



Первичные черные дыры как источники гамма-излучения

Васильева Е.В.

Б22-102

Научный руководитель: Кириллов А.А.

Москва, 2026



Цель:

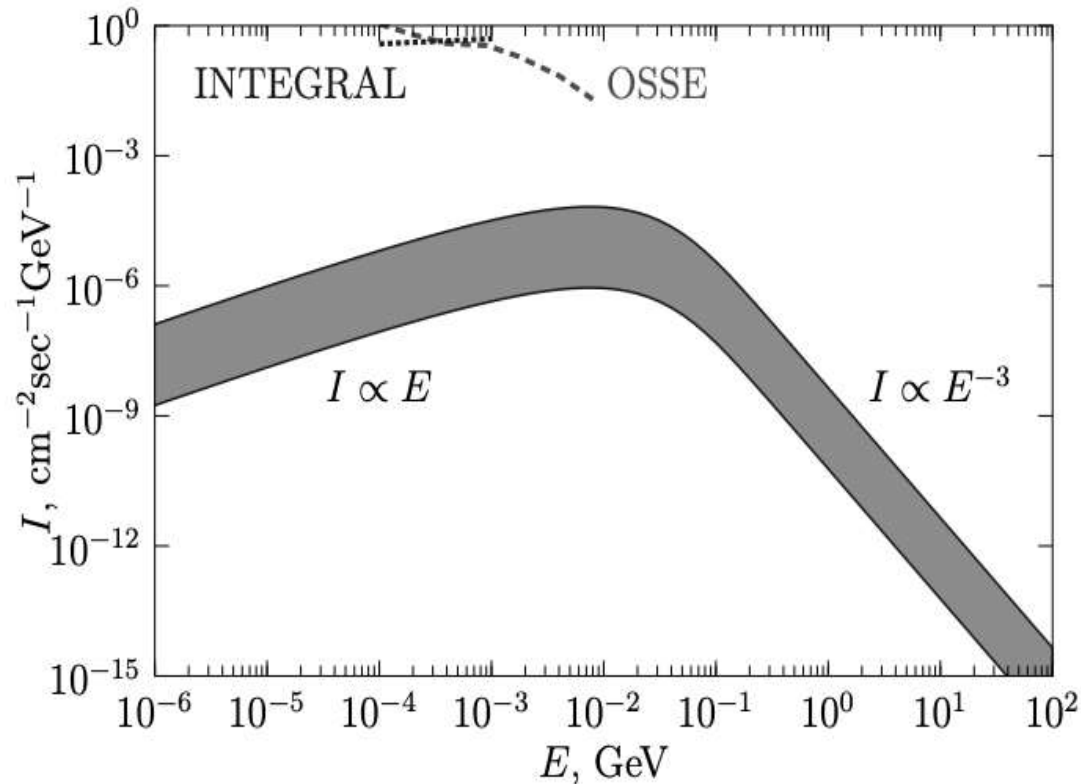
Получение теоретического спектра энергии фотонов, излучаемых кластером первичных черных дыр, а также постановка ограничений на параметры модели.

Актуальность:

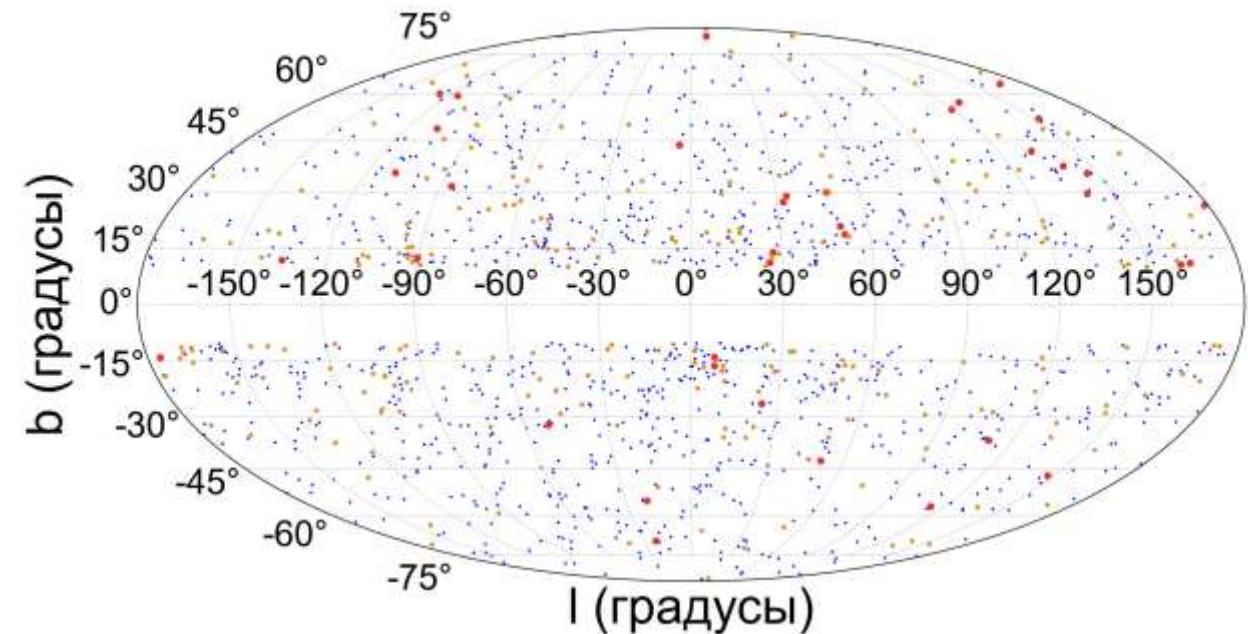
Сравнение теоретического спектра излучения первичных черных дыр с данными гамма-телескопов (Fermi-LAT, EGRET) позволяет получить новые наблюдательные ограничения на параметры модели ПЧД. Полученные результаты важны для понимания природы диффузного гамма-фона и сужения круга возможных кандидатов на роль тёмной материи.

Спектральный индекс излучения фотонов ПЧД

Ожидаемый спектр энергии фотонов от кластеров ПЧД [Belotsky et al., Grav. Cosmol. 20, 47 (2014)]

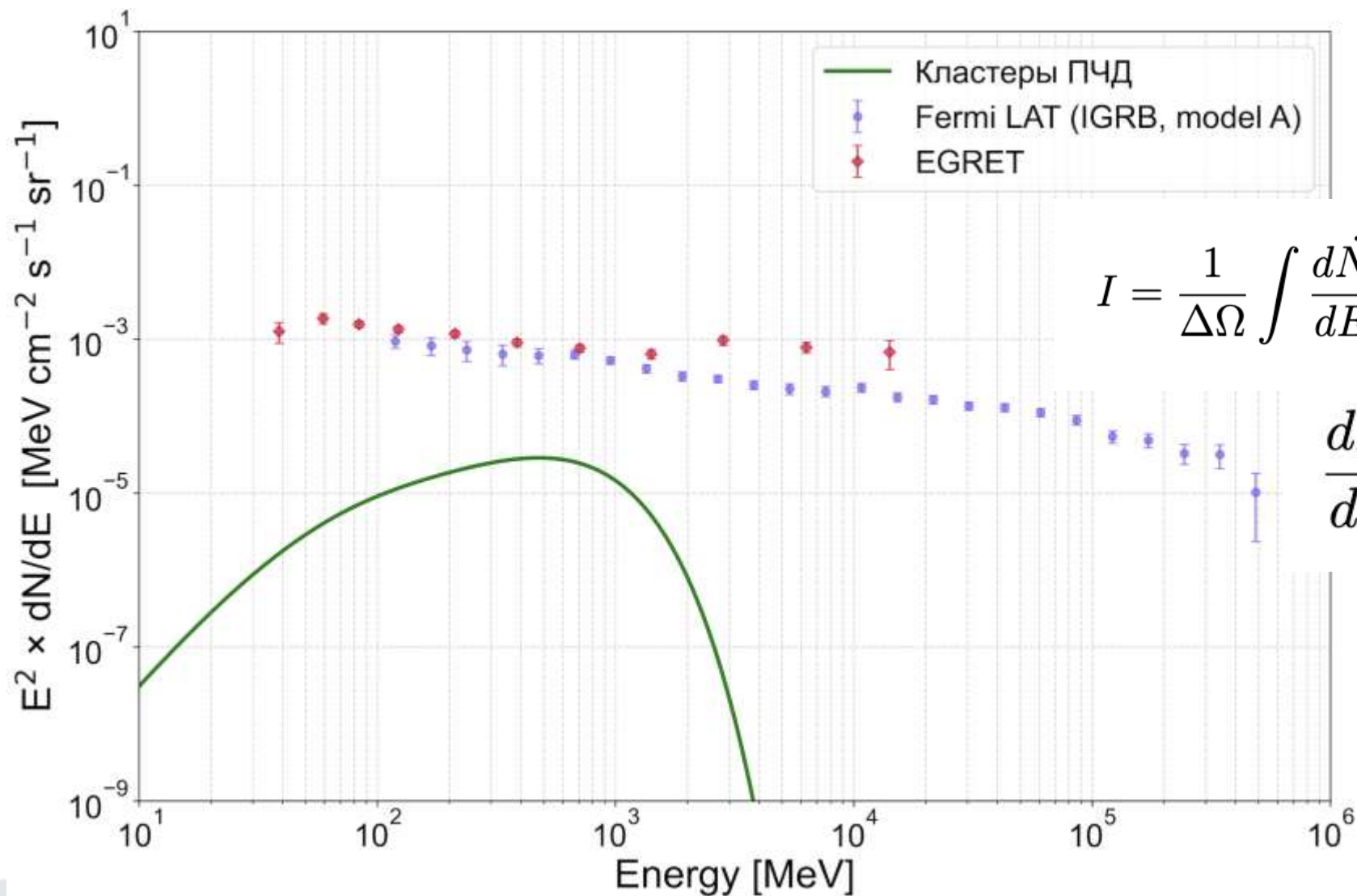


Кандидаты в кластеры ПЧД среди данных Fermi-LAT



Предсказывается малое количество точечных гамма-источников -> остальные должны давать вклад в диффузный гамма-фон

Сравнение полученного спектра с наблюдательными данными



$$I = \frac{1}{\Delta\Omega} \int \frac{d\dot{N}}{dE} \Big|_{cl} n_{cl} r^2 d\Omega dr = \frac{1}{4\pi} \int \frac{d\dot{N}}{dE} \Big|_{cl} n_{cl} dr$$

$$\frac{d\dot{N}}{dE} \Big|_{cl} = \int_{M_{min}}^{M_{max}} \frac{d\dot{N}}{dE} \frac{dN}{dM} dM$$

$$n_{cl} = \frac{3}{4\pi} \frac{N_{cl}}{l_h^3}$$

ПЧД в составе кластеров в момент своего образования имели массовое распределение вида [Belotsky et al., Grav. Cosmol. 20, 47 (2014)]:

$$\frac{dN}{dM} = \frac{N_{bh}}{M_*} \left(\frac{M_*}{M_{in}} \right)^{\alpha}$$

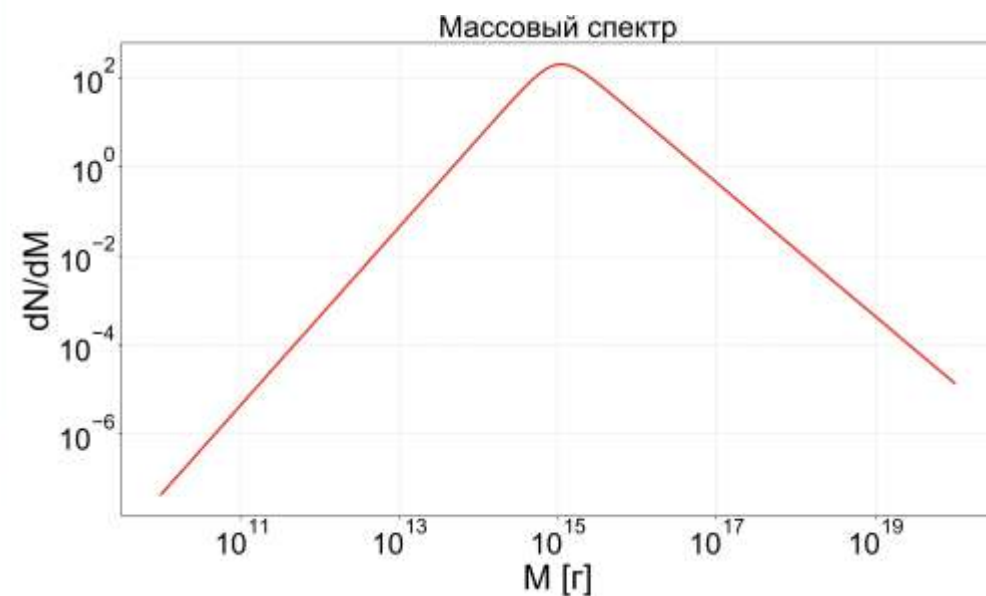
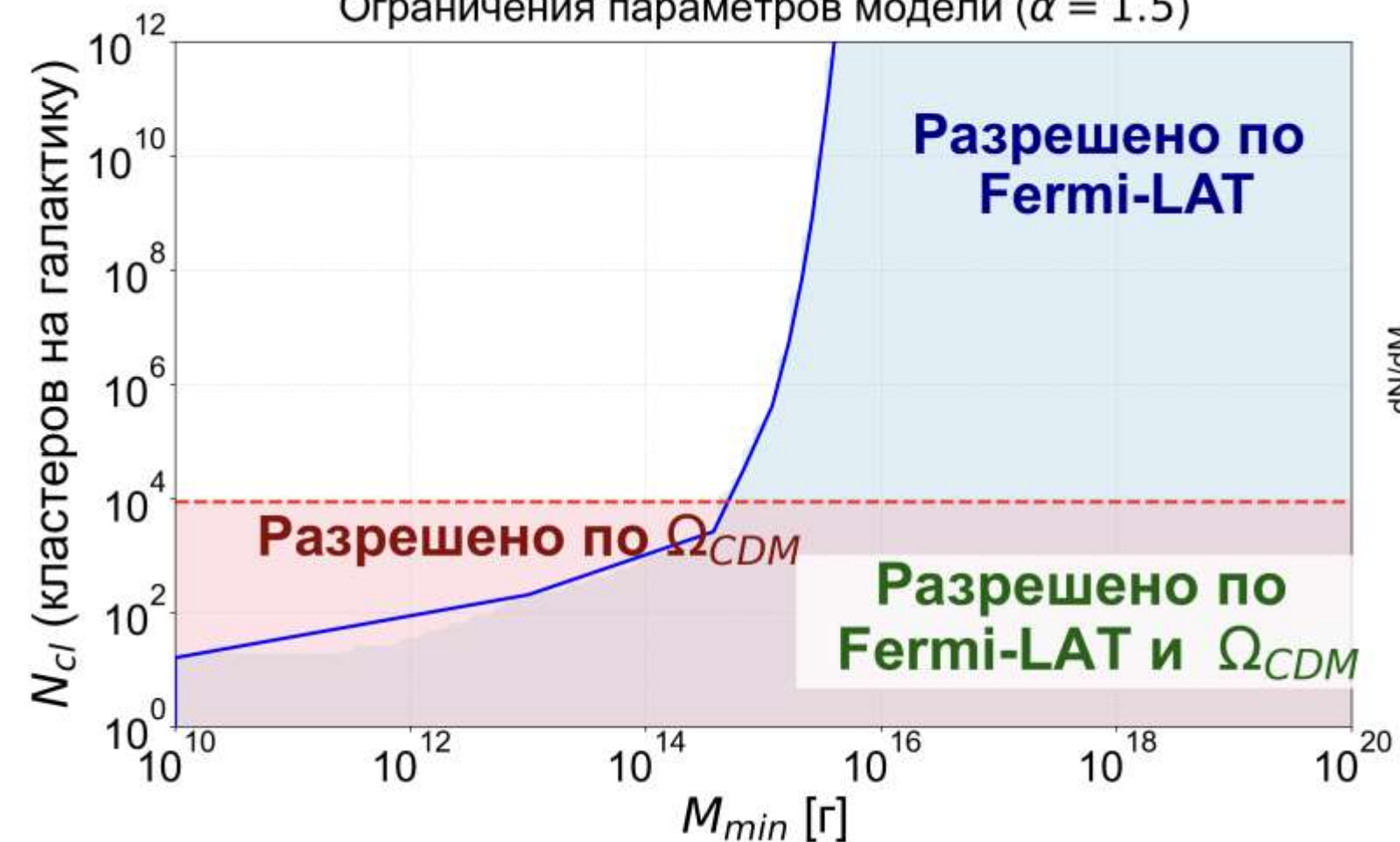
За счет испарения Хокинга

$$\frac{dN}{dM} = \frac{N_{bh}}{M_*} \frac{(M/M_*)^2}{\left(1 + (M/M_*)^3\right)^{2/3 + \alpha/3}}$$

$$M_* = 10^{15} \text{Г.}$$

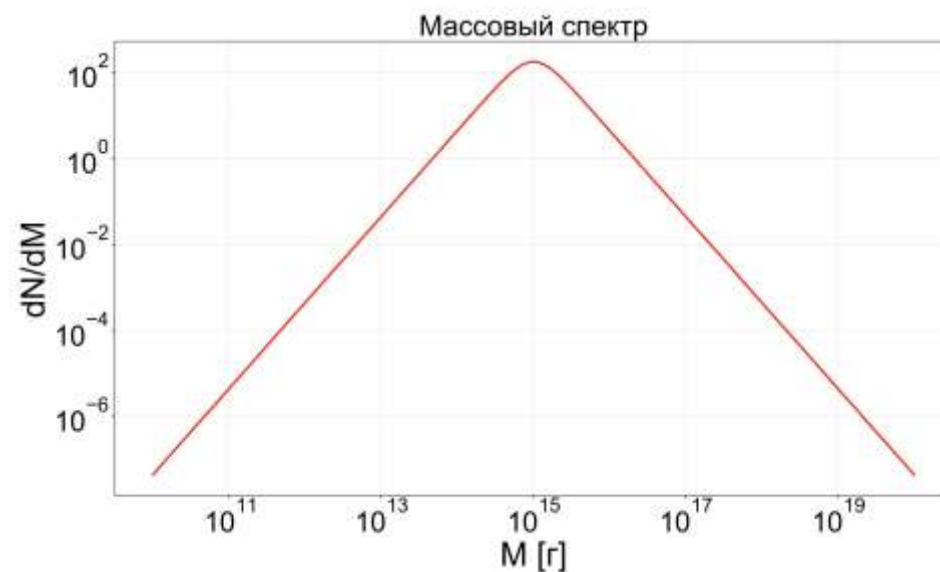
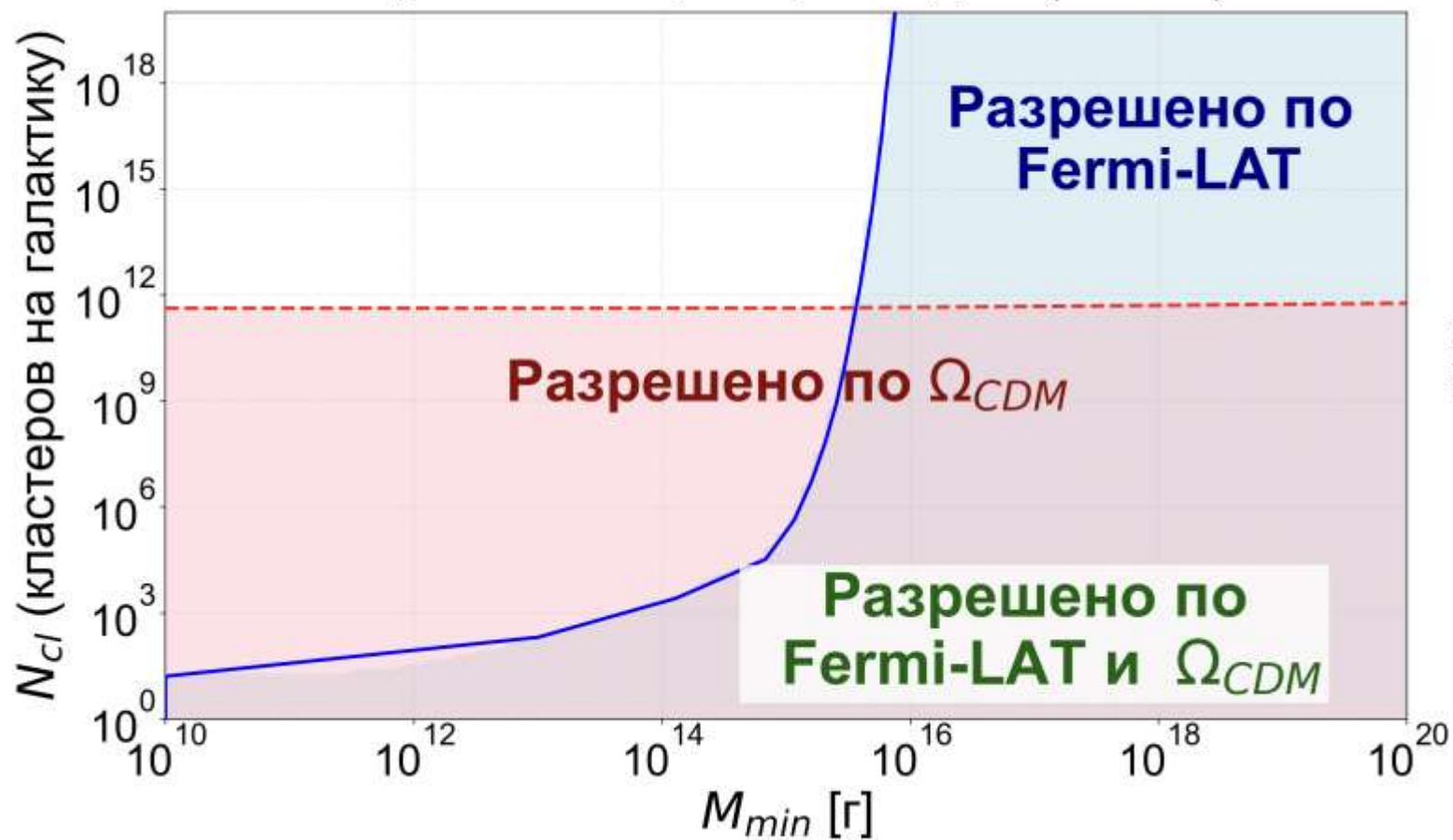
Постановка ограничений на параметры модели

Ограничения параметров модели ($\alpha = 1.5$)



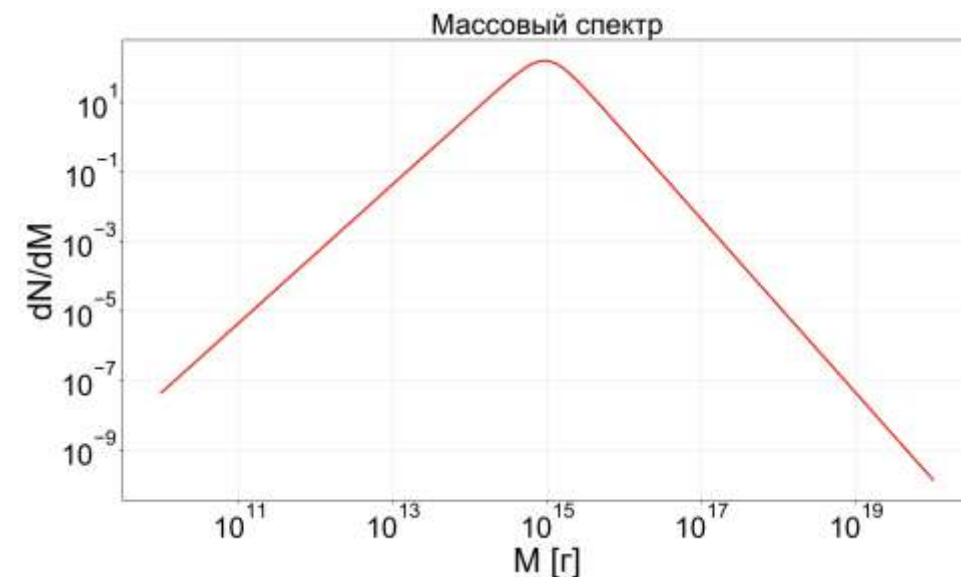
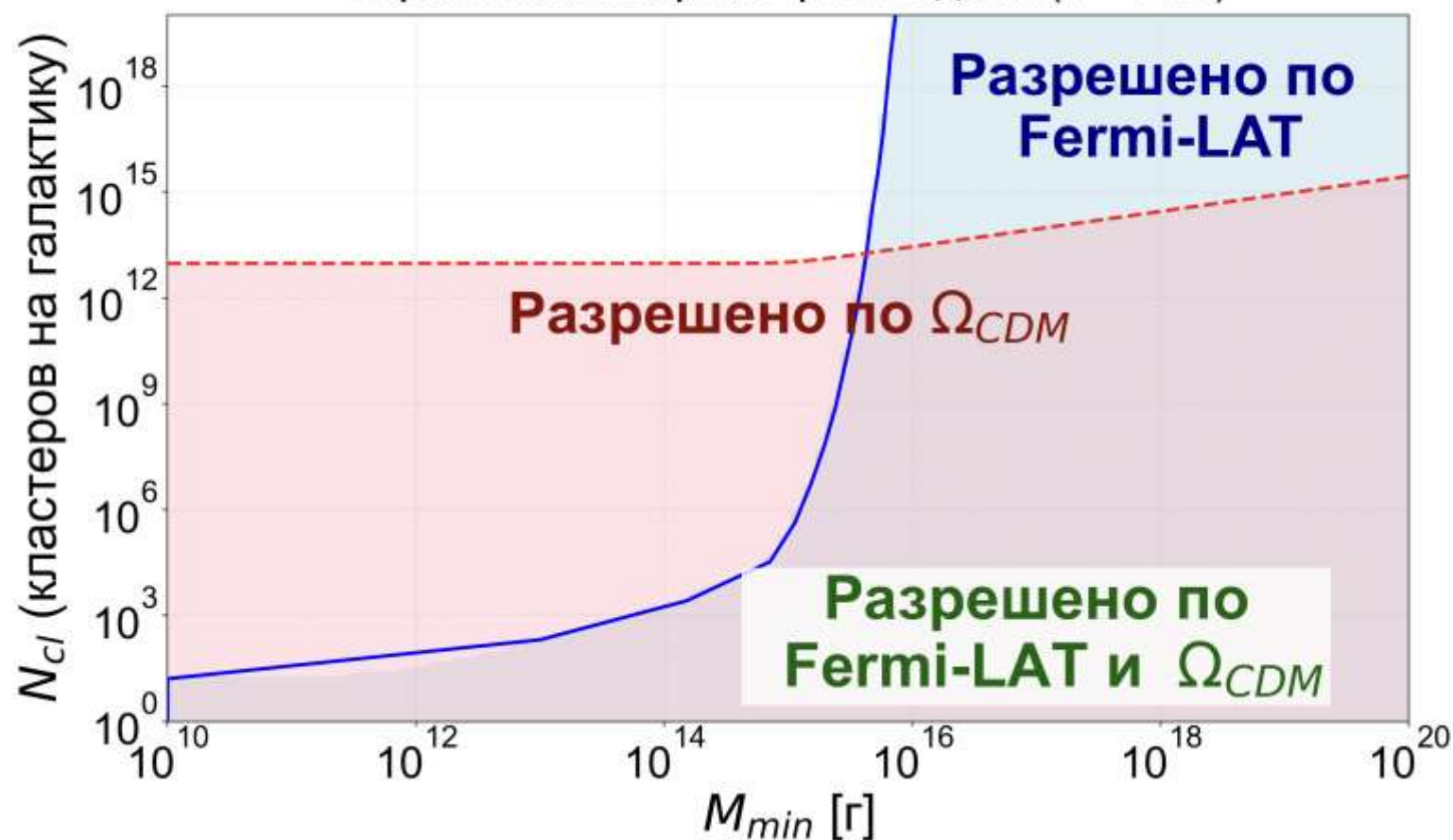
Постановка ограничений на параметры модели

Ограничения параметров модели ($\alpha = 2.0$)

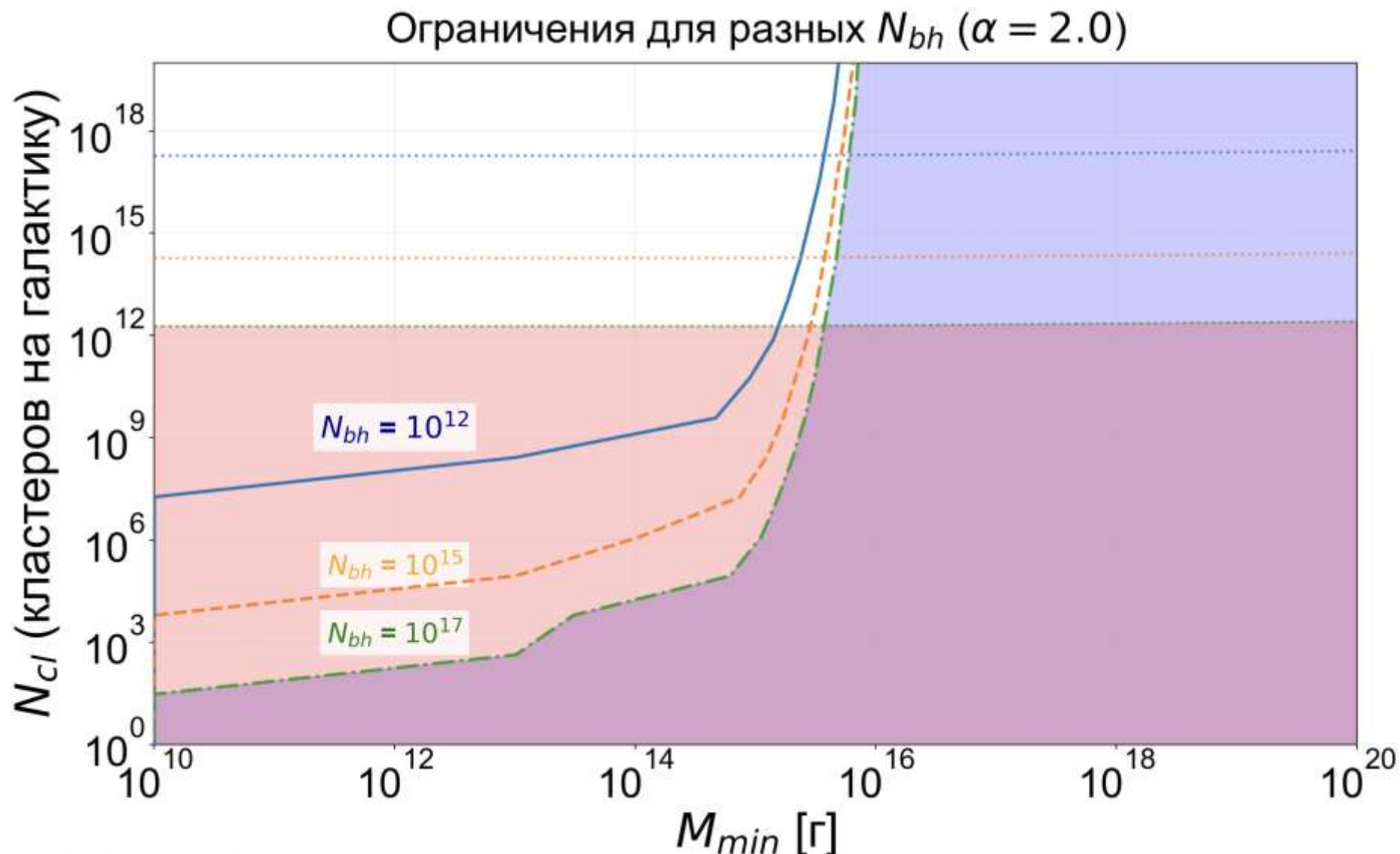


Постановка ограничений на параметры модели

Ограничения параметров модели ($\alpha = 2.5$)

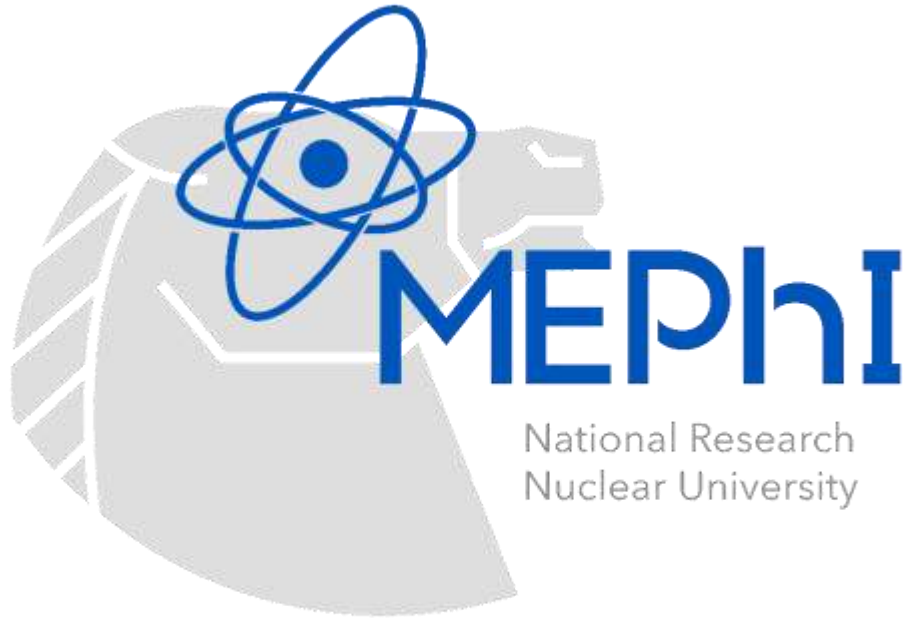


Постановка ограничений на параметры модели



- Получены ограничения на параметры модели по плотности и по вкладу в диффузный гамма-фон.

К диплому планируется учесть возможность предсказания точечных источников в данной модели.

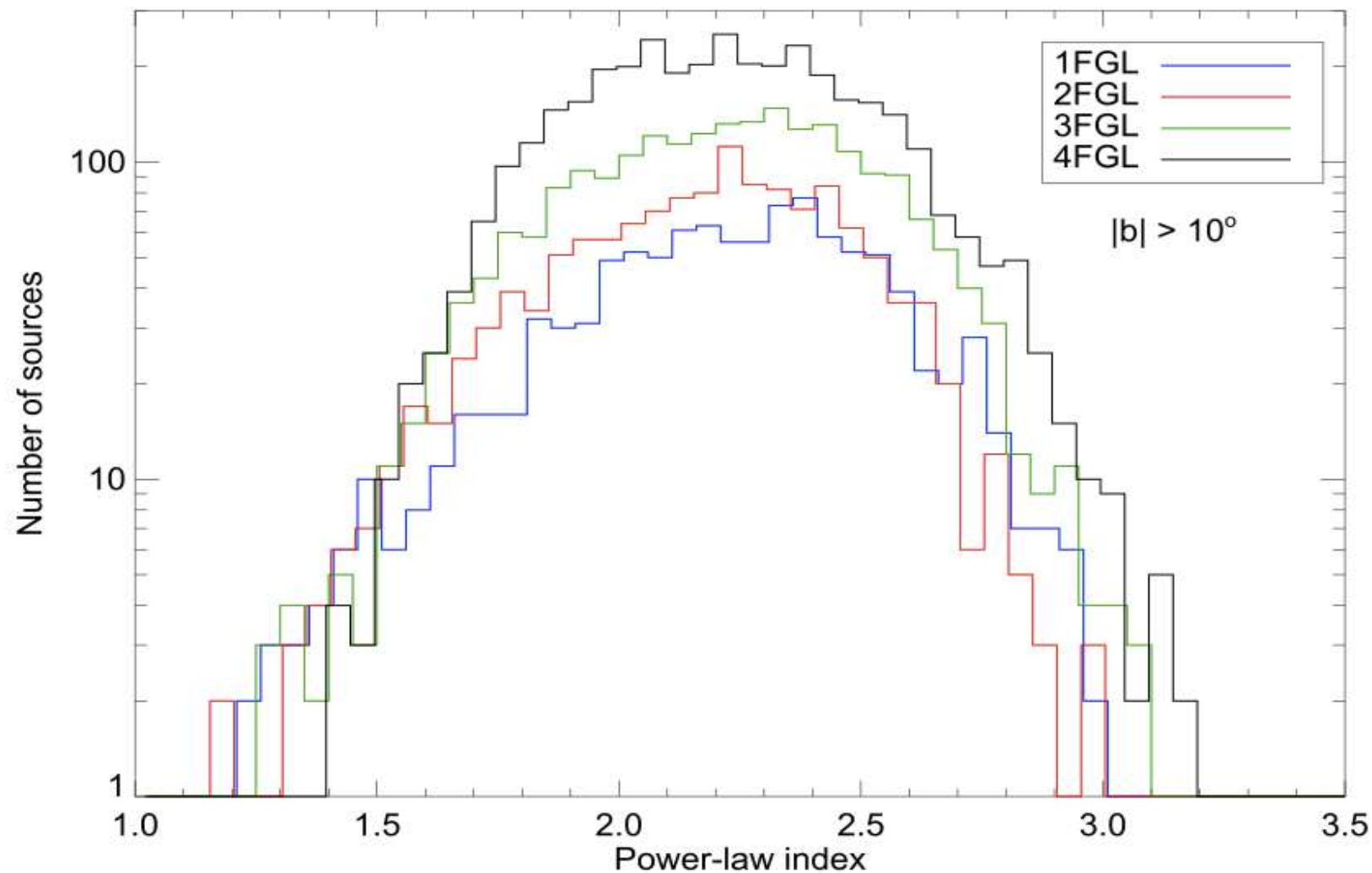


**Спасибо за
внимание!**

Москва, 2026

Распределение спектрального индекса для источников в каталогах Fermi-LAT

Для каталога 4FGL
средний
спектральный
индекс источников
 $\Gamma_{4FGL} = 2.2 \pm 0.3$.



Ограничение на Ω_{bh}

$$\Omega_{bh} = \frac{N_g N_{cl} \bar{M}(M_{min})}{\rho_{cr} V} = \frac{N_{cl} \bar{M}(M_{min})}{M_{halo}} \leq \Omega_{CDM},$$

$$\bar{M}(M_{min}) = \int_{M_{min}}^{10^{33}} M \frac{dN}{dM} dM$$