

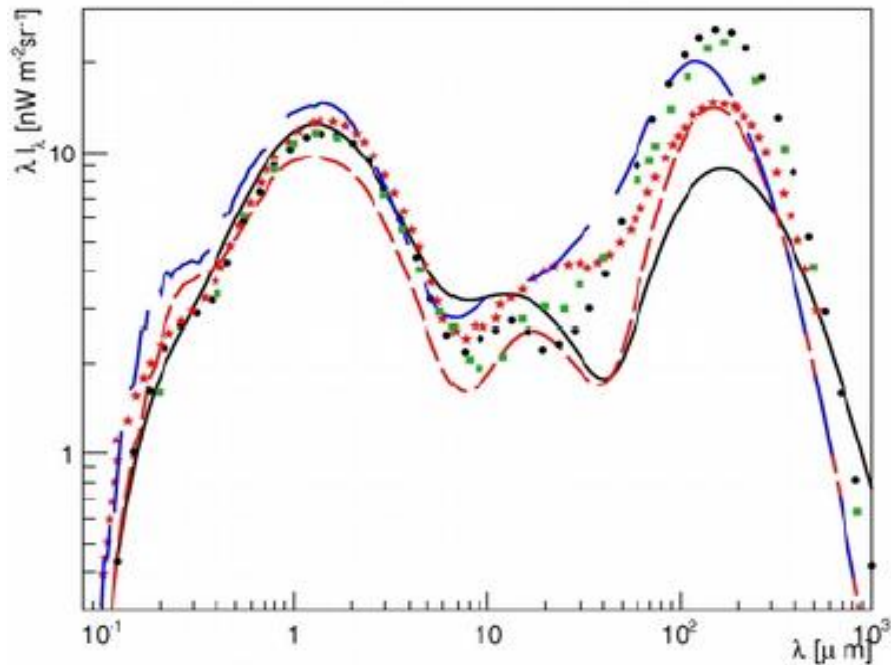
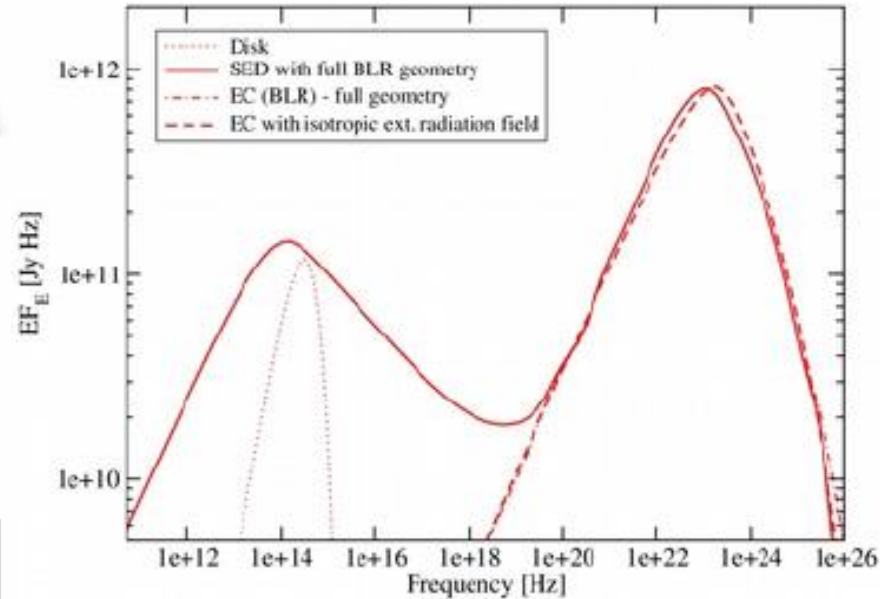
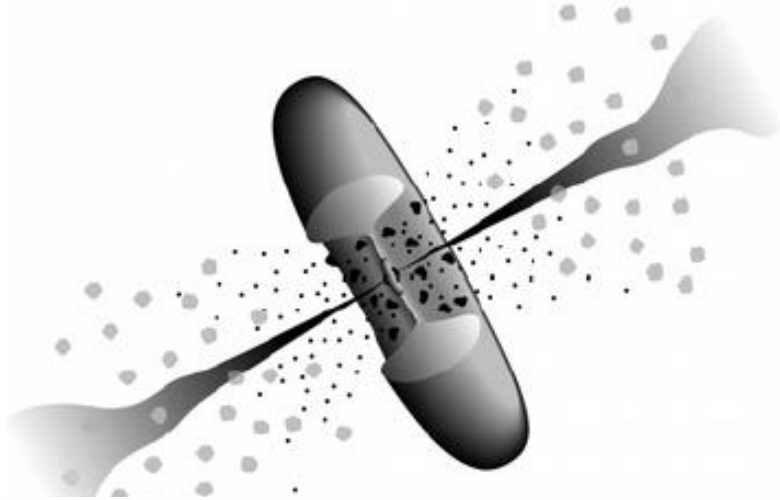
Развитие электромагнитных каскадов в Метагалактике от первичных частиц очень высоких энергий

Авторы: Джатдоев Т., Кирчева А., Халиков Э.

Докладчик: Халиков Эмиль

Блазары как источники гамма-квантов высоких энергий

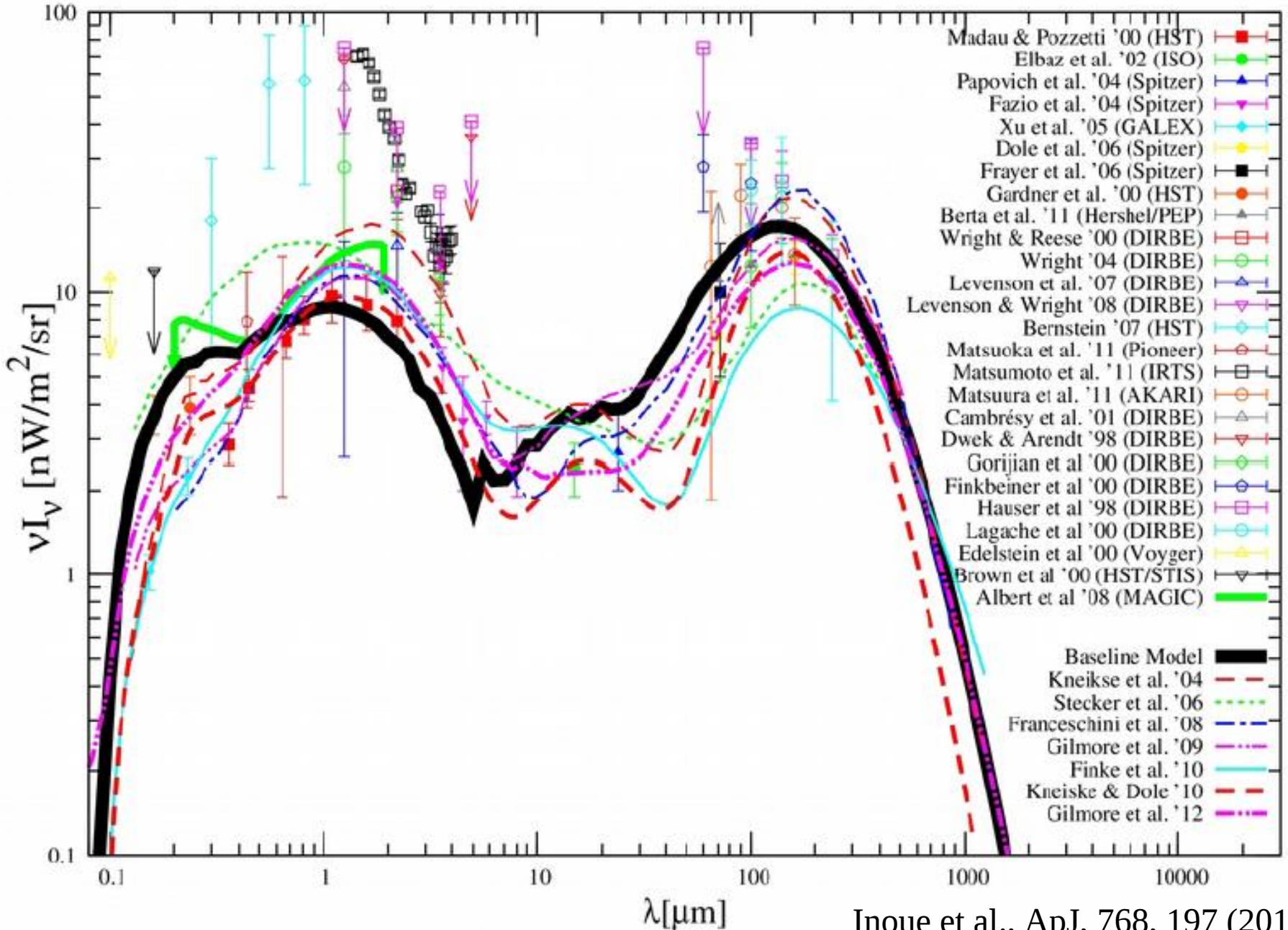
Геометрия (слева сверху, ¹) и спектральное распределение энергии (SED) блазара (справа сверху, ²),
SED внегалактического фонового излучения (EBL) (слева снизу)



¹ C.M. Urry, P. Padovani, PASP, **107**,
803 (1995); more details in: R. Antonucci,
ARA&A, **31**, 473 (1993)

² M. Boettcher et al., ApJ, **768**, 54 (2013)

Модели внегалактического фонового излучения (EBL)

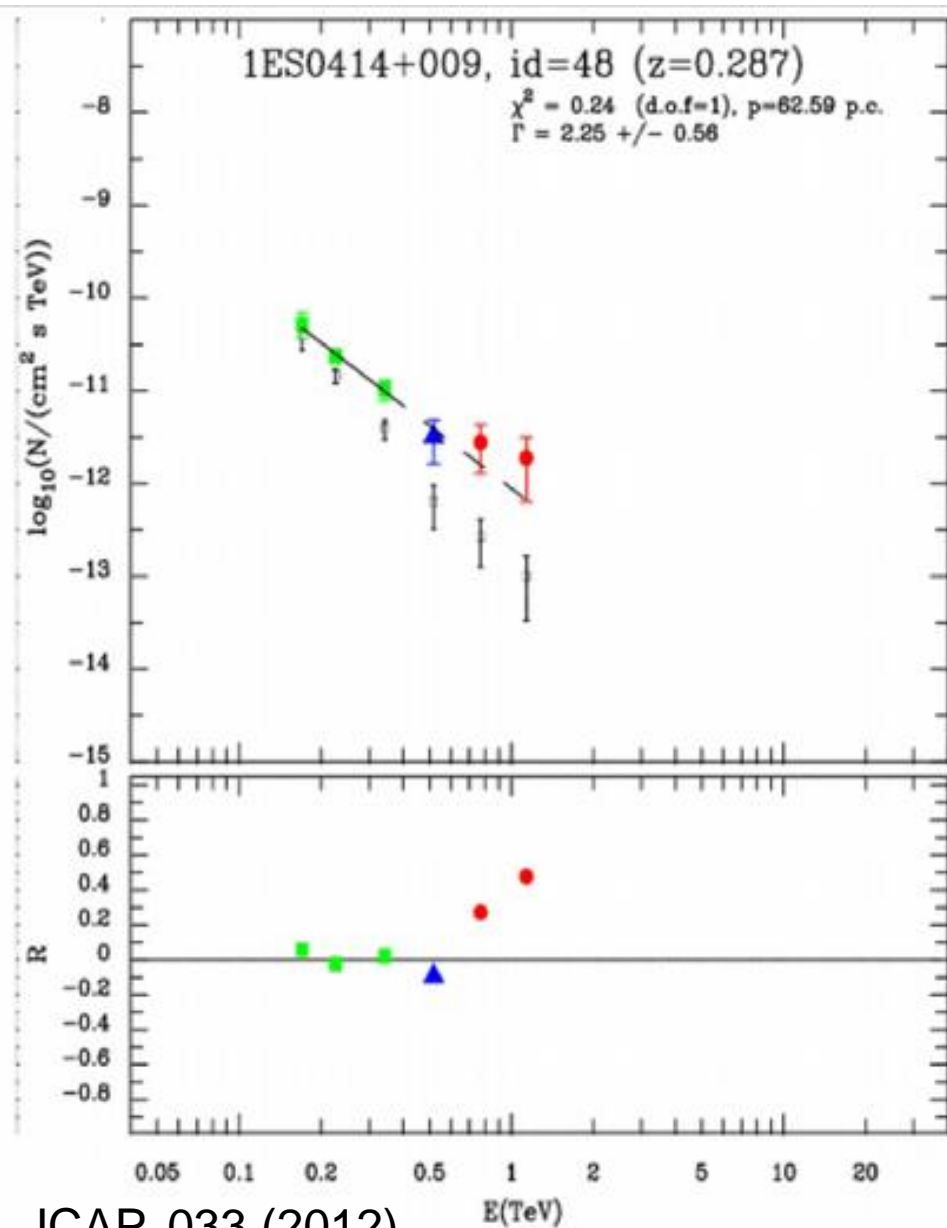
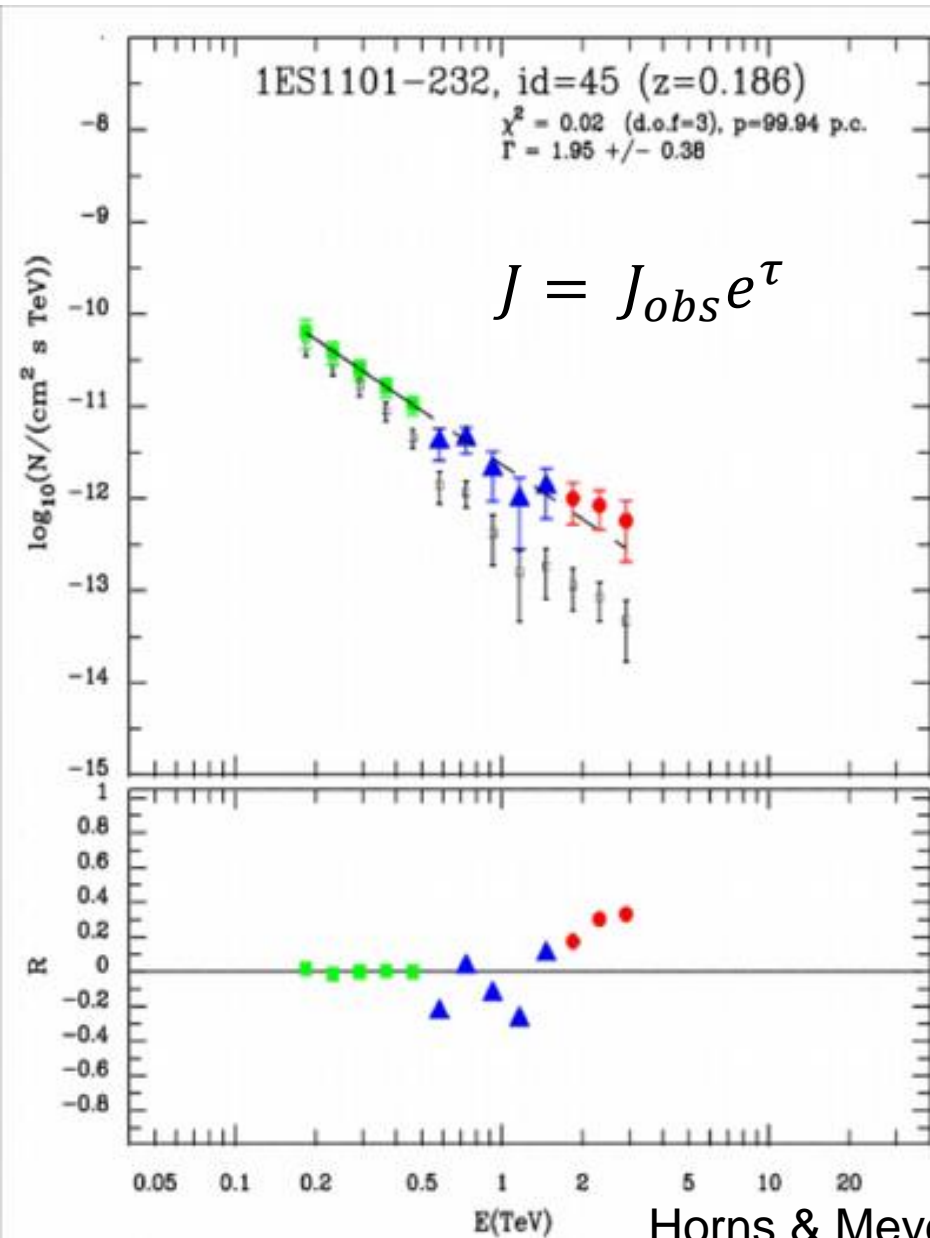


Модели внегалактического распространения гамма-квантов

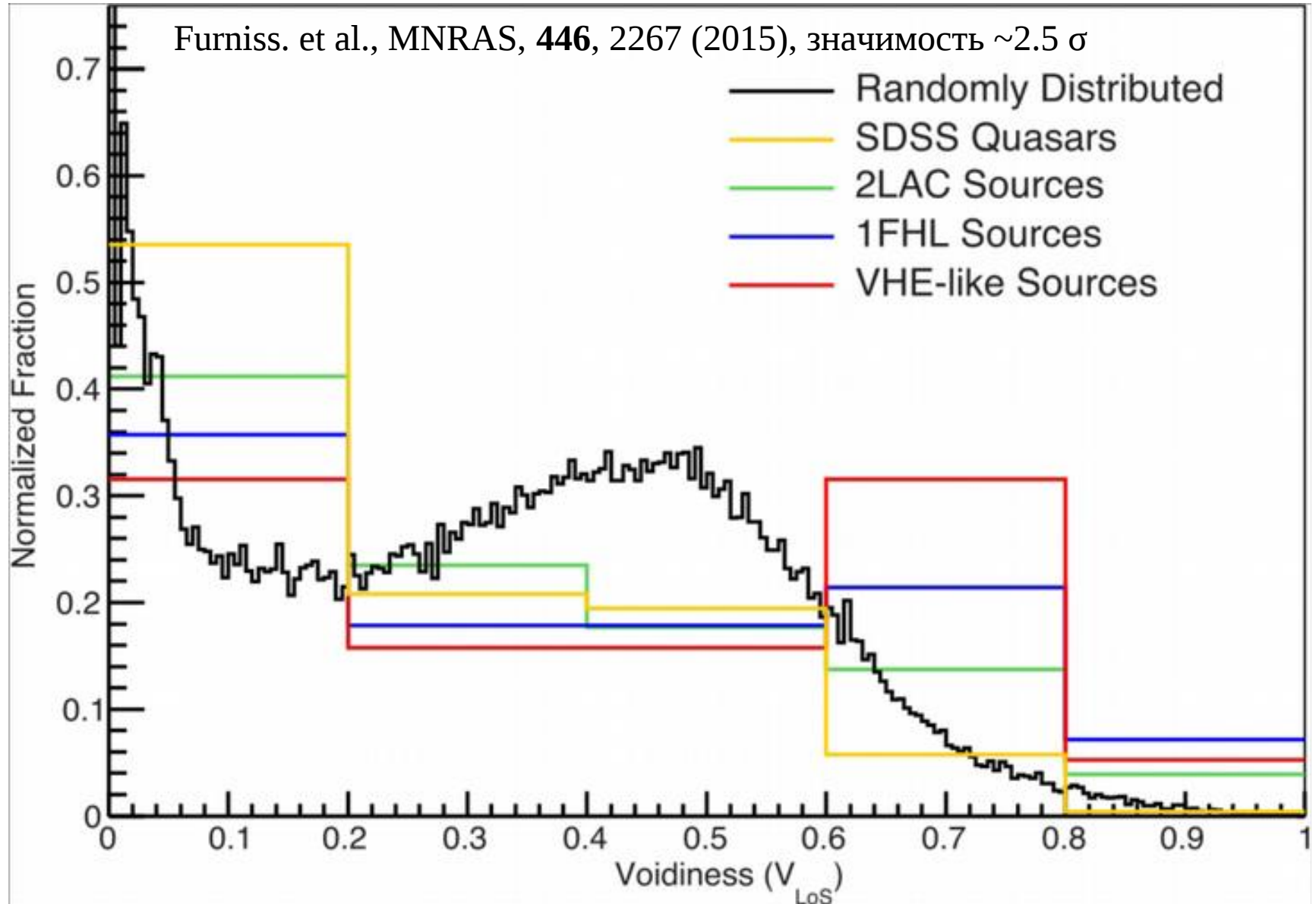
- Модель только поглощения (образование пар + адиабатические потери)
- Электромагнитная каскадная модель (+ обратное комптоновское рассеяние)
- Адронная каскадная модель (учёт ЭМ каскадов от протонов и ядер с энергиями > 1 ЭэВ)
- Осцилляции гамма-квантов в аксионоподобные частицы
- Нарушение Лоренц-инвариантности, другие экзотические модели

Высокоэнергичная аномалия спектров блазаров

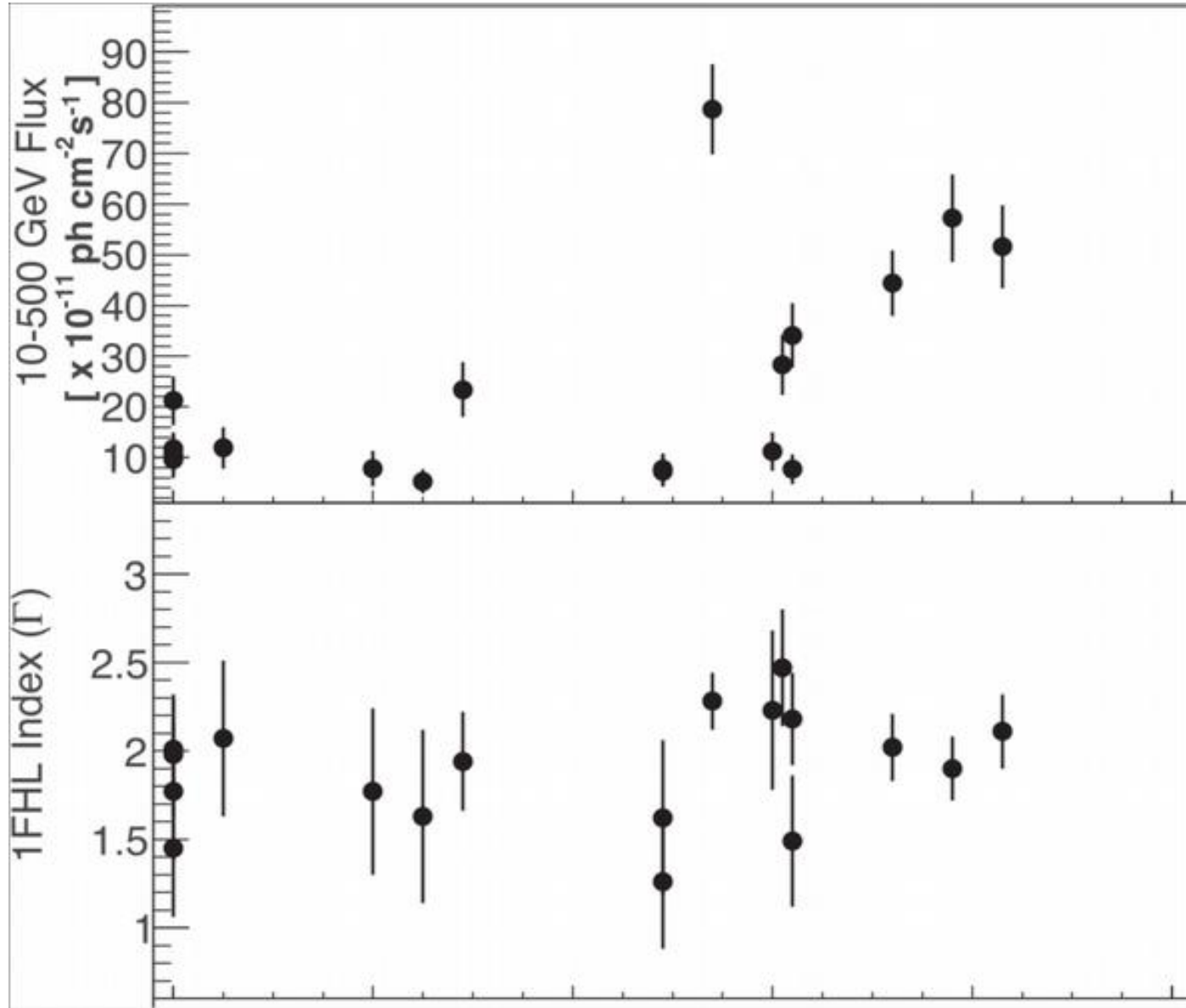
Цветные символы обозначают данные, где уже учтено поглощение первичных фотонов на EBL. Значимость – 4.2σ (изначально).



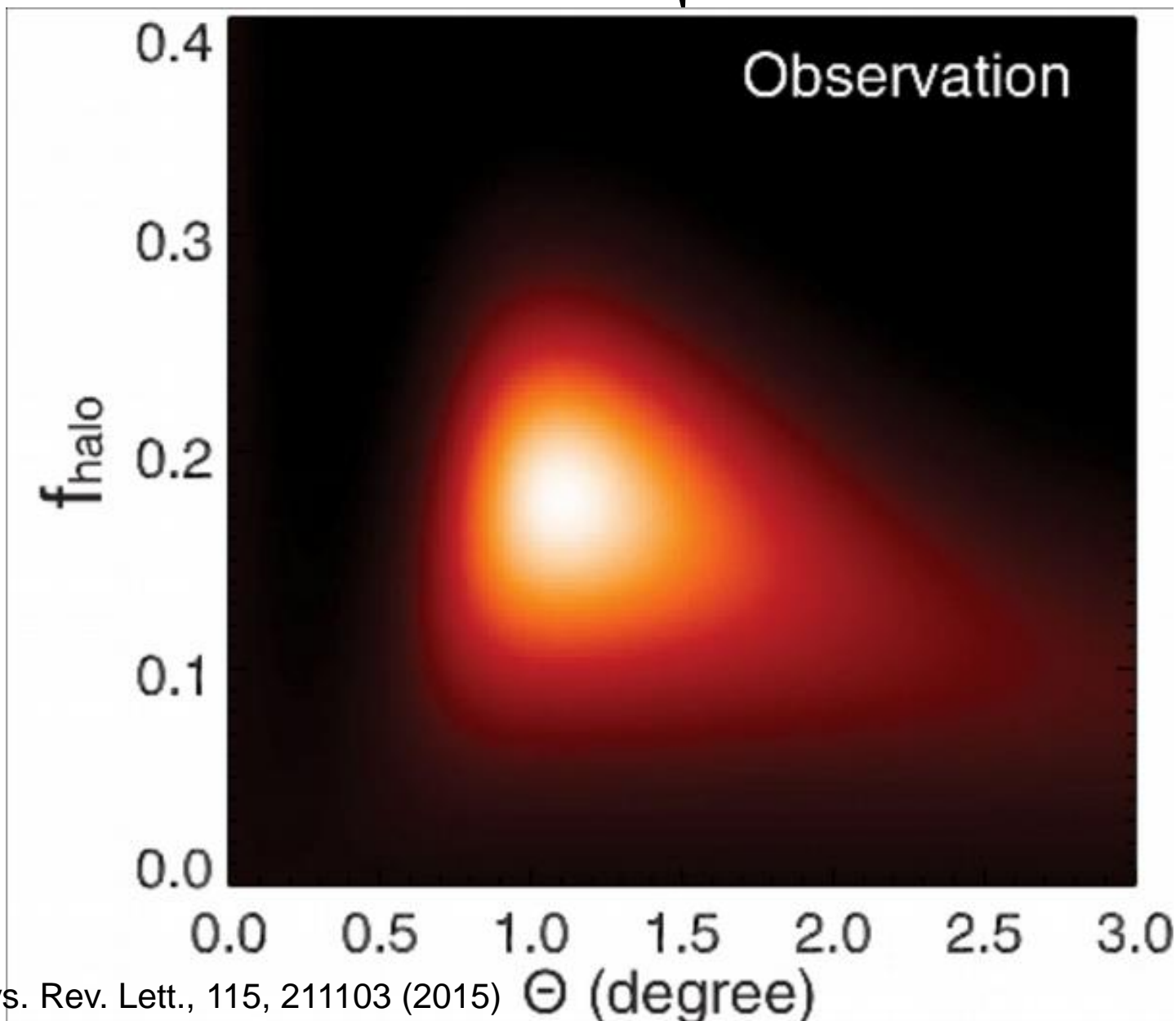
Другие указания на неполноту модели только поглощения



Другие указания на неполноту модели ТОЛЬКО ПОГЛОЩЕНИЯ



Другие указания на неполноту модели ТОЛЬКО ПОГЛОЩЕНИЯ



Другие указания на неполноту модели только поглощения

Необходимо объяснить:

1. Высокоэнергичную аномалию
2. Сильно увеличенный (в 2-4 раза) поток от некоторых блазаров, расположенных в направлениях на пустоты
3. Уширенный магнитным полем (МВС) поток ($\sim 20\%$) на масштабе 1 градуса при энергии ~ 1 ГэВ.

Модели внегалактического распространения гамма-квантов

- Модель только поглощения (образование пар + адиабатические потери)
- Электромагнитная каскадная модель (+ обратное комптоновское рассеяние)
- Адронная каскадная модель (учёт ЭМ каскадов от протонов и ядер с энергиями > 1 ЭэВ)
- Осцилляции гамма-квантов в аксионоподобные частицы
- Нарушение Лоренц-инвариантности, другие экзотические модели

Электромагнитная каскадная модель

Электромагнитная каскадная модель изучалась в работах:

Aharonian et al., *A&A*, **349**, 11 (1999)

Aharonian et al., *A&A*, **384**, 834 (2002)

d’Avezac et al., *A&A*, **469**, 857 (2007)

Murase et al., *ApJ*, **749**, 63 (2012)

Takami et al., *ApJ Lett.*, **771**, L32 (2013)

Dzhatdоеv et al., *astro-ph/1609.01013* (2016)

6 источников – экстремальных ТэВ-ных блазаров, 10 спектров, (25 страниц, ~70 графиков)

Статья в печати в *Astronomy & Astrophysics*:

<https://www.aanda.org/component/article?access=doi&doi=10.1051/0004-6361/201629660>

Electromagnetic cascade masquerade: a way to mimic γ -axion-like particle mixing effects in blazar spectra

T.A. Dzhatdov^{1,*}, E.V. Khalikov^{1,**}, A.P. Kircheva^{1,2} and A.A. Lyukshin²

¹ Federal State Budget Educational Institution of Higher Education M.V. Lomonosov Moscow State University, Skobeltsyn Institute of Nuclear Physics (SINP MSU), 1(2), Leninskie gory, GSP-1, Moscow 119991, Russian Federation

*e-mail: timur1606@gmail.com, **e-mail: nanti93@mail.ru

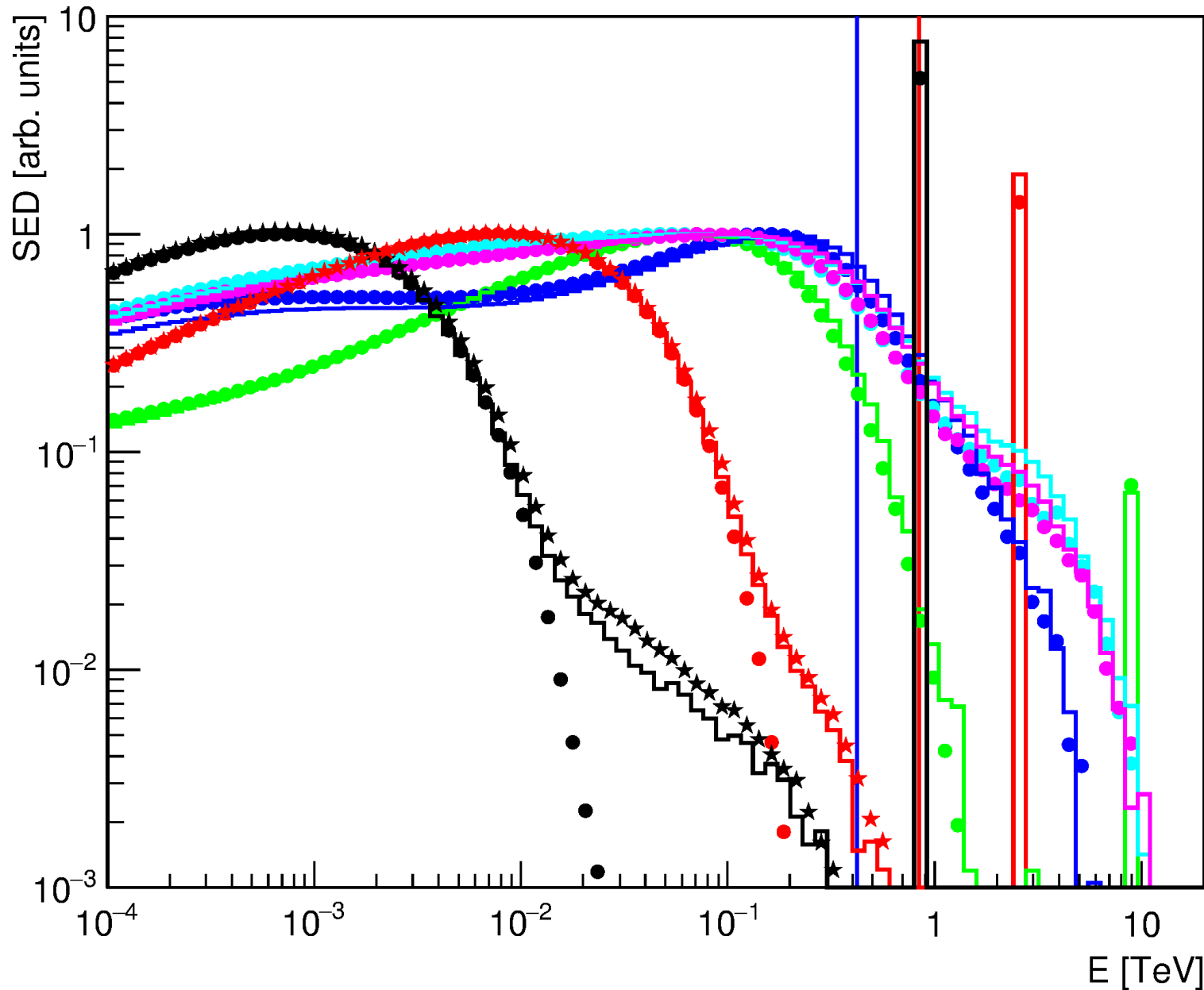
² Federal State Budget Educational Institution of Higher Education M.V. Lomonosov Moscow State University, Department of Physics, 1(2), Leninskie gory, GSP-1, Moscow 119991, Russian Federation

Received September 12, 2016; accepted February 14, 2017

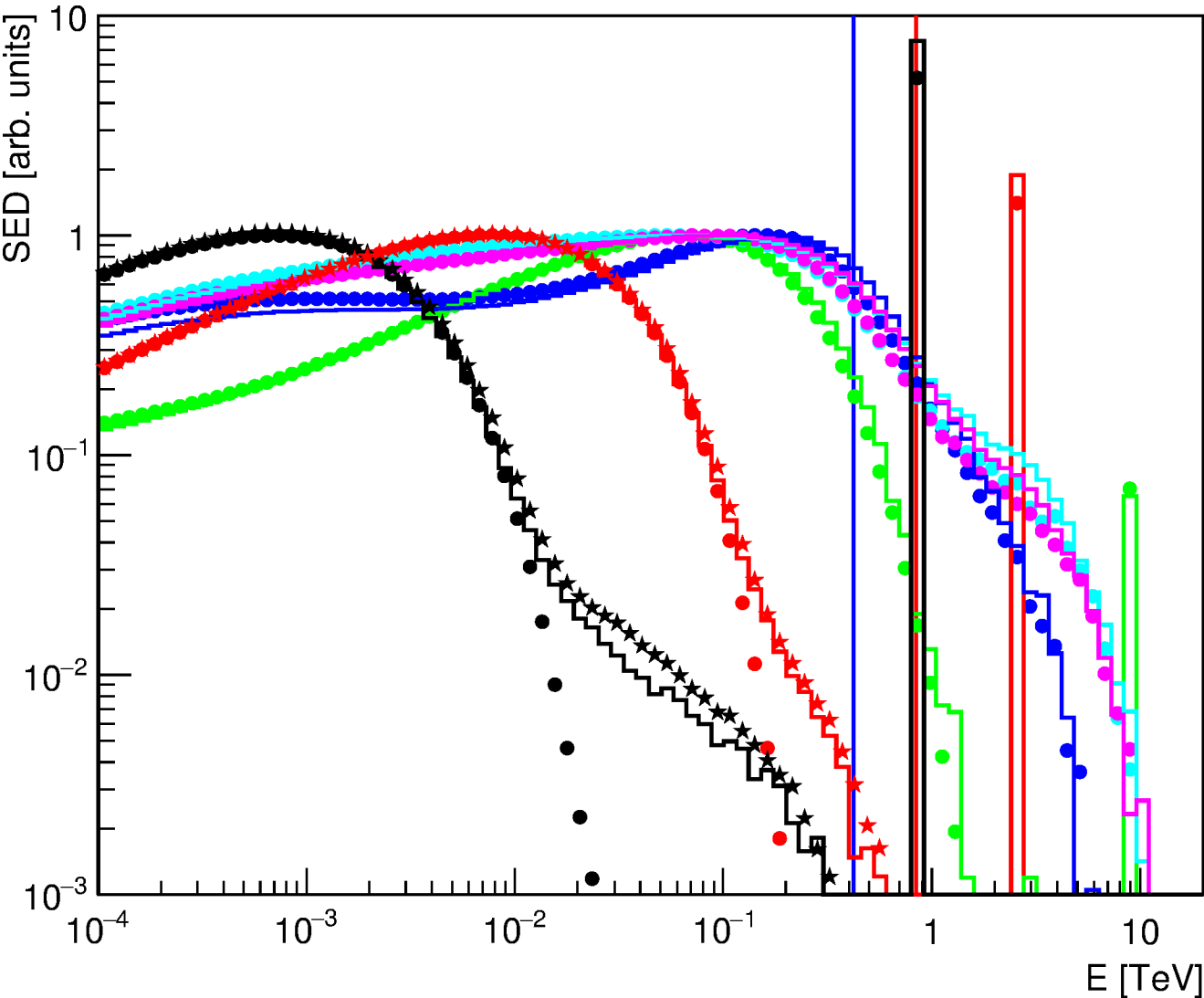
Таблица источников

N	Source	z	Observational period	Reference
1	H 1426+428	0.129	1999-2000	Aharonian et al. (2003)
2	H 1426+428	0.129	1998-2000	Djannati-Atai et al. (2002)
3	H 1426+428	0.129	2001	Horan et al. (2002)
4	1ES 0229+200	0.140	2005-2006	Aharonian et al. (2007a)
5	1ES 0229+200	0.140	2010-2012	Aliu et al. (2014)
6	1ES 1218+304	0.182	2012-2013	Madhavan et al. (2013)
7	1ES 1101-232	0.186	2004-2005	Aharonian et al. (2007b)
8	1ES 1101-232	0.186	2004-2005	Aharonian et al. (2006)
9	1ES 0347-121	0.188	Aug.-Dec. 2006	Aharonian et al. (2007c)
10	1ES 0414+009	0.287	2005-2009	Abramowski A. et al. (2012)

Электромагнитная каскадная модель



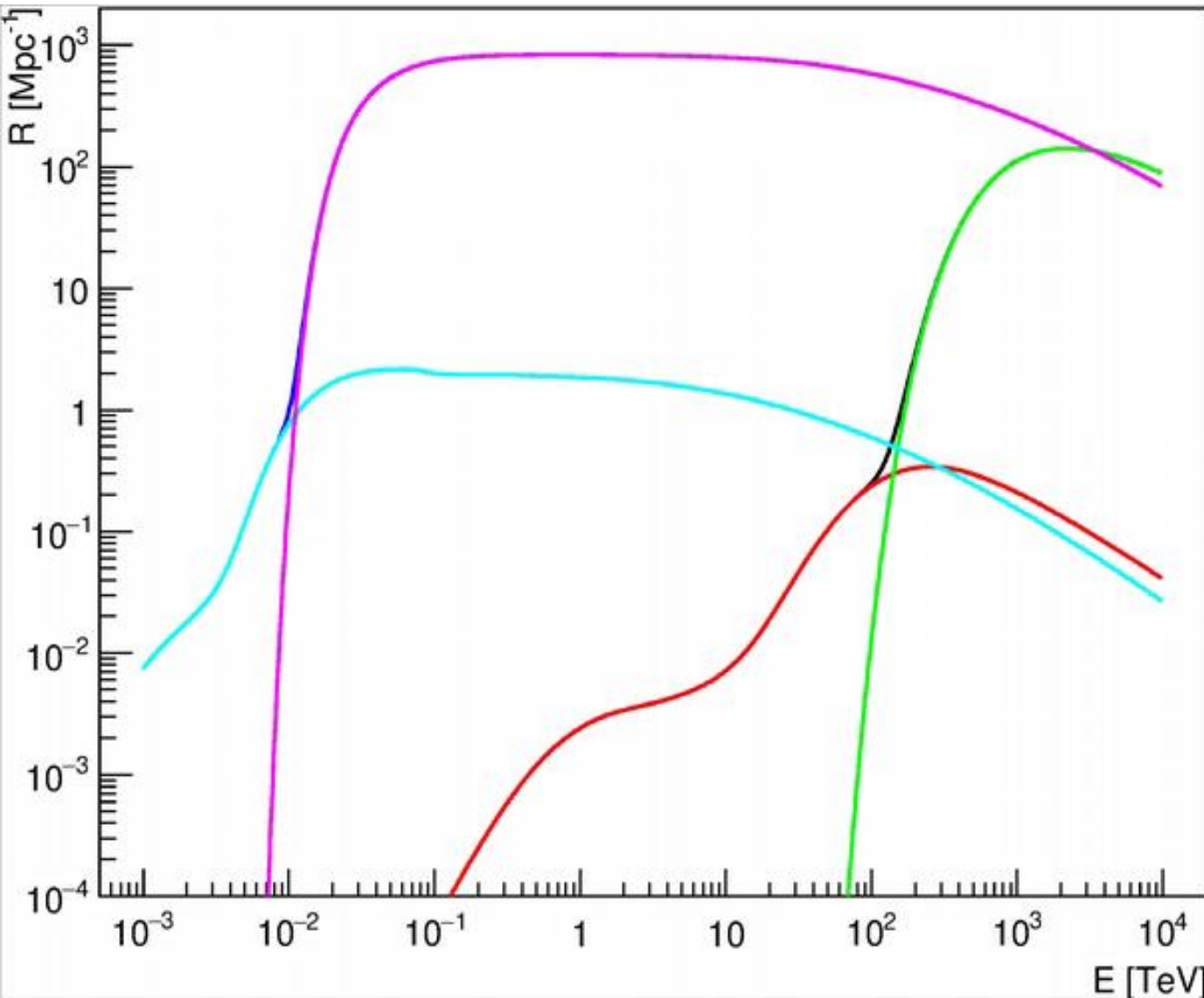
Электромагнитная каскадная модель



Наблюдаемые спектры моноэнергичных источников гамма-квантов ($z = 0.186$): спектры для режима 1 поколения ($E_0 = 1$ TeV, 3 TeV, 10 TeV) и универсального режима (100 TeV, 1 PeV). Переходный режим (30 TeV). Точки – только CMB, звёздочки – CMB и EBL (ECS 1.0), гистограмма – рез-т ELMAG 2.02.

При $E_0 > 100$ ТэВ достигается режим «слабой универсальности» (форма наблюдаемого спектра не зависит от энергии и типа первичной частицы, а зависит только от расстояния z).

Электромагнитная каскадная модель

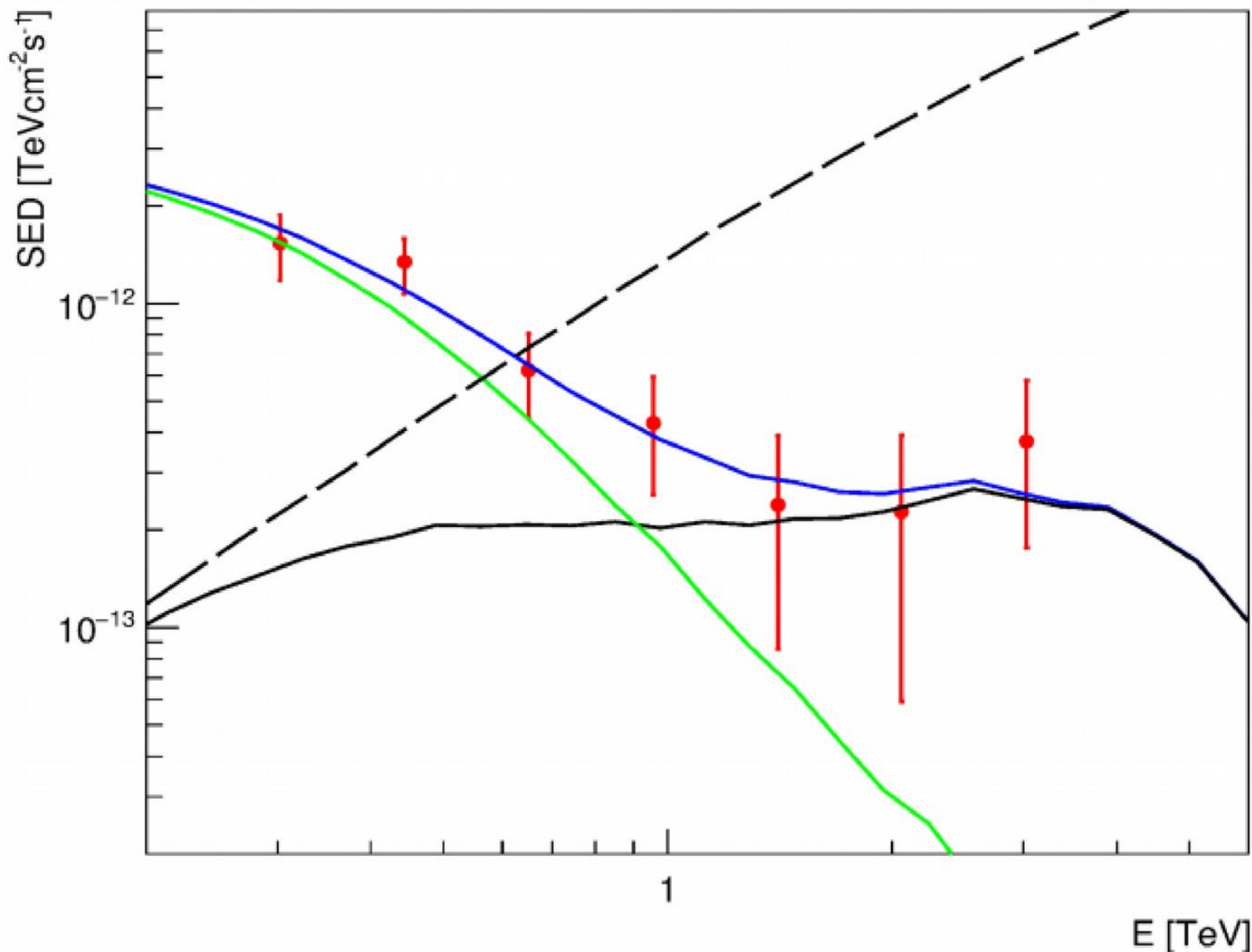


Темпы взаимодействия для $z=0$ (разные компоненты).
Чёрный - фотоны (суммарный);
красный - фотоны (EBL);
зелёный - фотоны (СМВ);
лиловый - электроны (СМВ);
голубой - электроны (EBL);
синий - электроны (суммарный).

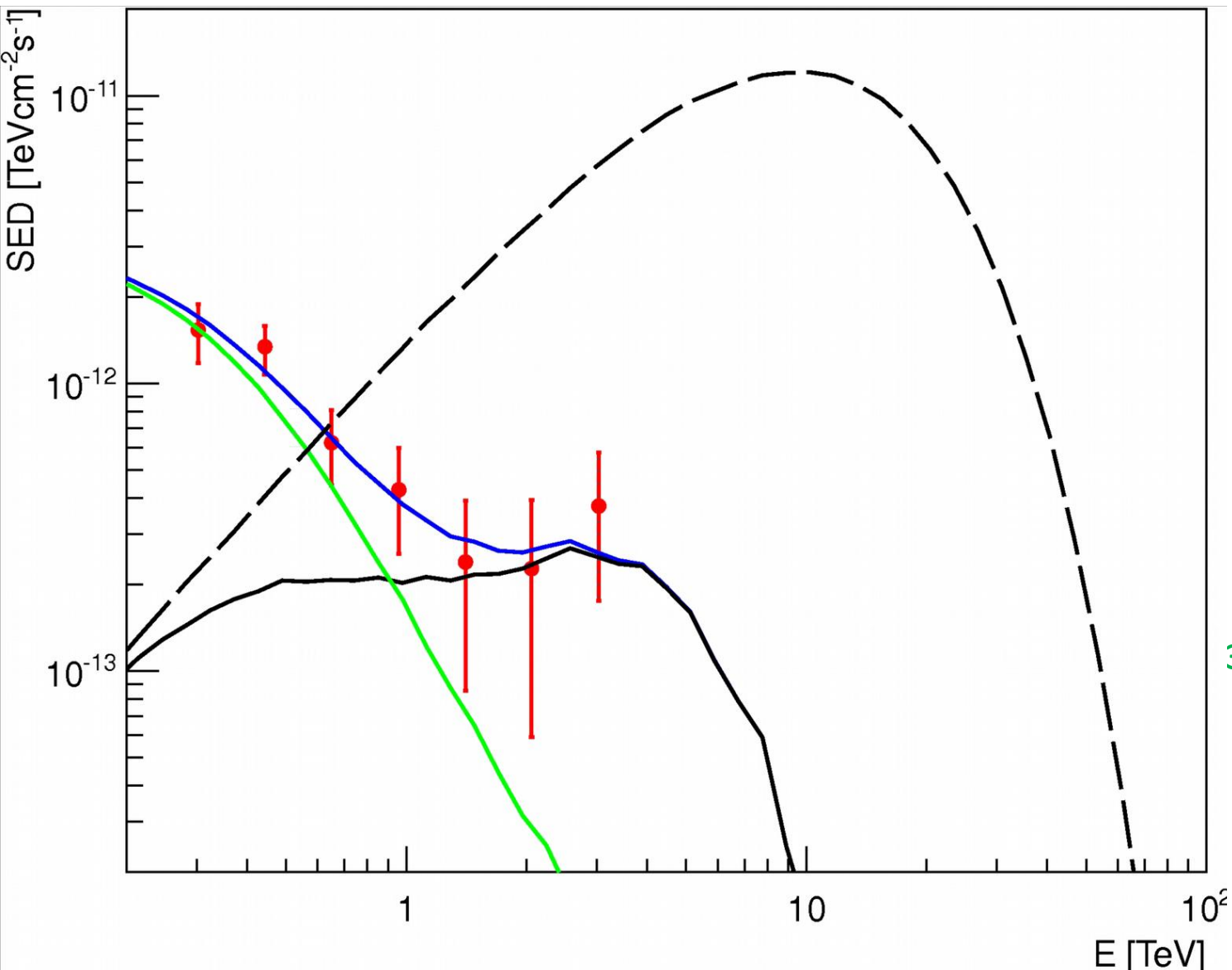
Электромагнитная каскадная модель

Форма SED на низких энергиях скрыта каскадной компонентой
(ЭМ каскадный маскаррад)

9 1ES 0347-121 0.188 Aug.-Dec. 2006 Aharonian et al. (2007c)



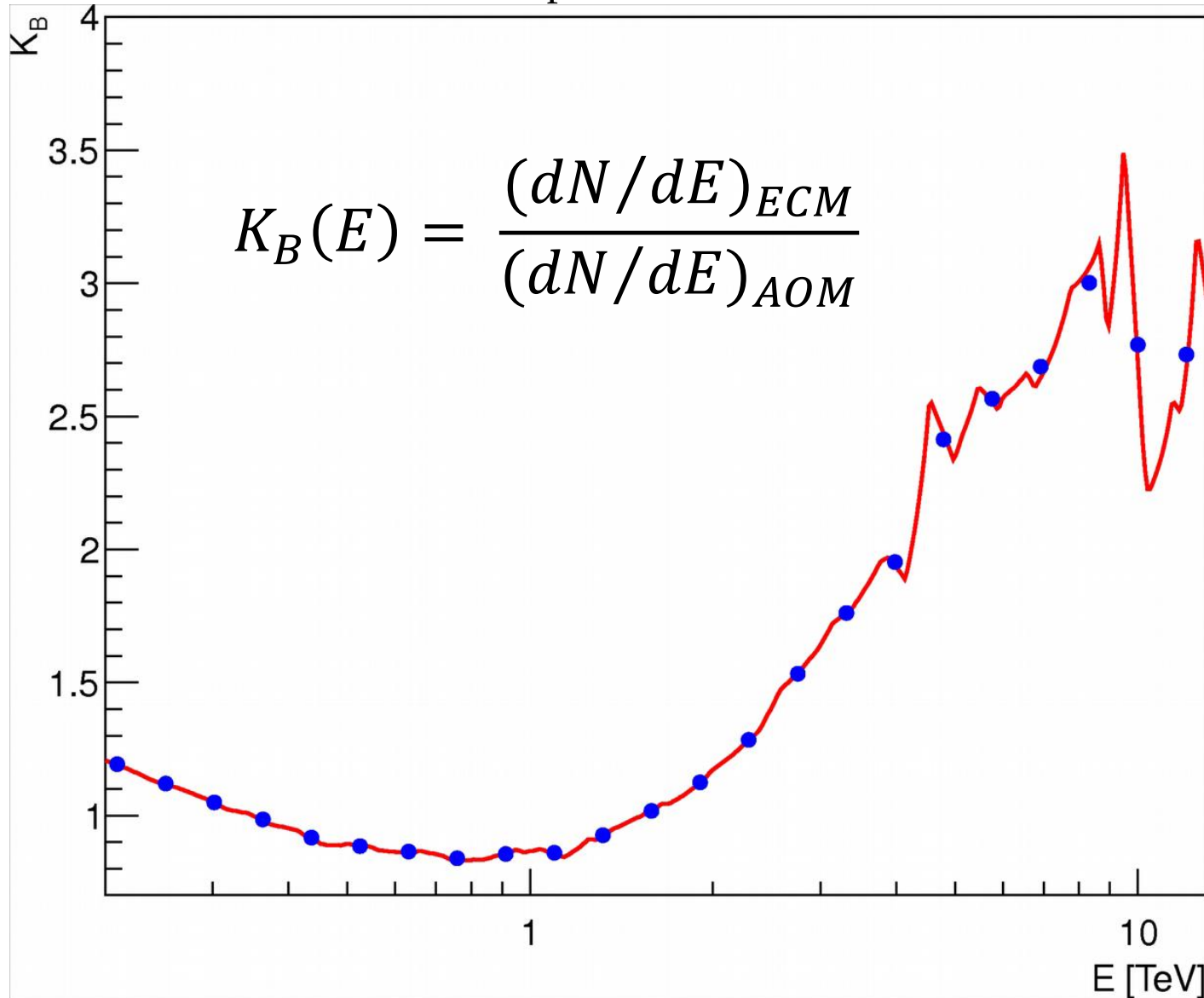
Электромагнитная каскадная модель



Чёрная
пунктирная
кривая –
первичный
спектр,
красные точки
– данные
наблюдений,
чёрная
сплошная
кривая –
первичная
компонента,
зелёная кривая
– вторичная
компонента,
синяя кривая –
суммарный
спектр.

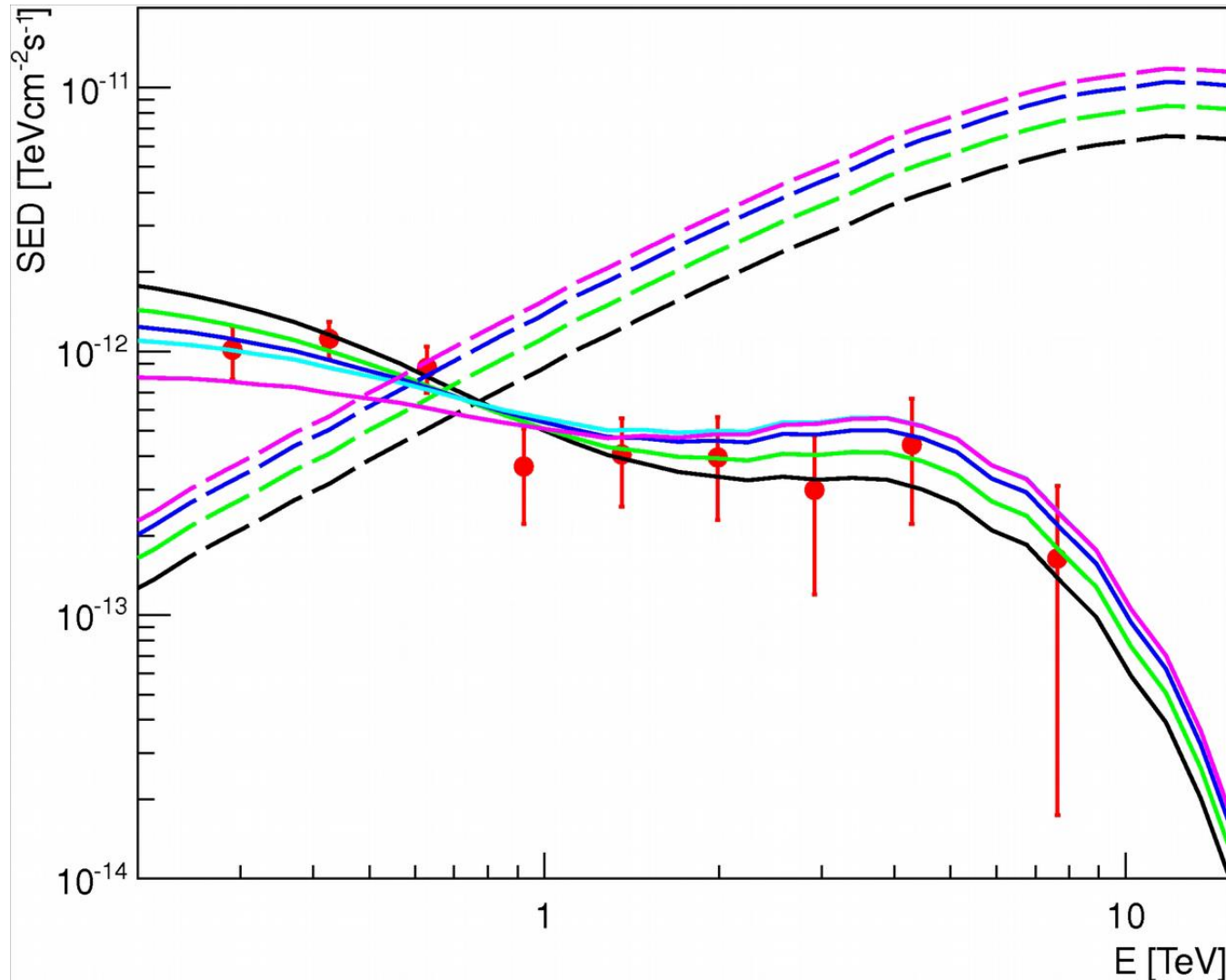
Электромагнитная каскадная модель

Соотношение спектров best-fit ЭМ каскадной модели и модели только поглощения. ЭМ каскадная модель предсказывает втрое больший поток на энергии 8 ТэВ.



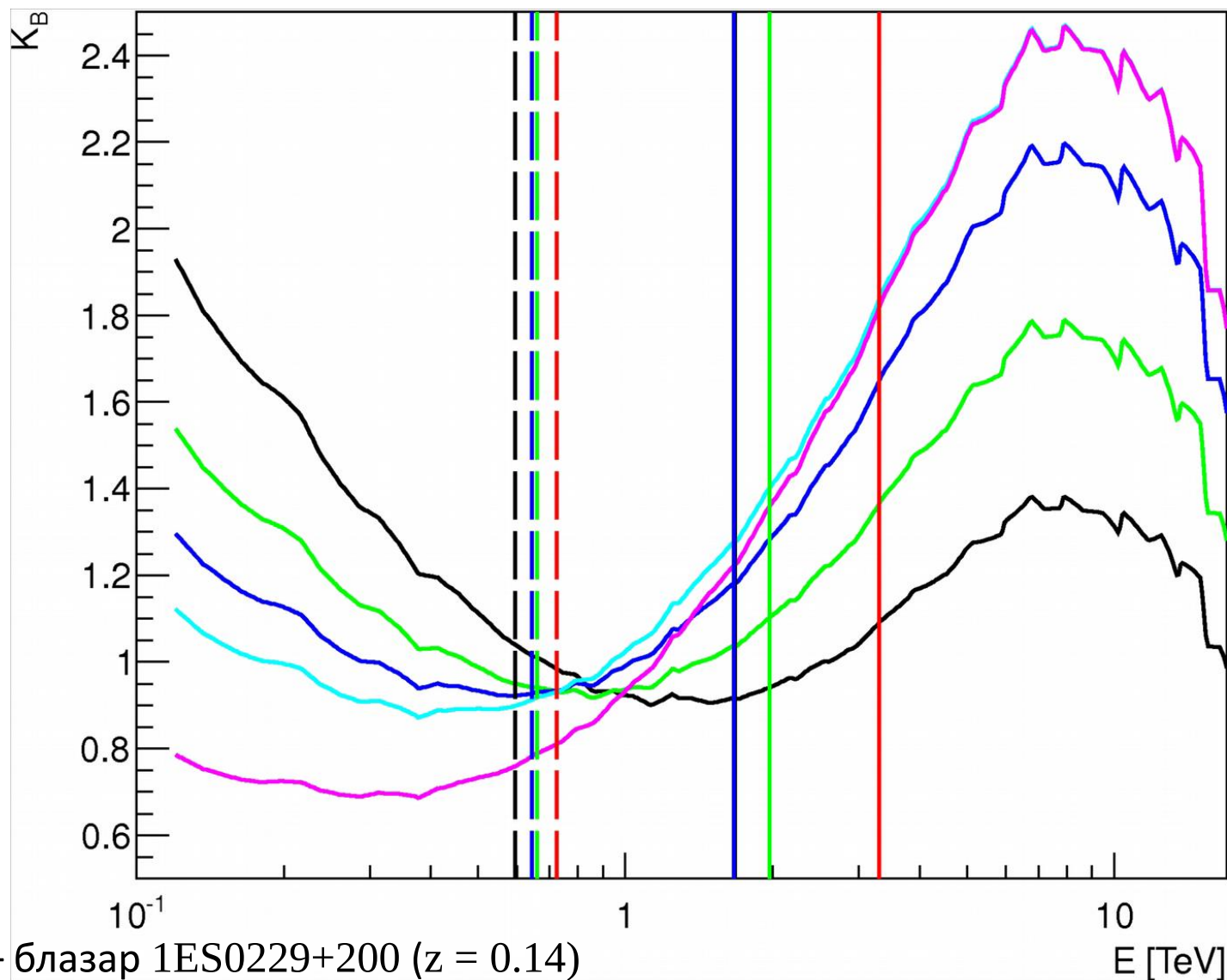
Электромагнитная каскадная модель

Влияние пустотности ($K = 1.0, 0.6, 0.4, 0.3, 0.2$). Источник - 1ES 0229+200 ($z=0.14$). Высокоэнергичная часть лучше фитируется для $K < 0.6$, низкоэнергичная – для K от 0.3 до 0.6.



Электромагнитная каскадная модель

Отношение best-fit спектров для электромагнитной каскадной модели и модели только поглощения.

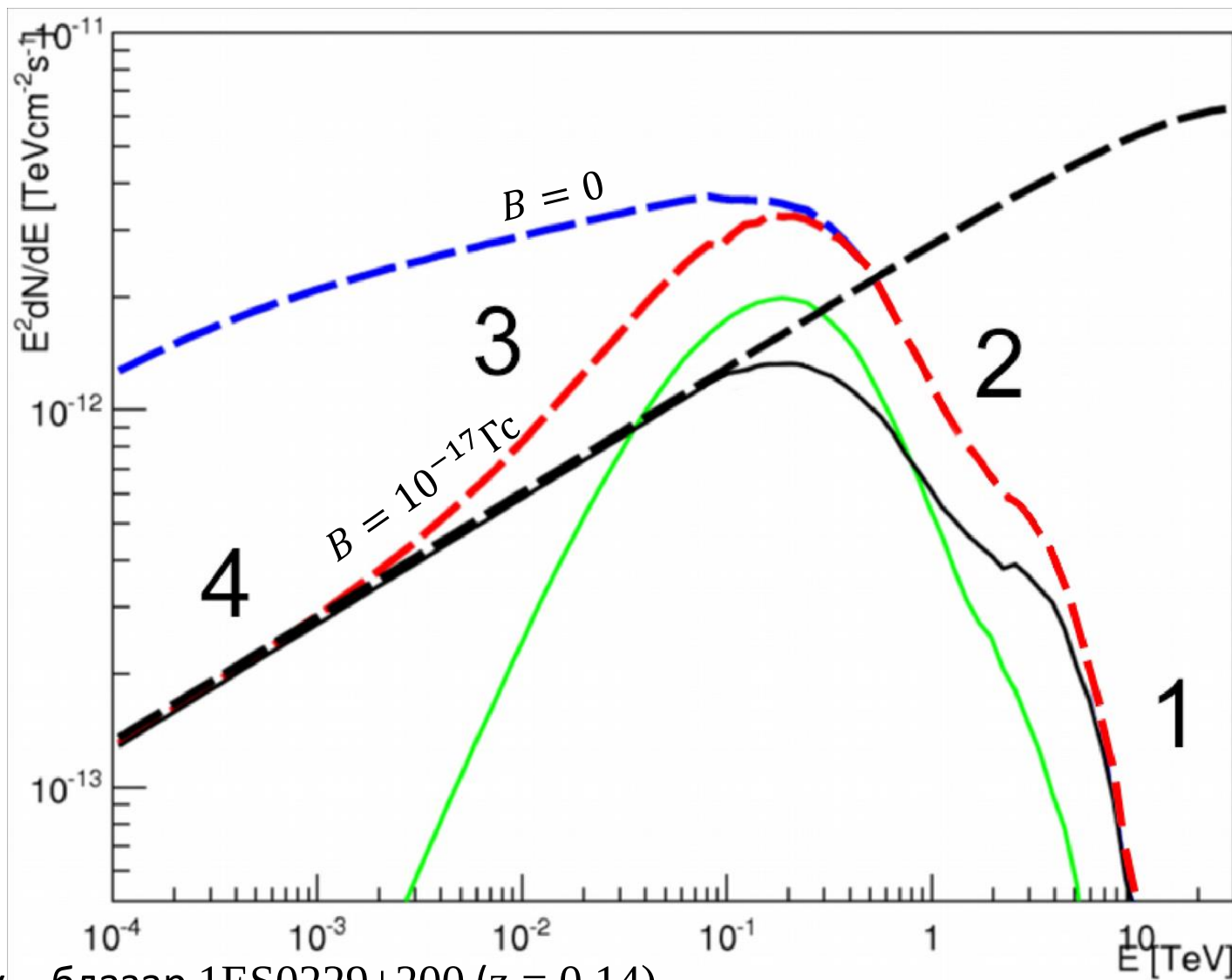


Источник – блазар 1ES0229+200 ($z = 0.14$)

E [TeV]

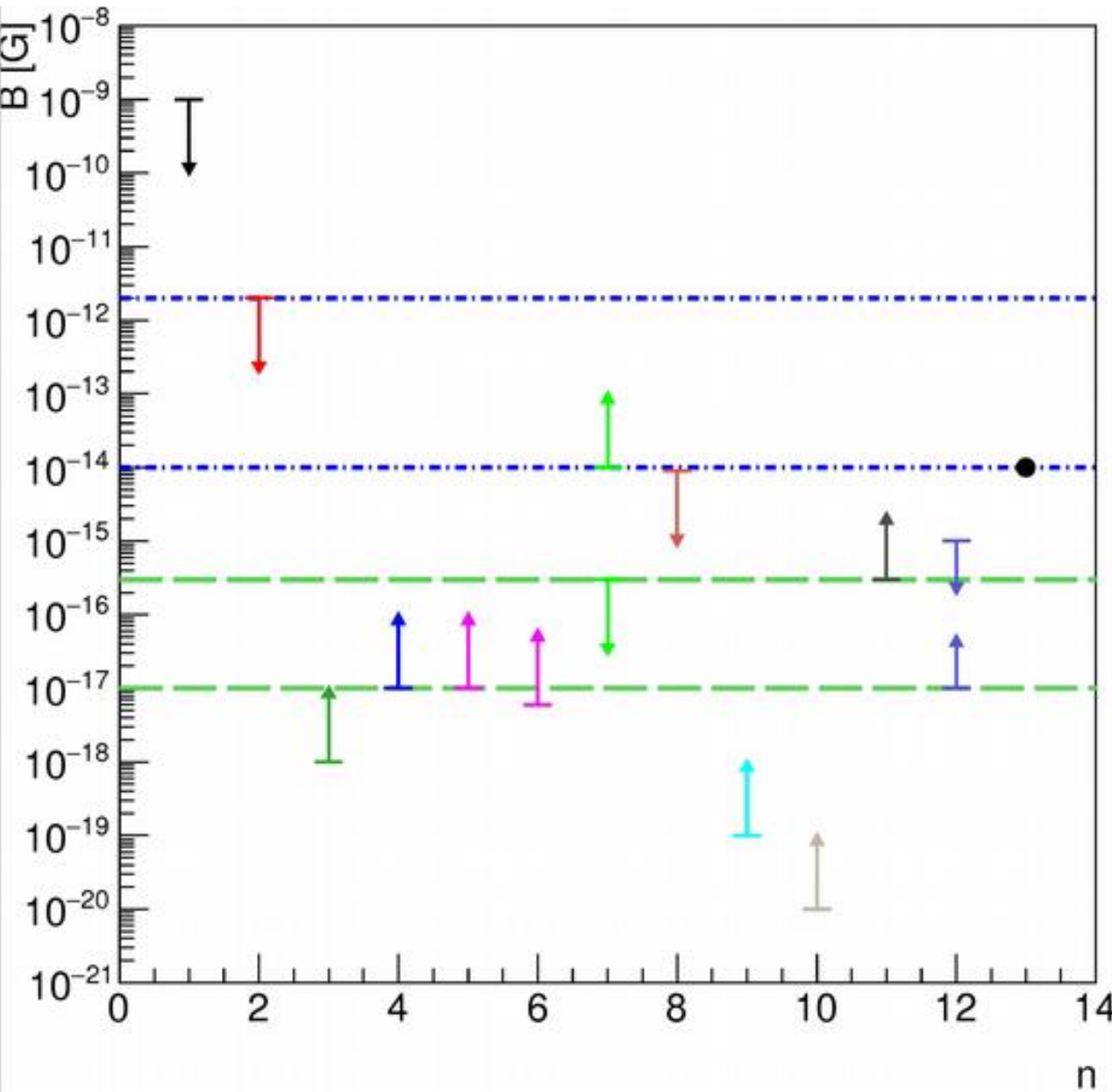
Особенности спектров в ЭМ каскадной модели

- 1) Высокоэнергичное обрезание,
- 2) «лодыжка»,
- 3) «магнитное обрезание»,
- 4) вторая лодыжка



Источник – блазар 1ES0229+200 ($z = 0.14$)

Ограничения на Внегалактическое Магнитное Поле (EGMF)

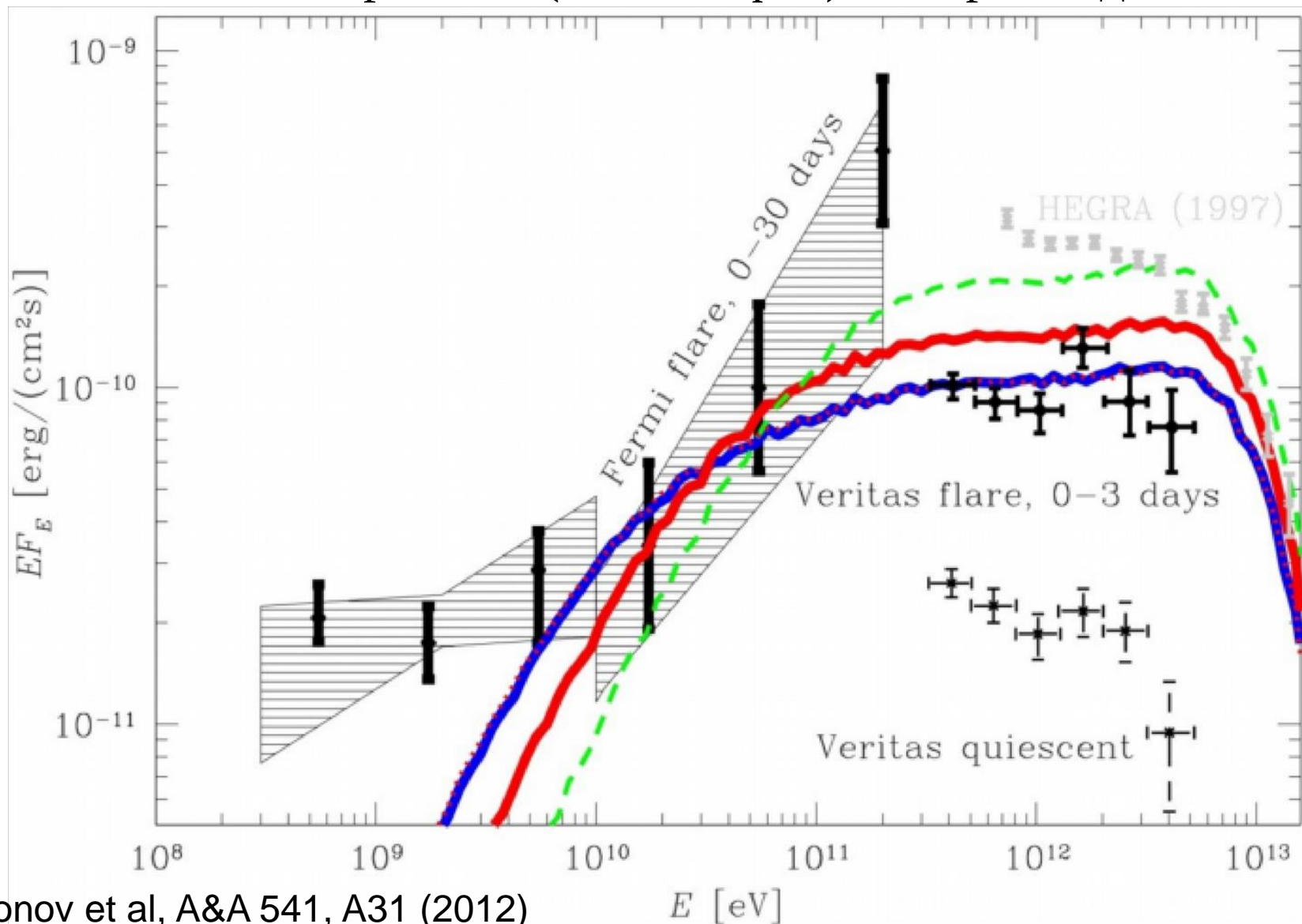


Ограничения взяты из:

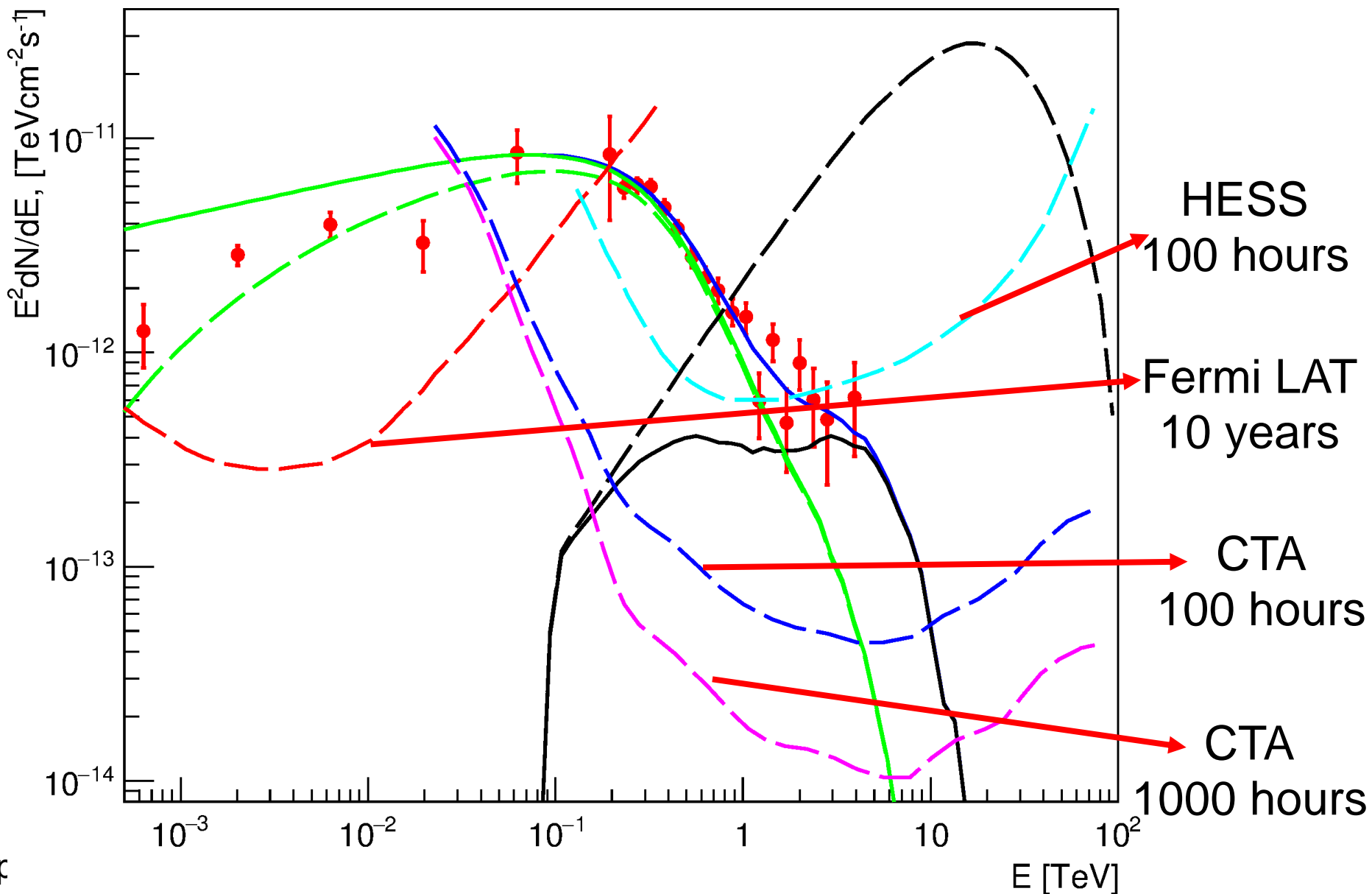
- Blasi P et al. 1999 ApJ 514 L79
- Dolag K et al. 2005 JCAP 01 009
- Dermer C D et al. 2011 ApJ Lett. 733 L21
- Taylor A M et al. 2011 A&A 529 A144
- Vovk Ie et al. 2012 ApJ Lett. 747 L14
- Takahashi K et al. 2012 ApJ Lett. 744 L7
- Neronov A & Vovk Ie 2010 Science 328 73
- Finke J D et al. 2015 ApJ 814 20
- Abramowski A et al. (H.E.S.S.) 2014 A&A 562 A145
- Chen W et al. 2015 Phys. Rev. Lett. 115 211103
- Tashiro H et al. 2014 MNRAS Lett. 445 L41
- Prosekin A et al. 2012 ApJ 757 183

Особенности спектров в ЭМ каскадной модели

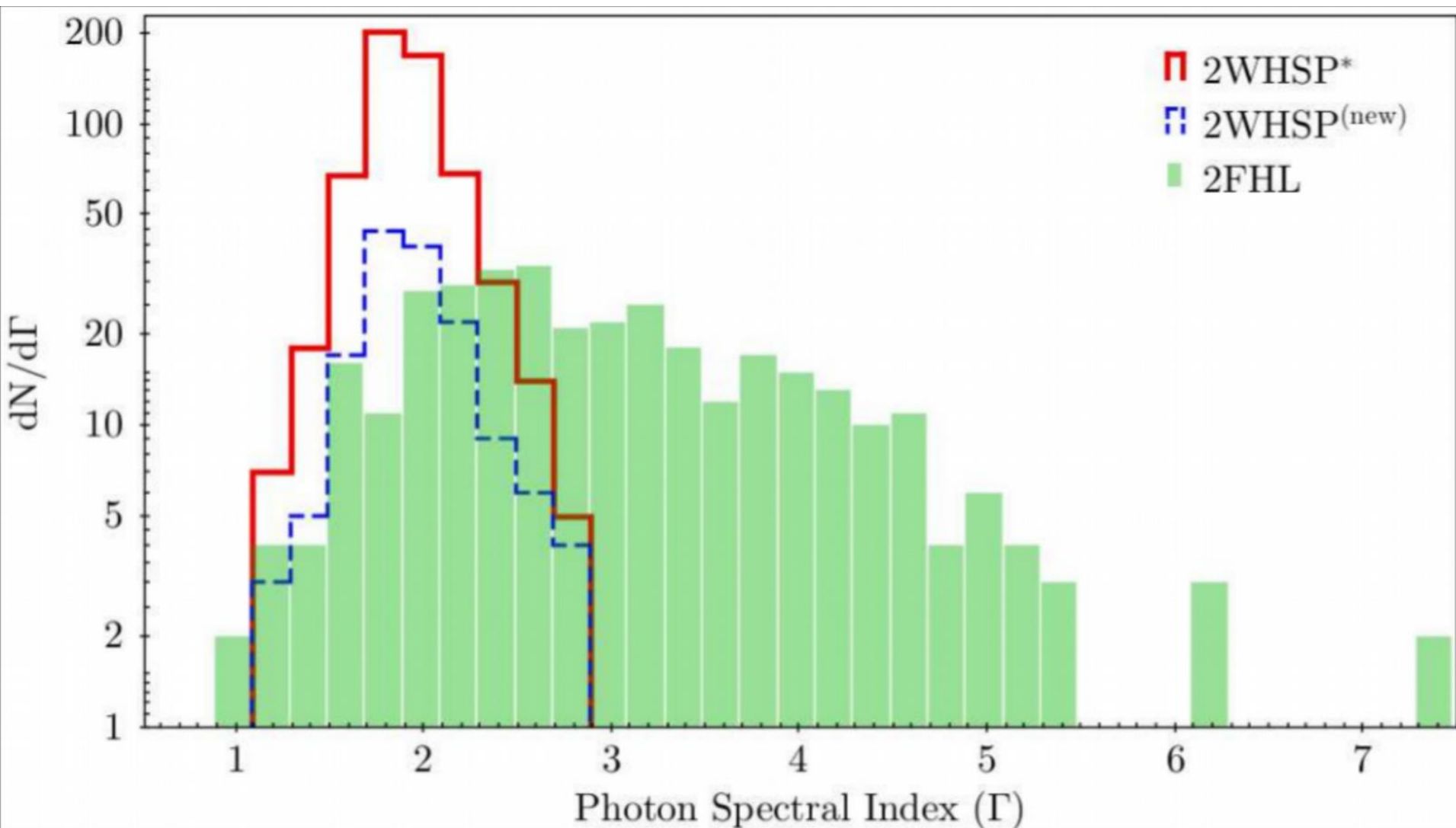
Наблюдение Мкп 501 телескопом Fermi-LAT. Отчётливо видны магнитное обрезание (0.01-0.1 фГц) и вторая лодыжка



Прогнозы ЭМ каскадной модели



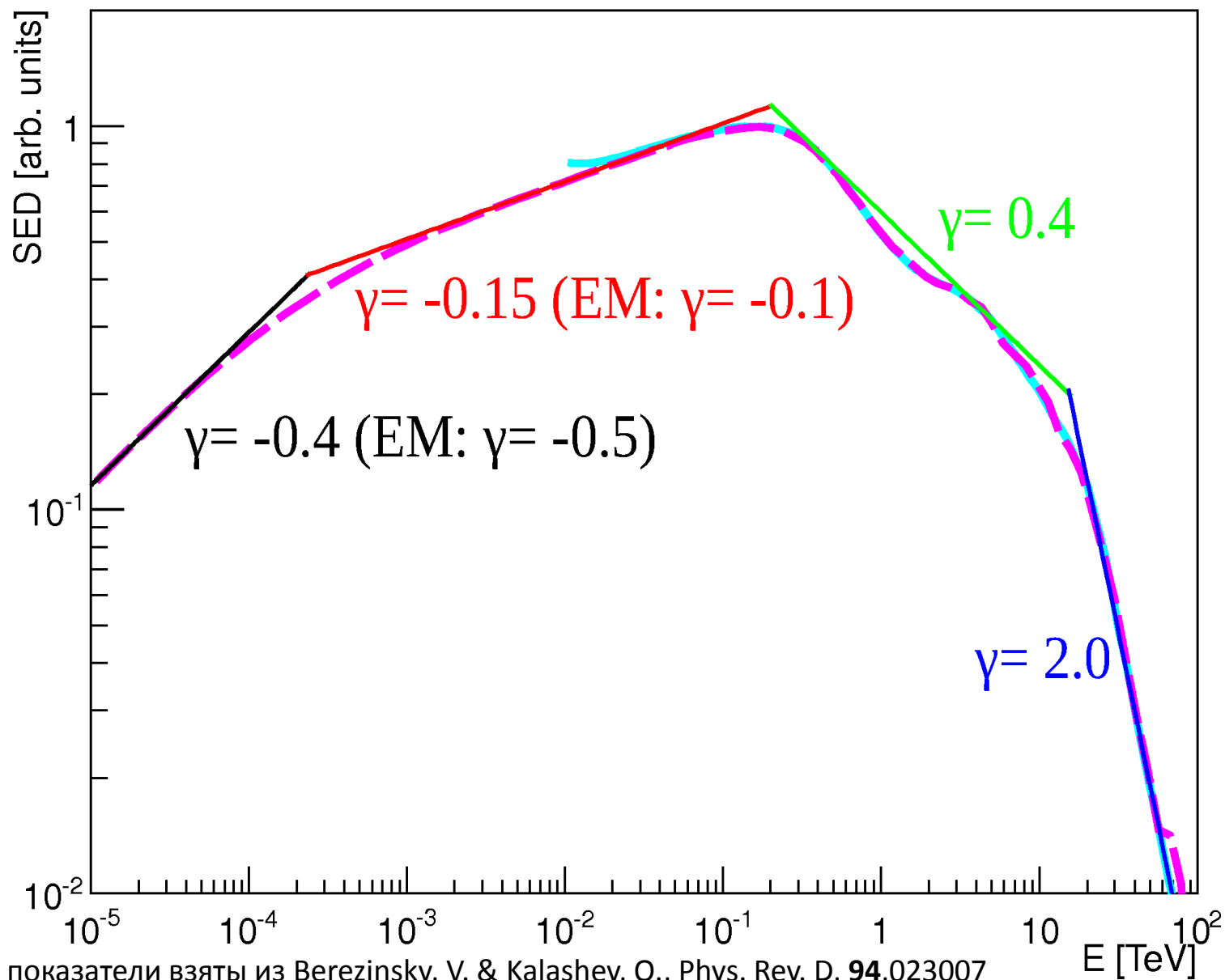
Прогнозы ЭМ каскадной модели



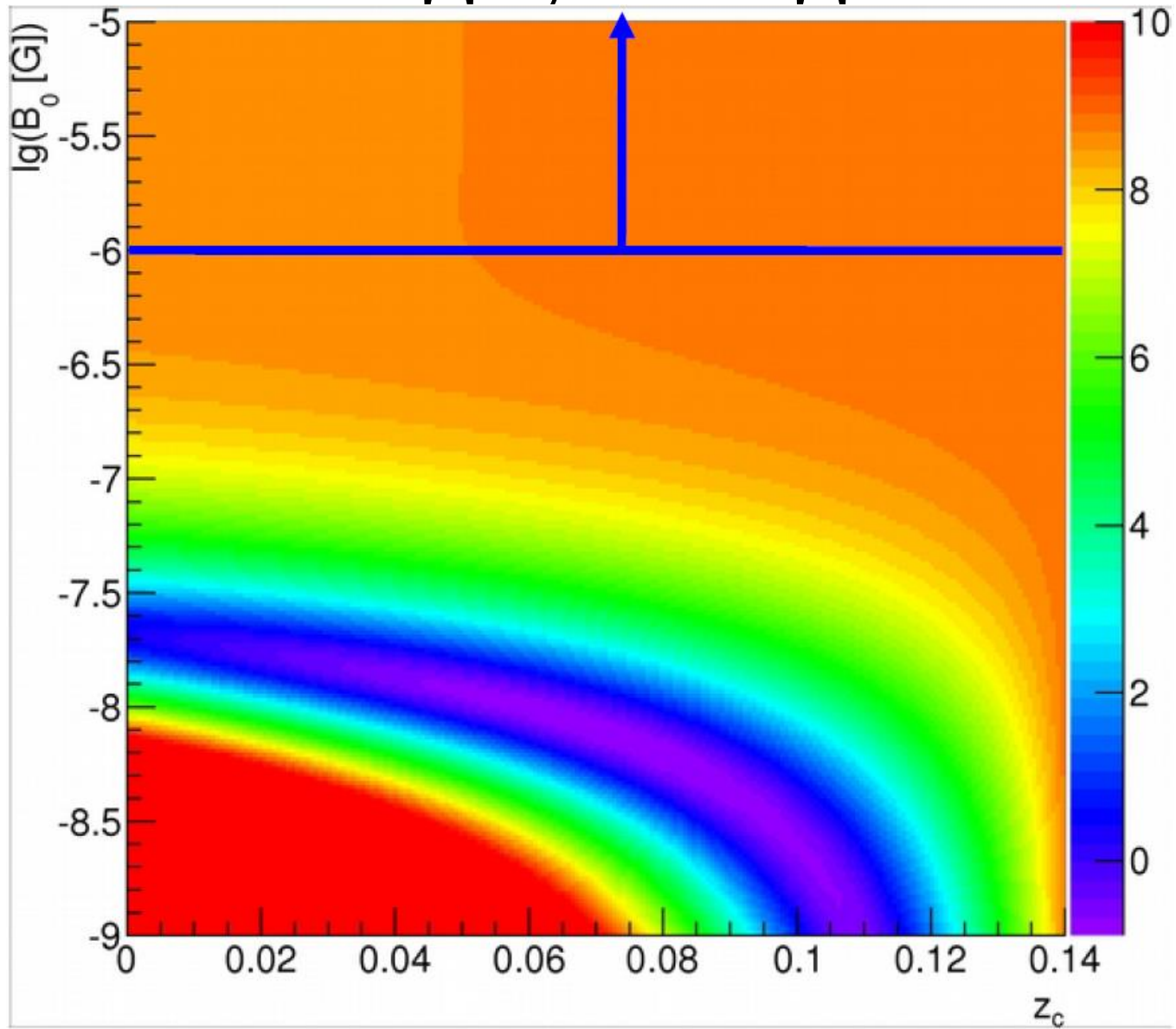
Модели внегалактического распространения гамма-квантов

- Модель только поглощения (образование пар + адиабатические потери)
- Электромагнитная каскадная модель (+ обратное комптоновское рассеяние)
- Адронная каскадная модель (учёт ЭМ каскадов от протонов и ядер с энергиями > 1 ЭэВ)
- Осцилляции гамма-квантов в аксионоподобные частицы
- Нарушение Лоренц-инвариантности, другие экзотические модели

Адронная каскадная модель



Ограничения на адронную каскадную модель



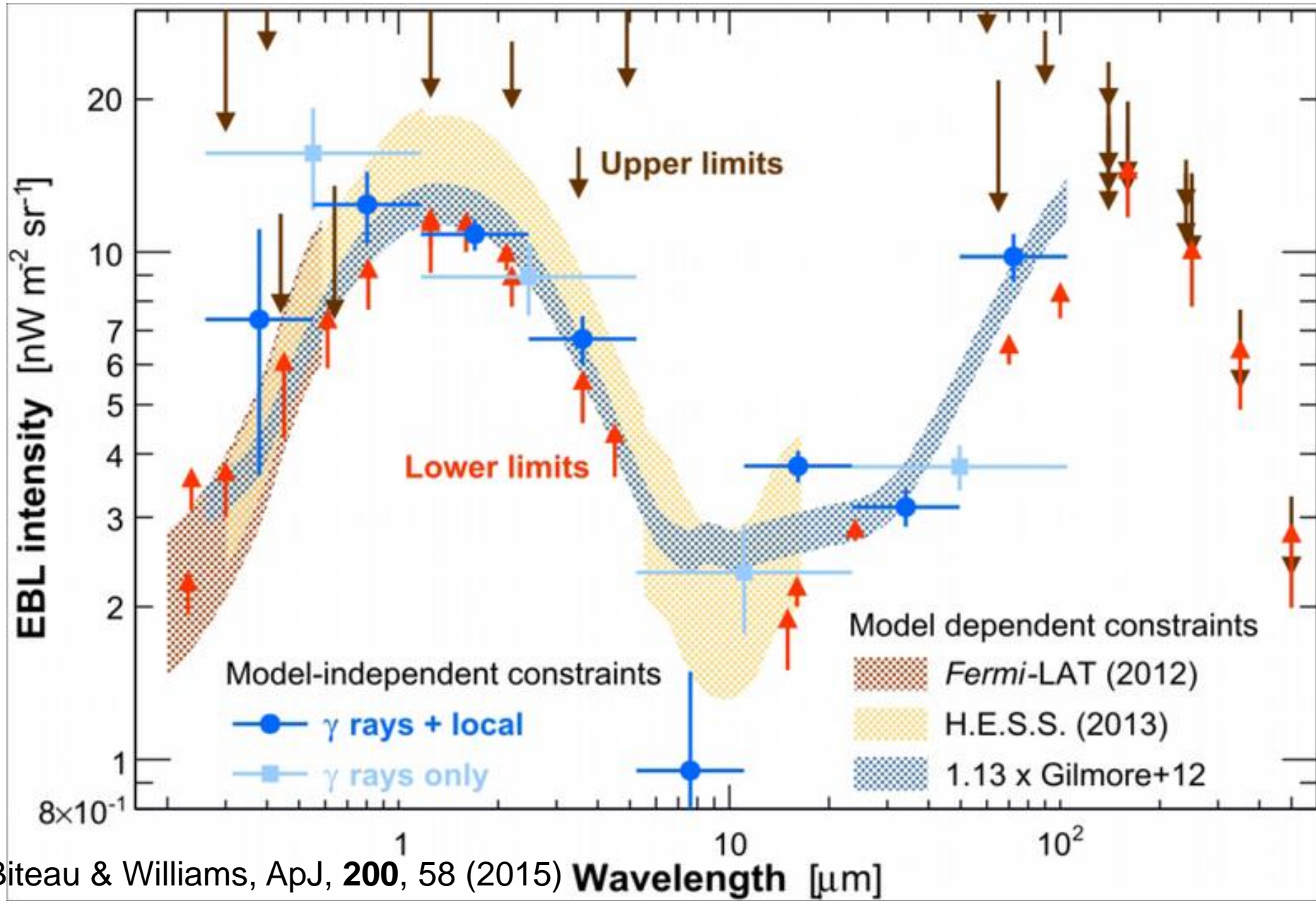
Выводы

- Существует несколько указаний на неполноту модели только поглощения;
- Электромагнитная каскадная модель может объяснить все эти эффекты;
- Самые базовые версии адронной каскадной модели были исключены;
- Структура и величина Внегалактического Магнитного Поля неизвестны; значения 1 аГс – 1 фГс на масштабе 1 Мпк ещё допустимы (в пустотах).

Спасибо за внимание

Дополнительные слайды

Высокоэнергичная аномалия спектров блазаров



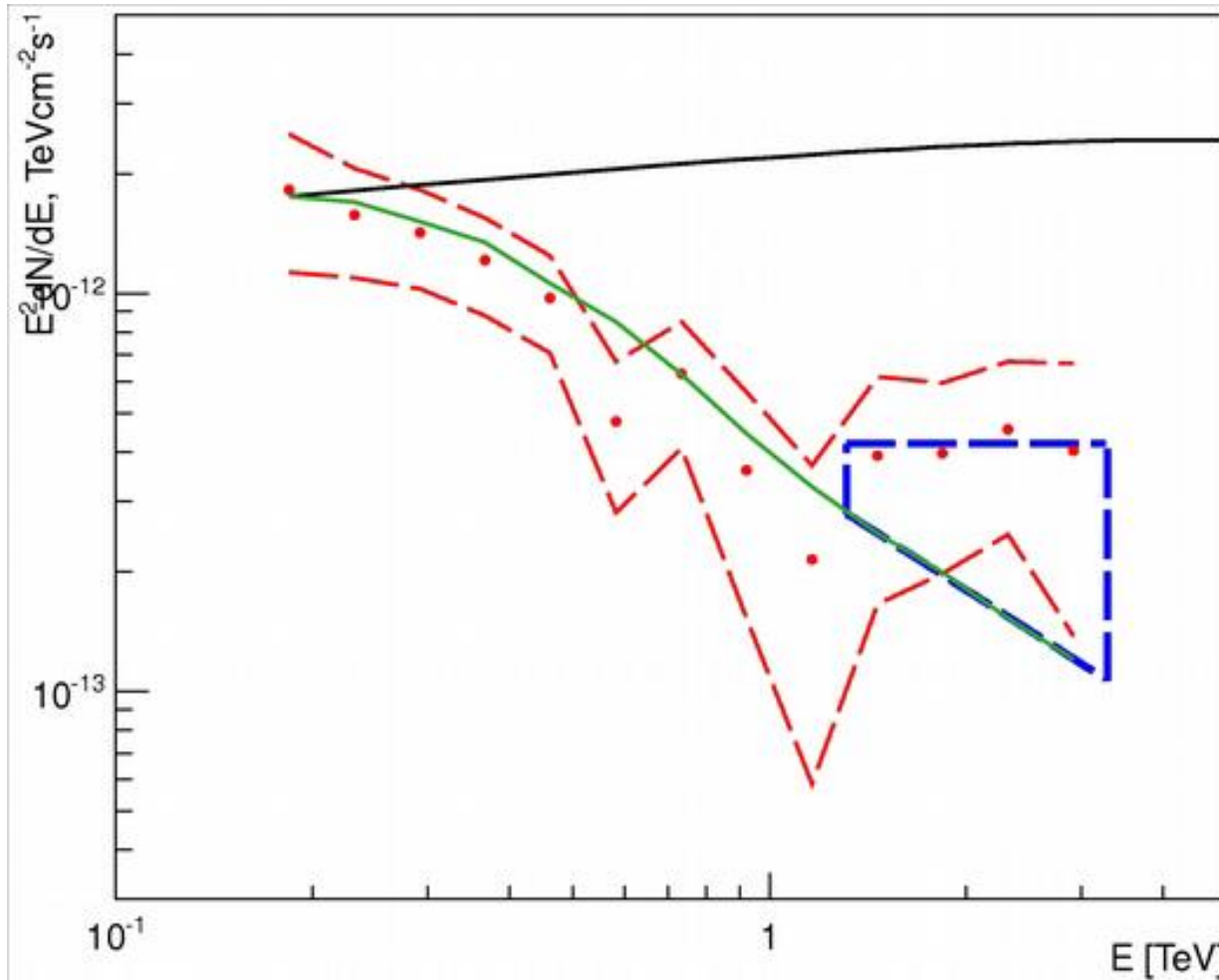
Некоторые неточности в работе Horns и Meyer

1. Теми же авторами было позже показано (astro-ph/1211.6405), что значимость аномалии может зависеть от параметров модели EBL нетривиальным образом;
2. τ предполагалось одинаковым внутри (довольно широких) энергетических бинов;
3. Статистика для последнего анализа выбиралась специально так, чтобы как минимум в одном бине было $\tau > 2$: возможный эффект выборки;
4. Систематическая погрешность не рассматривалась.

Некоторые неточности в работе Biteau и Williams

1. Модель EBL была взята из наблюдений;
2. Спектральные фиты склонялись к степенному закону;
3. Номер 2 из списка выше;
4. Номер 4 из списка выше;
5. Было произведено глобальное фитирование, которое не слишком подходит для поиска аномалии;
6. На некоторых спектрах всё ещё видны следы аномалии.

Высокоэнергичная аномалия спектров блазаров



$z = 0.186$
1ES 1101-232
Наблюдения
взяты из
Aharonian et al.
Nature, 440, 1018
2006

Значимость существования аномалии $\sim 3\sigma$ (систематические погрешности учтены, всего 6 источников). Практически всегда аномалия наблюдается для экстремальных блазаров, а не для «классических» блазаров (Mkn421, Mkn 501). Чёрная прямая – первичный спектр, точки – наблюдаемые данные.

Модели с аксионоподобными частицами

- Raffelt & Stodolsky, Phys. Rev. D, 37, 1237 (1988)
- Mirizzi et al., Phys. Rev. D, **76**, 023001 (2007)
- Kartavtsev et al., JCAP, 01, 024 (2017)
- Montanino et al., astro-ph/1703.07314 (2017)
- some constraints (criticized by some colleagues,
• but we take them at face value)
- Abramowski et al., Phys. Rev. D, **88**, 102003
• (2013)
- Ajello et al., Phys. Rev. Lett., 116, 161101 (2016)

Современные ограничения на параметры смешивания фотон-ALP

