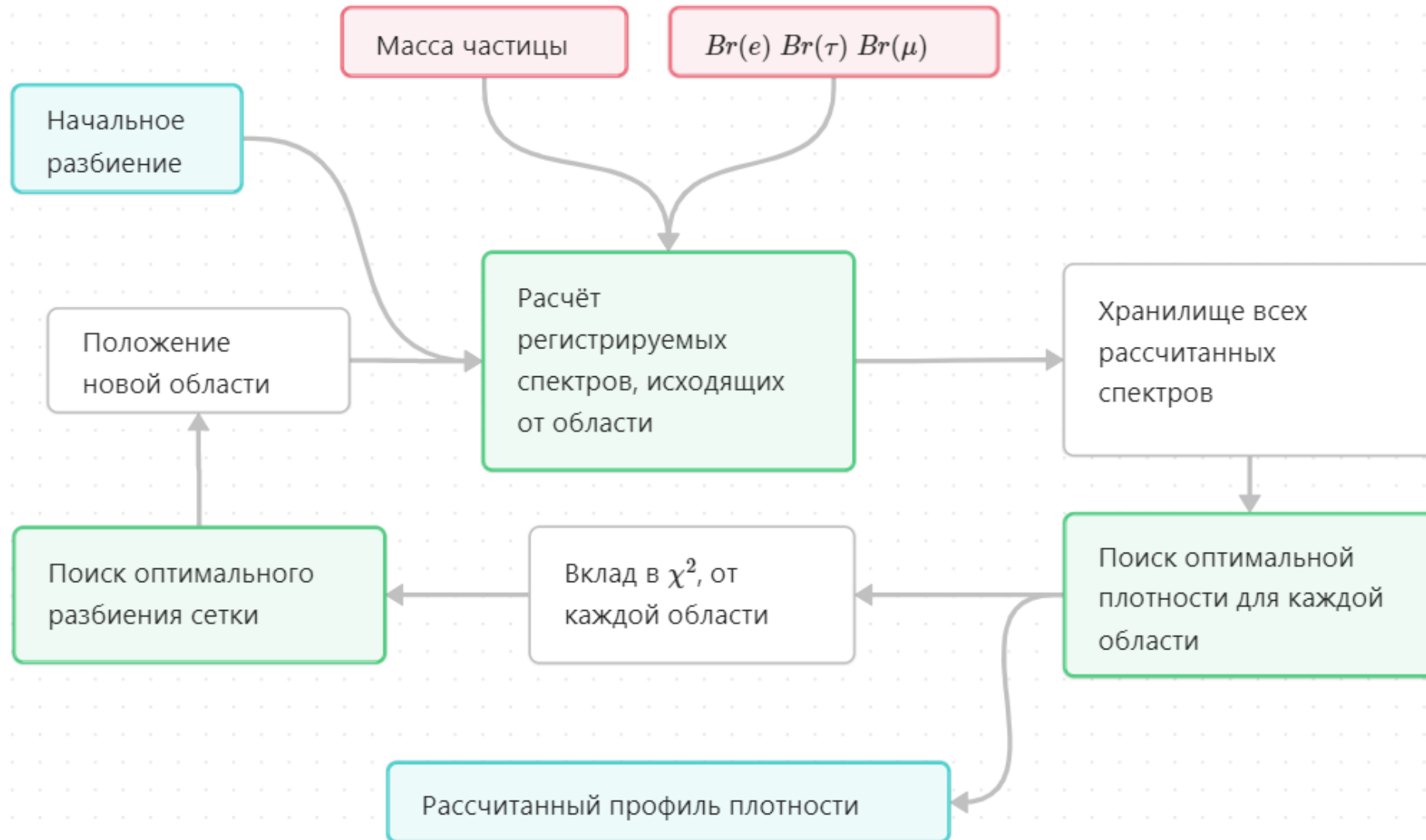


Оценка сверху на плотность источников

10



Доп.



Доп.

$$X\bar{X} \rightarrow e^+e^-$$

$$X\bar{X} \rightarrow \tau^+\tau^-$$

$$X\bar{X} \rightarrow \mu^+\mu^-$$

$$\Phi = \frac{dN}{dE} \frac{\langle \sigma v \rangle}{4} \frac{1}{\Delta \Omega} \int \frac{1}{4\pi r^2} \frac{\rho^2}{M^2} dV$$

$$\Phi = \underbrace{\frac{dN}{dE}} \underbrace{\frac{\langle \sigma v \rangle}{4} \frac{1}{\Delta \Omega} \frac{1}{4\pi M^2}} \underbrace{\int \frac{\rho^2}{r^2} dV}$$

$$\frac{dN}{dE} = \left(\frac{dN}{dE}\right)_e Br_e + \left(\frac{dN}{dE}\right)_\tau Br_\tau + \left(\frac{dN}{dE}\right)_\mu Br_\mu$$

$$||A\vec{k}-\vec{b}||\rightarrow min,$$

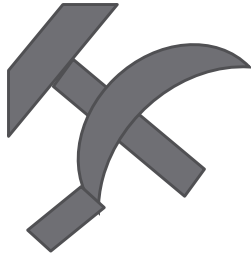
$$\chi^2 = \sum_{datapoints} \frac{\Delta \Phi_{e^+}^2}{\sigma_e^2} + \sum_{datapoints} \frac{\Delta \Phi_{\gamma}^2}{\sigma_{\gamma}^2} \rightarrow min$$

$$\chi^2_{\theta} = \sum_{datapoints} \frac{\Delta \Phi_{e^+}^2}{\sigma_e^2} + \sum_{datapoints} \frac{\Delta \Phi_{\gamma}^2}{\sigma_{\gamma}^2} \theta(\Delta \Phi_{\gamma})$$

$$\vec{\Phi} = \begin{bmatrix} \vec{f}_1, \vec{f}_2, \vec{f}_3 \dots \vec{f}_N \end{bmatrix} \begin{bmatrix} k_{11}, k_{21}, k_{31} \dots k_{M1} \\ k_{12}, k_{22}, k_{32} \dots k_{M2} \\ k_{13}, k_{23}, k_{33} \dots k_{M3} \\ \vdots \\ k_{1N}, k_{2N}, k_{3N} \dots k_{MN} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \alpha_1 \\ \alpha_2 \\ \alpha_3 \\ \vdots \\ \alpha_M \end{bmatrix}$$

Возможные условия на конкретный профиль

$$\begin{cases} \min t \\ K\vec{\alpha} \leq It \\ \sum \alpha_i = 1 \\ \alpha_i \geq 1, t \geq 0 \end{cases}$$



$$K' = \left[\frac{\phi_1}{\Omega_1}, \frac{\phi_2}{\Omega_2}, \frac{\phi_3}{\Omega_3} \cdots \frac{\phi_N}{\Omega_N} \right] K$$

