

Влияние внегалактических магнитных полей на диффузное каскадное гамма-излучение

А. В. Урысон

ФИАН

Как образуется диффузное каскадное гамма-излучение

КЛ УВЭ $E > 4 \times 10^{19}$ эВ – **внегалактические**. Они взаимодействуют с фоновым излучением γ_b

γ_b – это **СМВ** (ГЗК-эффект), **радио**, **внегалактический фоновый свет (EBL)**

Основные взаимодействия:

(КЛ УВЭ) $p + \gamma_b \rightarrow p + \pi^0$ либо $n + \pi^+$

$\pi^0 \rightarrow \gamma + \gamma$, $\pi^+ \rightarrow \mu^+ + \nu_\mu$

$\mu^+ \rightarrow e^+ + \nu_e + \bar{\nu}_\mu$

$n \rightarrow p + e^- + \bar{\nu}_e$

Рожденные $e^\pm$, γ взаимодействуют с фоновым излучением γ_b , генерируя ЭМ-каскады.

Основные взаимодействия:

$e + \gamma_b \rightarrow e' + \gamma'$ (IC-рассеяние), $\gamma + \gamma_b \rightarrow e^+ + e^-$ (образование пар).

(Greisen 1966; Prilutsky, Rozental 1970; Berezhinsky, Kalashev 2016)

$e^{\pm}$ могут генерировать синхротронное излучение
в межгалактическом магнитном поле,
и это нарушает развитие ЭМ-каскада.

Развитие ЭМ-каскада не нарушается
у электронов с $E > 4 \times 10^{19}$ эВ, если $B \approx 10^{-11}$ Гс;

с $E \approx 10^{14} - 10^{17}$ эВ, если $B < 10^{-8}$ Гс;

с $E \leq 10^{14}$ эВ, если $B < 10^{-6}$ Гс.

(оценки Урысон, 1998)

Межгалактическое магнитное поле неоднородно.

В войдах $B < 10^{-11}$ Гс,

на границах войдов и в филаментах $B \sim 10^{-9} - 10^{-7}$ Гс,

внутри галактик и в их окрестности

(внутри галактических кластеров) $B \sim 10^{-6}$ Гс.

Относительный объем пространства вне войдов мал.

**Поэтому КЛ и частицы каскада распространяются в пространстве
в основном вне галактических кластеров и филаментов,
и влияние их магнитных полей на развитие каскада незначительно.**

**Однако это влияние, возможно, следует учитывать
при поиске экзотических частиц, т.к.**

**тогда необходимо знать интенсивность всех компонент
внегалактического диффузного излучения,
а каскадное гамма-излучение - одна из его компонент.**

МОДЕЛЬ. Источники КЛ УВЭ

1) Источники КЛ УВЭ —это АЯГ.

Их активность обусловлена СМЧД в центрах галактик.

2) Частицы ускоряются эл. полем либо на фронтах ударных волн (в джете или диске СМЧД),
спектр инжекции КЛ — степенной $\propto E^{-\alpha}$, $\alpha \approx 2.2-2.5$. В нашей модели $\alpha \approx 2.2$.

3) Красные смещения источников КЛ УВЭ $z \approx 0.0-5$.

Эволюция СМЧД неясна. Мы используем модель эволюции для АЯГ типа Blue Lacertae objects (BL Lac),

(эта модель эволюции описывает совокупность данных по КЛ УВЭ).

4) КЛ УВЭ состоят из протонов.

МОДЕЛЬ. Внегалактическое пространство

5) Внегалактическое фоновое излучение:

CMB – планковское распределение по энергии со средним значением энергии $\epsilon_r = 6.7 \times 10^{-4}$ eV, средняя энергия фотонов $n_r = 400 \text{ cm}^{-3}$;

Радиоизлучение – модель Protheroe, Biermann 1996, 1997;

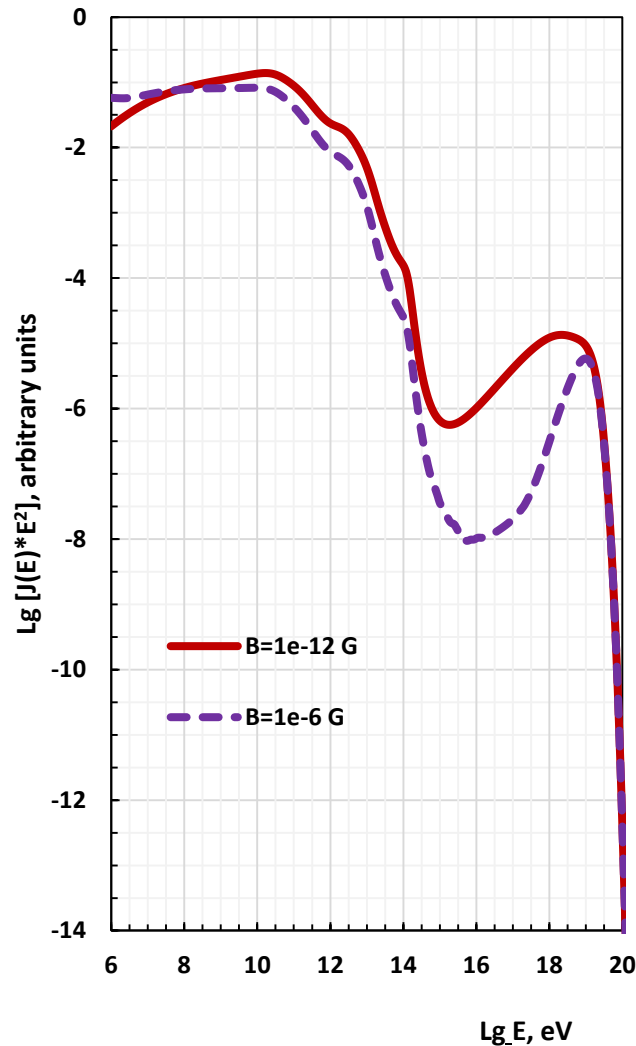
Внегалактический фоновый свет – модель Inoue et al. 2013.

6) Внегалактическое магнитное поле однородное. 2 случая: $B = 10^{-6}, 10^{-12}$ Гс.

Вычисления проводились с кодом открытого доступа

TransportCR (Калашев, 2015).

РЕЗУЛЬТАТЫ



Модельные спектры диффузного каскадного гамма-излучения около Земли при $B=10^{-6}$, 10^{-12} Гс.
(Спектры при $B<10^{-12}$ и $B=10^{-12}$ Гс совпадают.)

- $E \geq 10^{19}$ эВ: гамма-излучение от распадов π^0 , и кривые совпадают.
- $E < 10^{19}$ эВ: гамма-кванты рождаются и в ЭМ-каскадах, и в синхротронном процессе. Каскадные $e^\pm$ рассеиваются на синхротронных квантах $e + \gamma_s \rightarrow e' + \gamma'$. В результате энергия каскадных $e^\pm$ уменьшается, и в спектре каскадного гамма-излучения в области $\sim 10^{14}$ - 10^{18} эВ образуется провал, выраженный тем ярче, чем больше поле B .
- $E \sim 10^7$ - 10^9 эВ: в поле $B=10^{-6}$ Гс частицы перекачиваются в область низких энергий $\rightarrow$ кривые совпадают.
- $E < 10^7$ эВ: в результате $J(E, B=10^{-6} \text{ Гс}) > J(E, B=10^{-12} \text{ Гс})$.

Отношение $R=J(E, B=10^{-12} \text{ Гс})/J(E, B=10^{-6} \text{ Гс})$

$R=1$, когда интенсивности равны.

- Относительное отклонение δR от 1 минимально: $\delta R \approx 0.25-0.3$ в области энергий $\sim 10^7-10^9$ эВ.
- С ростом энергии $\delta R \sim 10-100$.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

- В области энергий $\sim 10^7$ - 10^9 эВ для оценки вклада диффузного каскадного гамма-излучения во внегалактический гамма-фон **не требуется уточнение моделей внегалактического магнитного поля.**
- Этот результат, возможно, будет полезен при поиске экзотических частиц, когда требуется знать все компоненты внегалактического диффузного гамма-фона.

СПАСИБО!