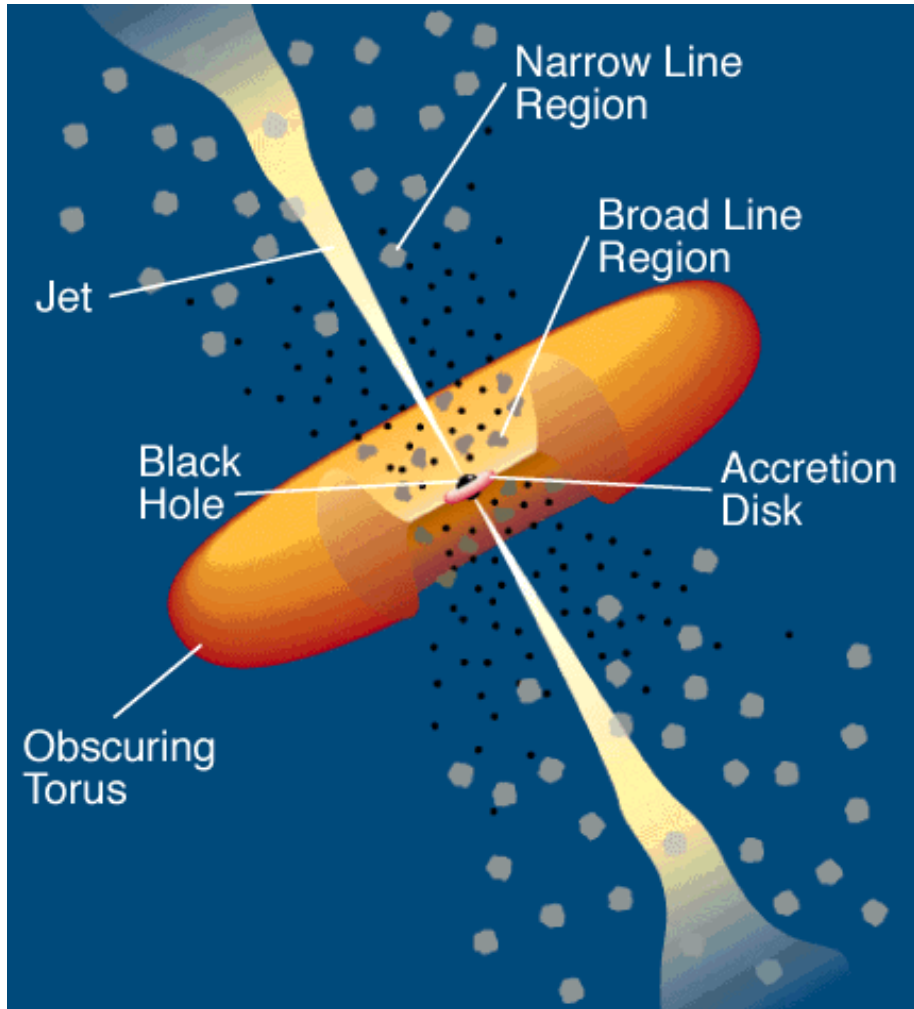


Особенности спектров блазаров в рамках электромагнитной и адронной моделей межгалактического каскада

Т.А. Джатдоев, А.П. Кирчева, А.А. Люкшин, Э.В. Халиков
(НИИЯФ МГУ)

γ -излучение в Метагалактике



Блазары – источники γ -квантов

$$\theta_{jet} \sim 1 - 5^\circ$$

Процессы, определяющие распространение γ -квантов:

1) Образование пары:



2) Обратное комптоновское рассеяние:



Указания на неполноту «модели только поглощения»

1. *Horns, Meyer (2012)*. Для гамма-квантов в области с оптической толщиной $\tau_{\gamma\gamma} > 2$ поглощение меньше ожидаемого
 2. *Neronov et al. (2012)*. Возможное наблюдение каскадной компоненты в спектре переменного источника
 3. *Furniss et al. (2014)*. Объекты с жёстким спектром наблюдаются преимущественно в направлении пустот; уменьшение интенсивности EBЛ в этих направлениях не позволяет объяснить эффект
 4. *Chen et al. (2015)*. Наблюдение гало вокруг некоторых блазаров с помощью телескопа Fermi LAT
- и др.

Электромагнитная и адронная каскадные модели

1. Электромагнитная:

- в источнике рождаются гамма-кванты
- гамма-кванты порождают электромагнитные каскады

2. Адронная:

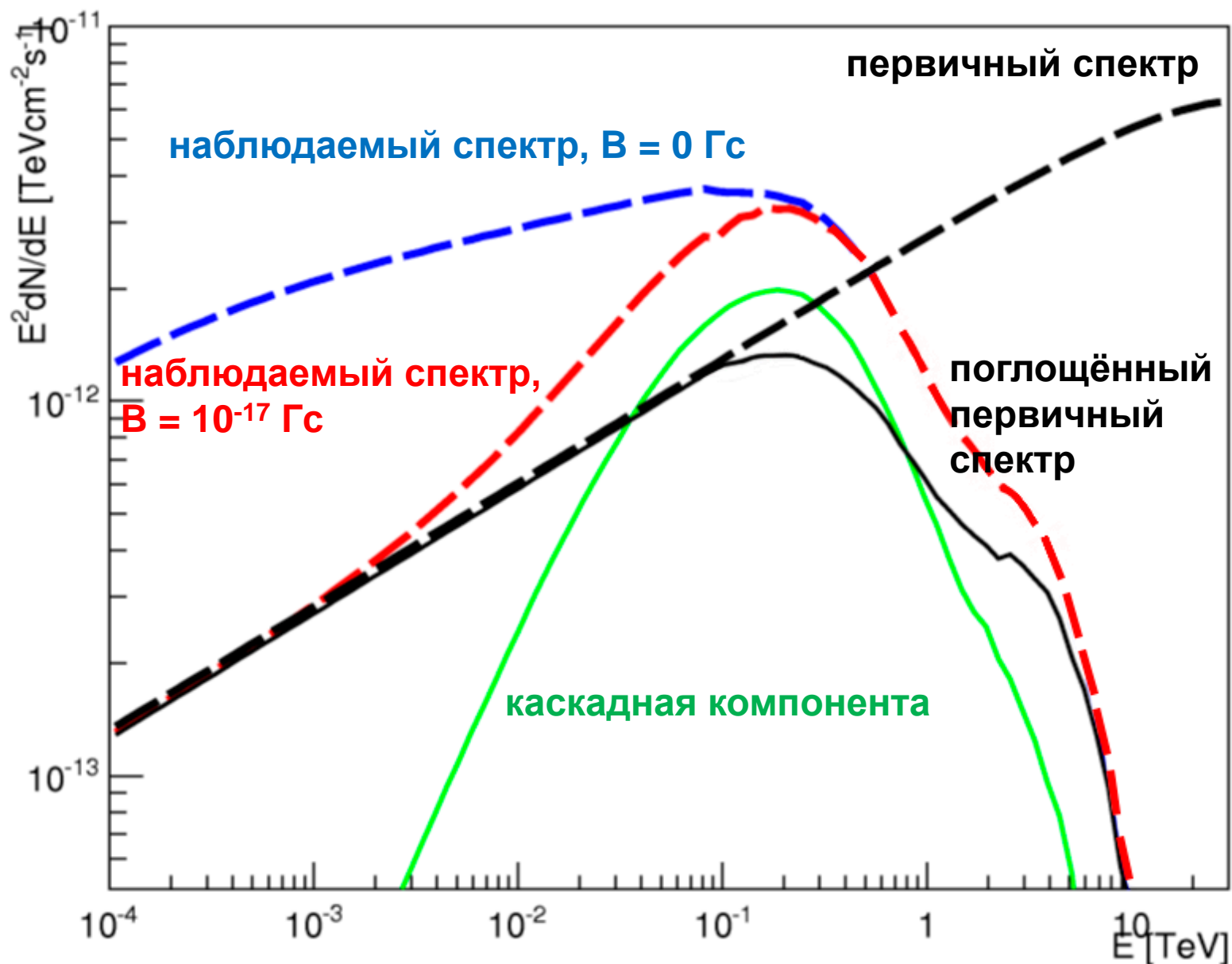
- в источнике ускоряются протоны или ядра до предельно высоких энергий ($E > 1 \text{ ЭэВ}$)
- адроны рождают вторичные гамма-кванты на пути к наблюдателю

W. Essey, A. Kusenko, 2010 APh 33, 81

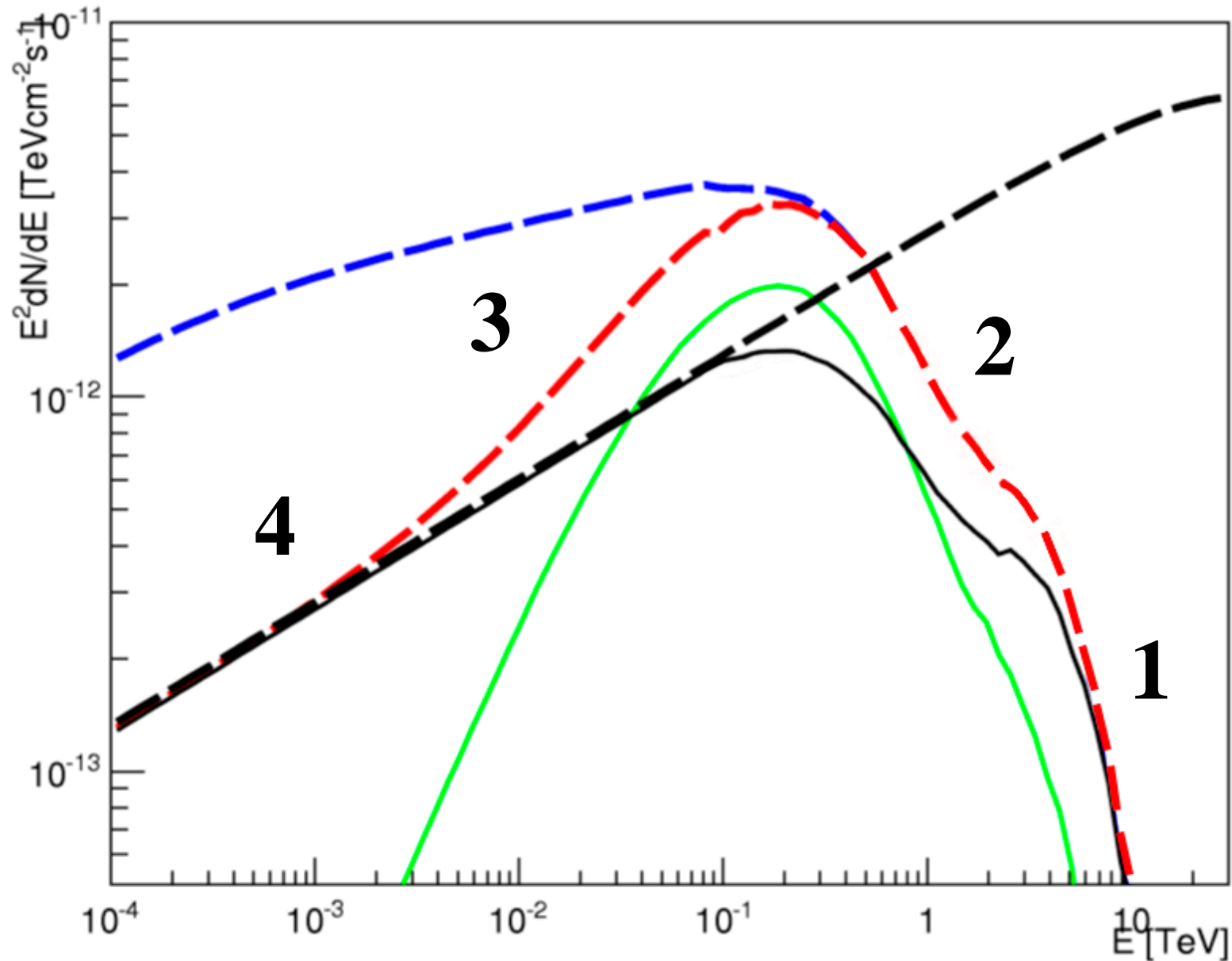
+ модель с аксионоподобными частицами

Электромагнитная модель

объект на $z = 0.14$

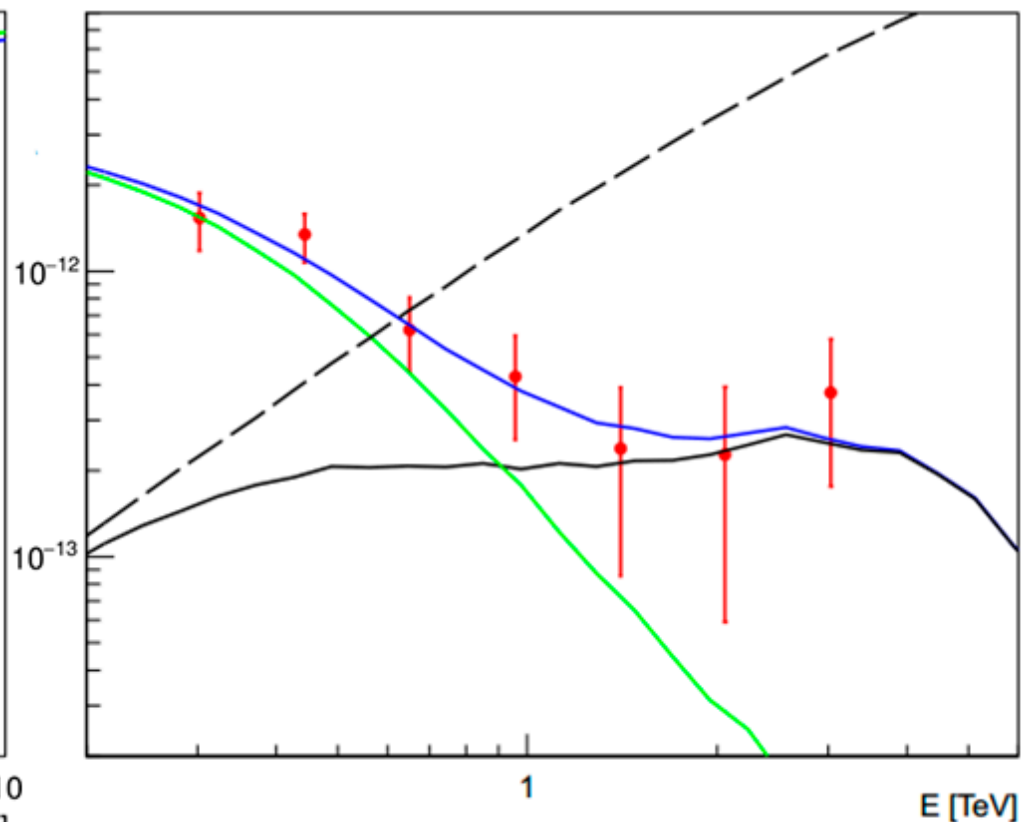
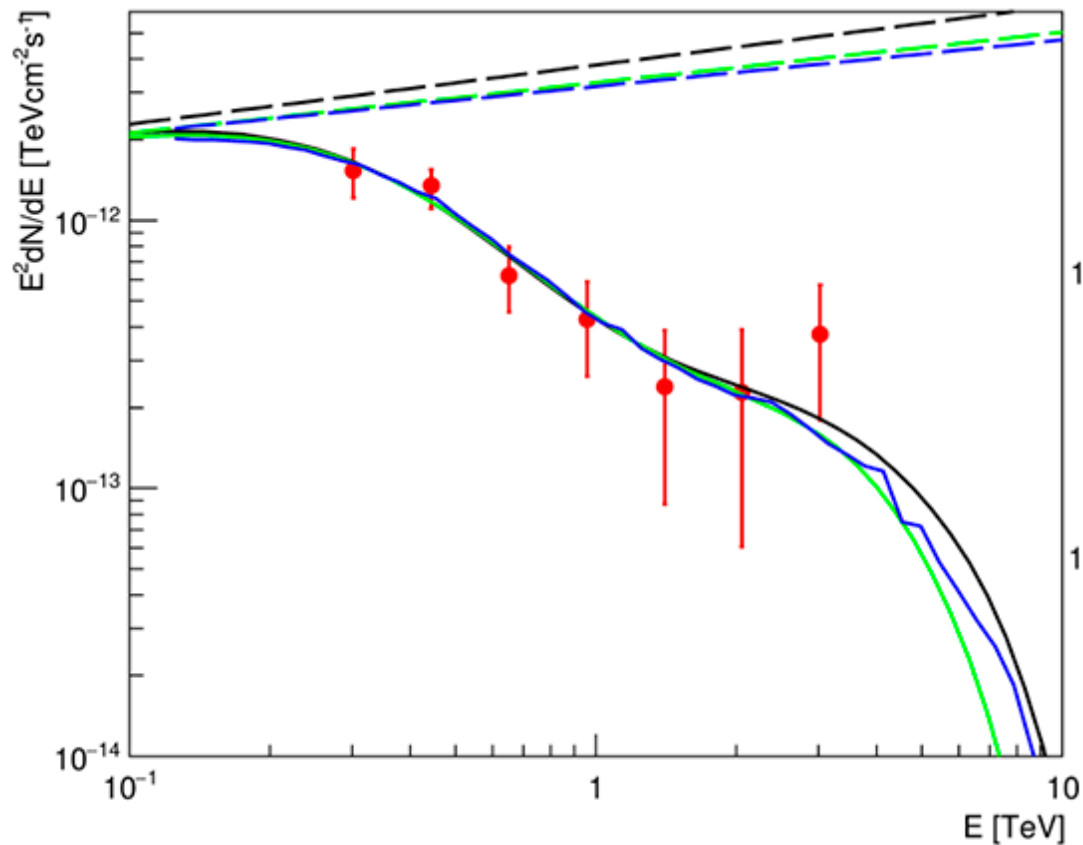


1. обрыв при высоких энергиях;
 2. излом;
 3. «магнитное обрезание»;
 4. второй излом
- максимальное время задержки $t = 3$ года, $B = 10^{-17}$ Гс



Модель только поглощения

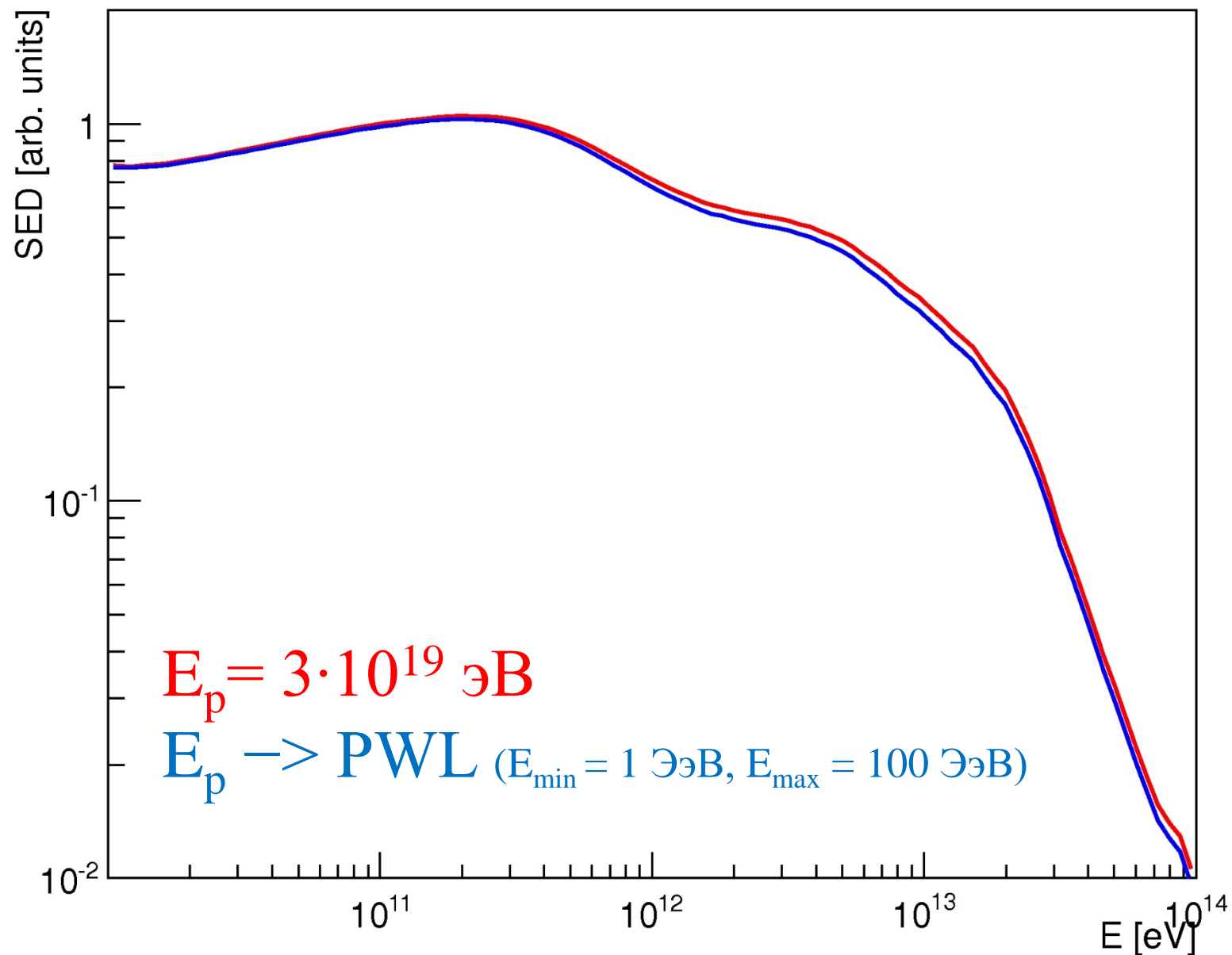
Электромагнитная модель



1ES 0347-121 ($z = 0.188$)

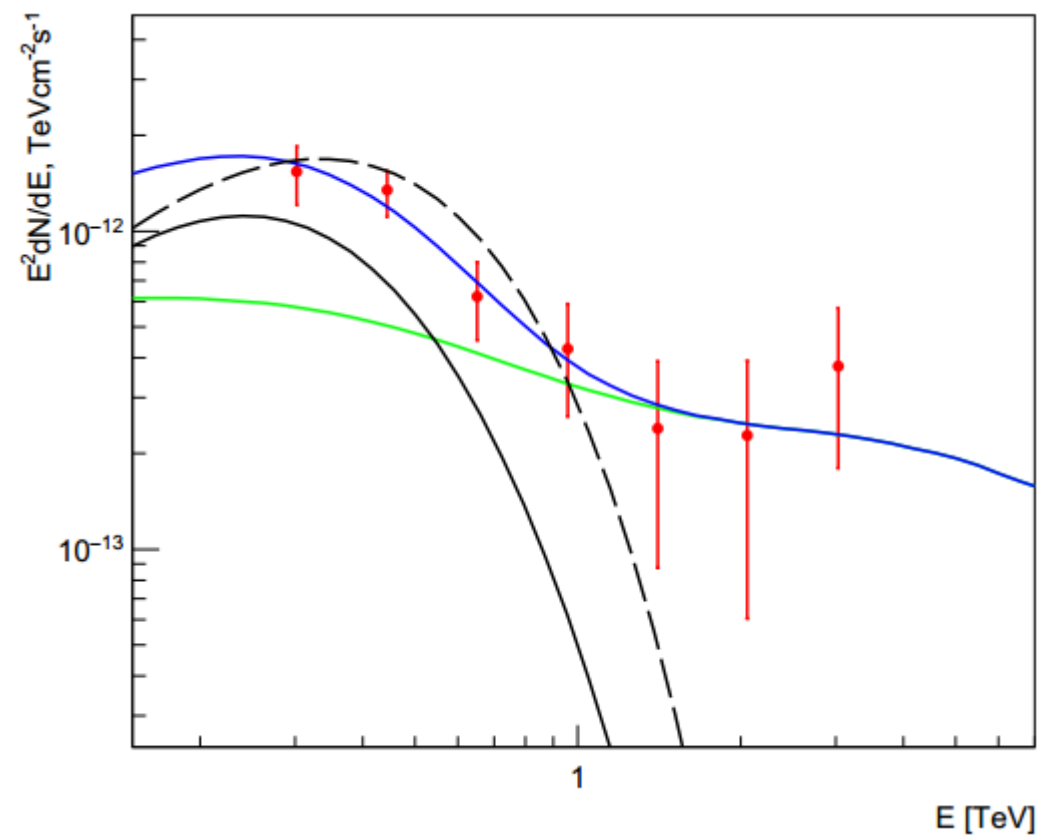
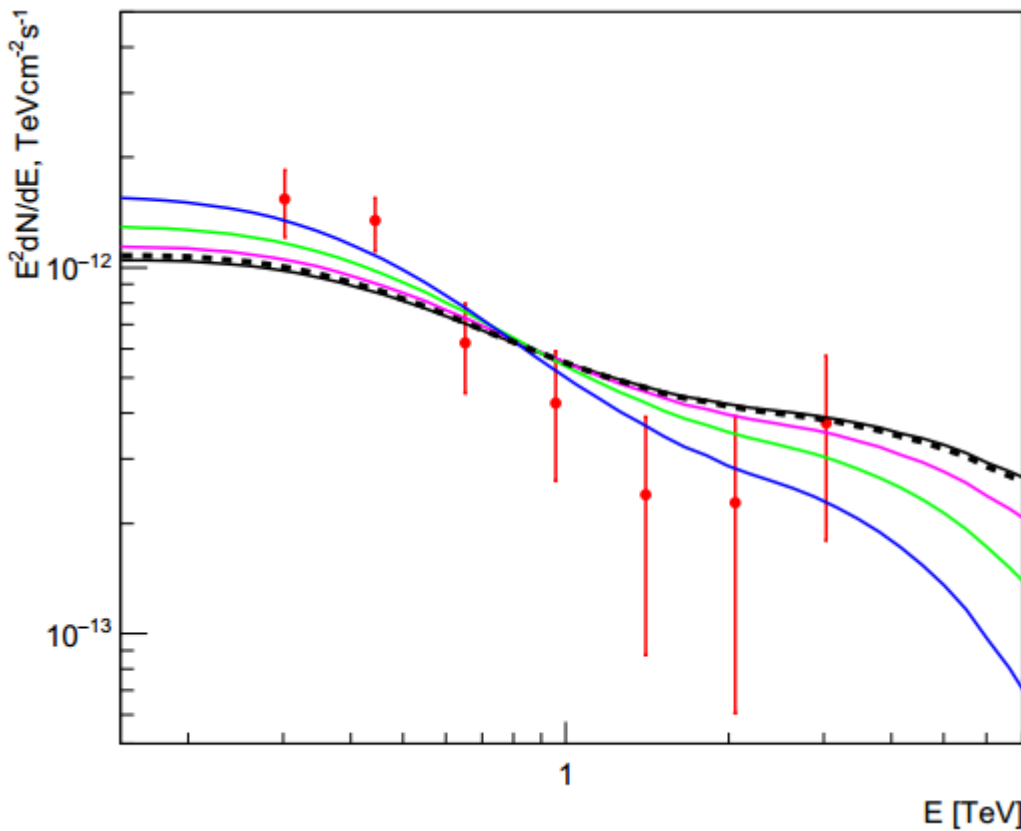
Адронная модель

объект на $z = 0.186$



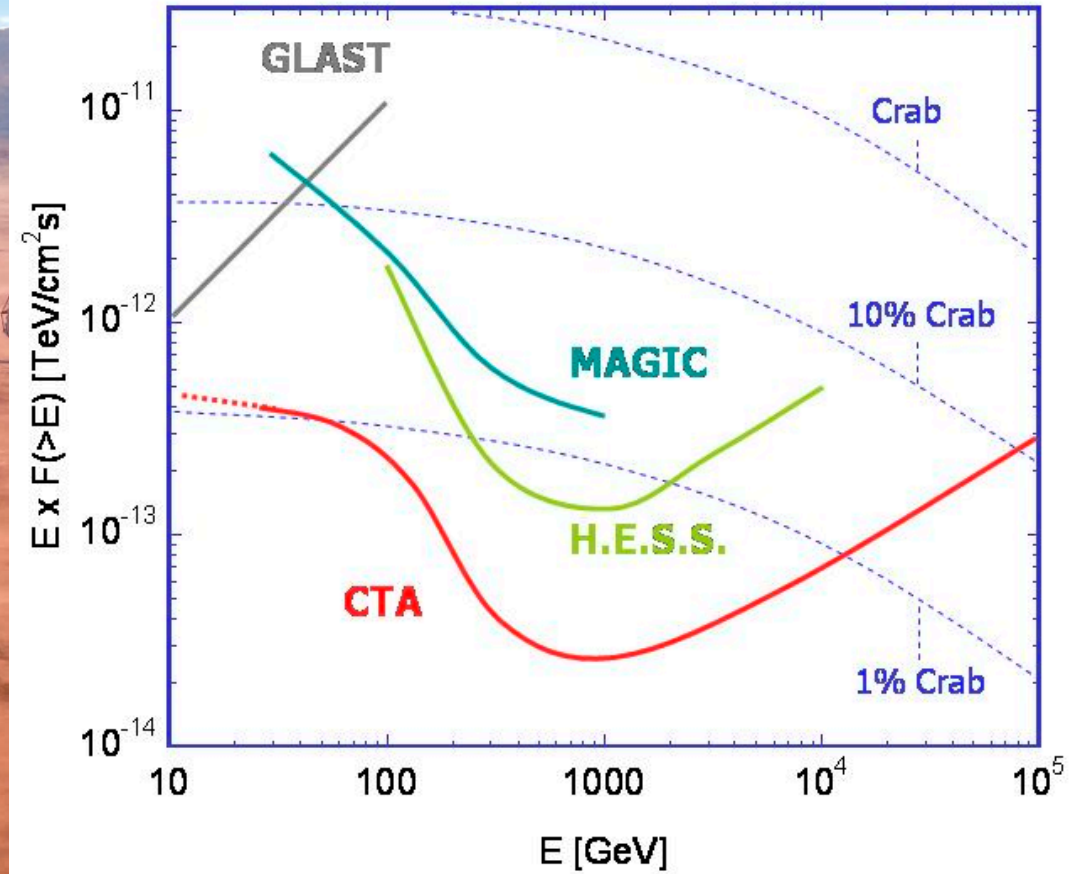
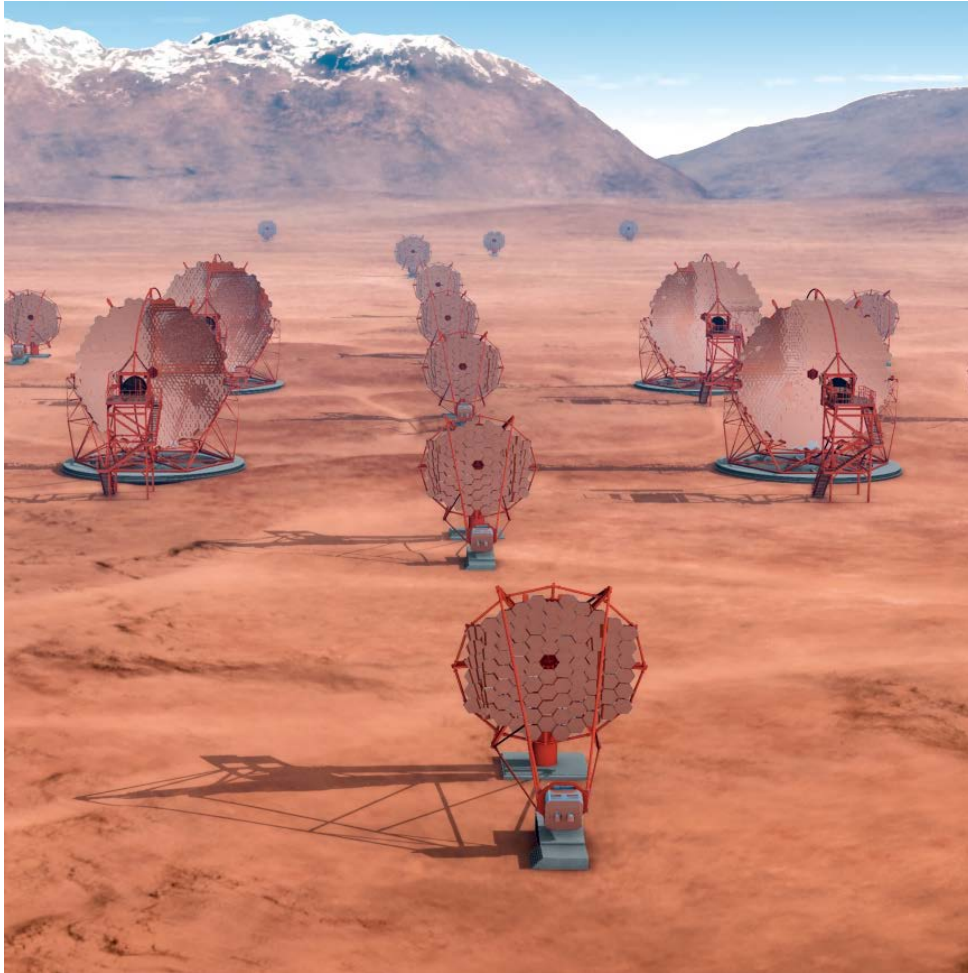
Однокомпонентная адронная модель

Двухкомпонентная адронная модель



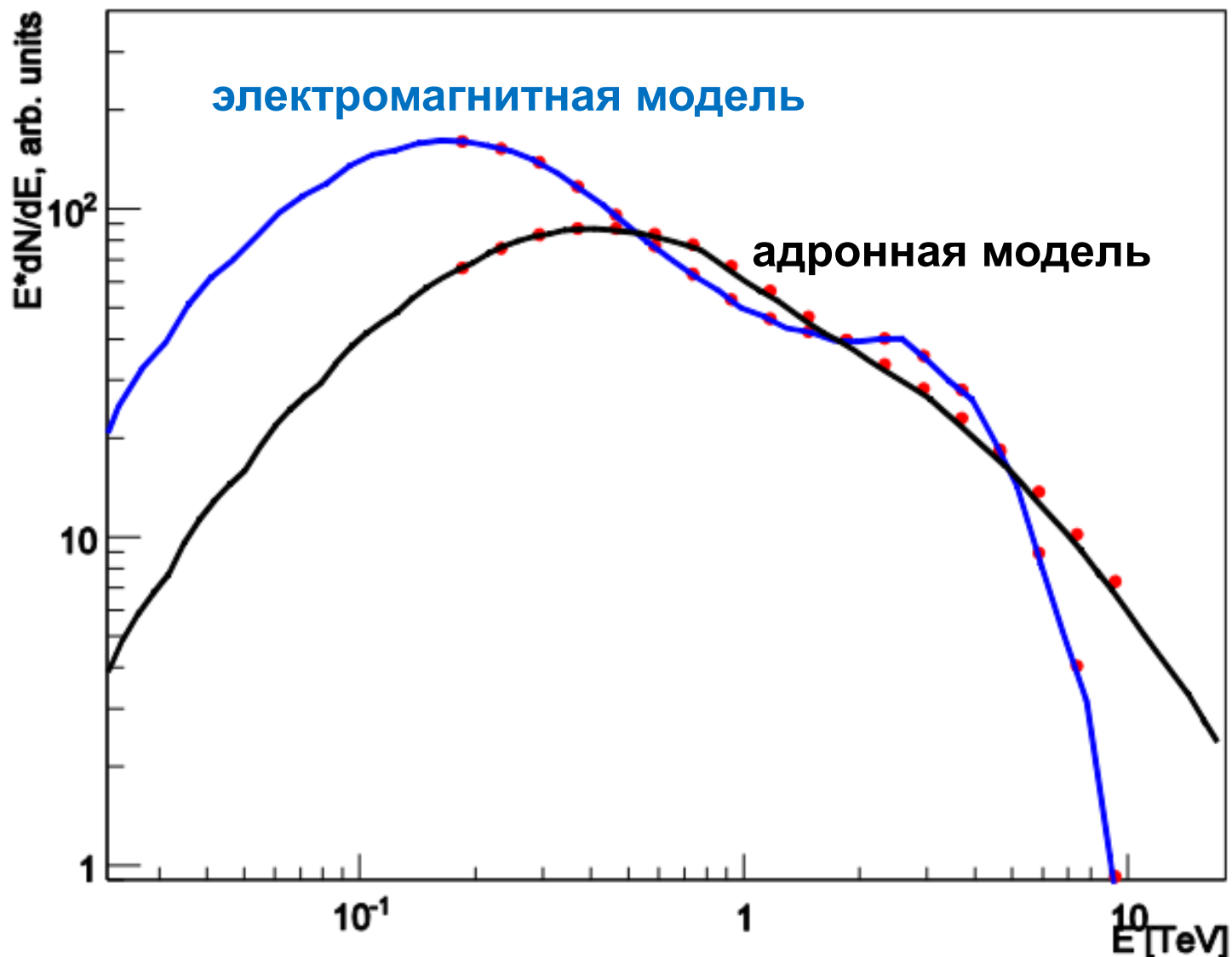
1ES 0347-121 ($z = 0.188$)

Возможности экспериментальных наблюдений



Cherenkov Telescope Array (CTA)

Возможности экспериментальных наблюдений



Сравнение электромагнитной и адронной моделей для случая наблюдений СТА. Экспозиция СТА = $\times 10$ экспозиций HESS 1ES 1101-232 ($z = 0.186$), Aharonian et al., Nature (2006)

Возможности экспериментальных наблюдений

- 1. Обрыв при высоких энергиях** как основной способ различить электромагнитную и адронную модели.
Статистическая значимость 2.7σ для СТА.
- 2. «Магнитное обрезание»**
 - Погрешность измерения формы спектра в диапазоне 10-100 ГэВ в самых ярких объектах ~ 0.15
 - Разница γ в различных моделях до 0.5
 - => *возможность наблюдения магнитного обрезания*

Те особенности могут наблюдаться современными гамма-телескопами или детекторами следующего поколения при γ от 1 до 1.5 и достаточно большого E_s (>10 ТэВ).

Выводы

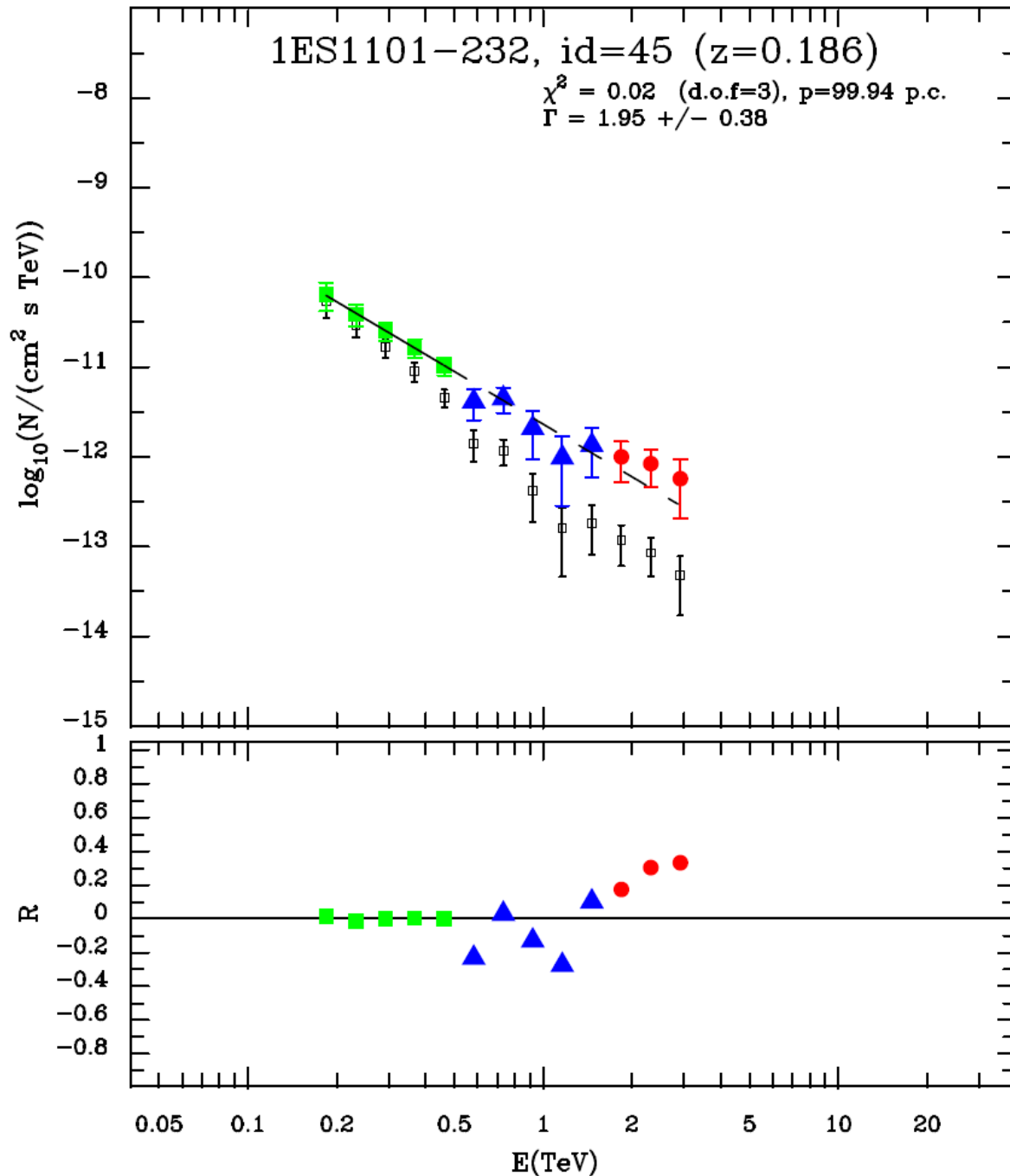
1. Имеются указания на неполноту модели только поглощения
2. Проведено исследование особенностей спектров в электромагнитной и адронной каскадных моделях
3. Существует возможность отличить базовую адронную модель от электромагнитной по высокоэнергичному обрыву

Спасибо за внимание!

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ №16-32-00823мол_а

Дополнительные слайды

Horns, Meyer (2012)



Зелёные квадраты:

$$\tau_{\gamma\gamma} < 1$$

Синие треугольники:

$$1 < \tau_{\gamma\gamma} < 2$$

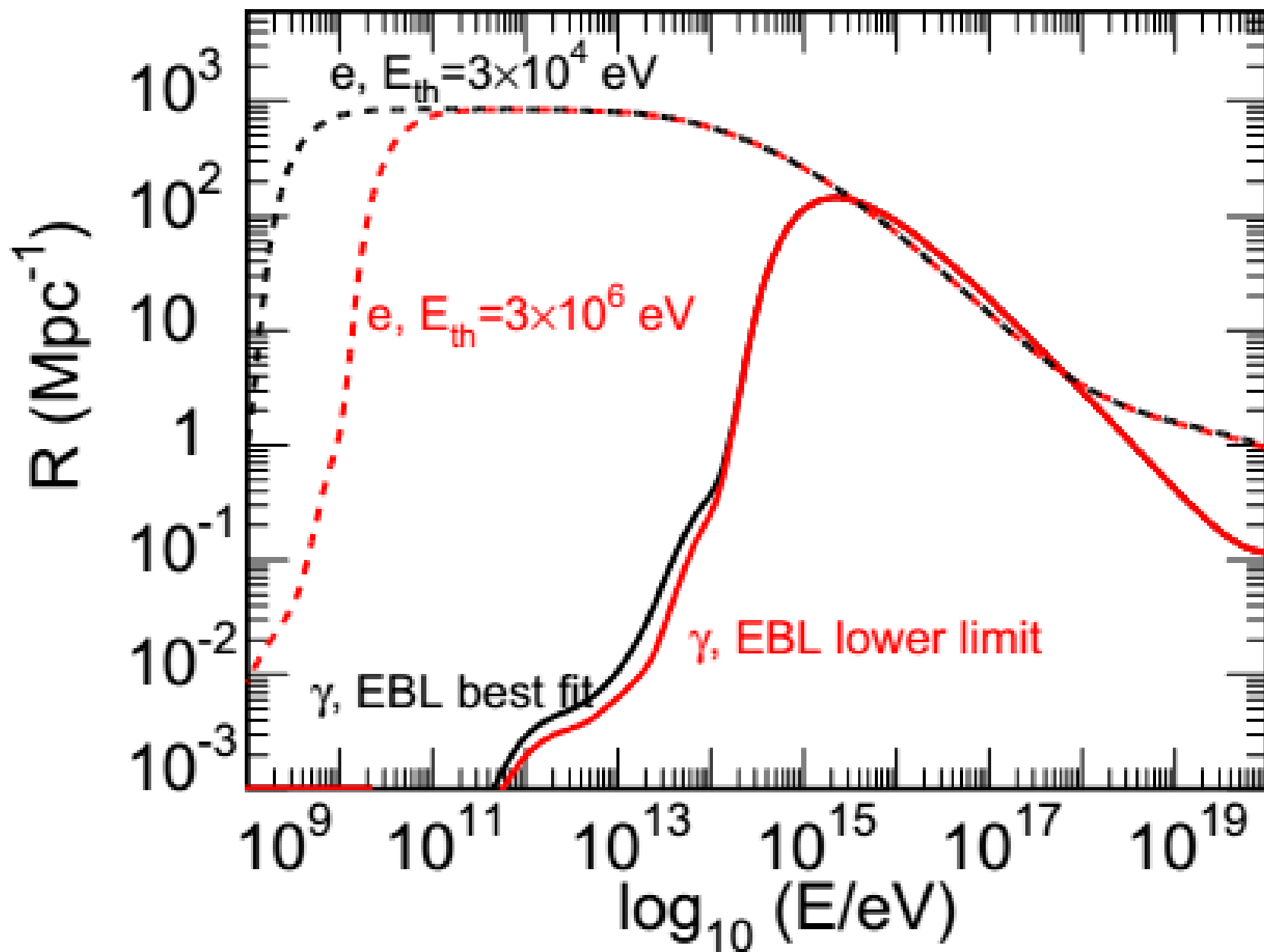
Красные круги:

$$\tau_{\gamma\gamma} > 2$$

где $\tau_{\gamma\gamma}$ – оптическая
толщина процесса



Темп взаимодействия (Kachelriess et al. (2011))



Каскадная универсальность

