

Аннотация

В работе рассматривается поглощение высокоэнергичных фотонов при взаимодействии с фотонами теплового тормозного излучения в скоплениях галактик с образованием электрон-позитронных пар и его возможное влияние на искажение спектра далеких источников в гамма-диапазоне. Показано, что величина этого эффекта заметно меньше эффектов поглощения гамма-фотонов при взаимодействии с фотонами реликтового излучения и фотонами внегалактического фона инфракрасного и радио- диапазонов. Тем не менее было найдено, что данный эффект может проявляться для гамма-фотонов с энергиями $0.1 \div 100$ ГэВ.

Поглощение гамма-квантов

Сечение реакции взаимодействия фотонов с рождением $e^- - e^+$ пары:

$$\sigma = \pi r_e^2 \frac{1 - \beta^2}{2} \left[(3 - \beta^4) \ln \left(\frac{1 + \beta}{1 - \beta} \right) - 2\beta(2 - \beta^2) \right] \cdot H(s - 1), \quad s = \frac{\epsilon E}{2m^2 c^4} \cdot (1 - \cos \theta), \quad \beta = \sqrt{1 - \frac{1}{s^2}} \quad (1)$$

где $r_e = \frac{e^2}{m c^2}$ – классический радиус электрона, $\beta = \frac{v}{c}$ – скорость электрона и позитрона в системе центра масс, отнесенная к скорости света, $H(x)$ – функция Хевисайда.

Для плазмы, имеющей максвелловское распределение электронов по скоростям с температурой T_e излучательную способность вещества ϵ_ν можно записать в виде [1]:

$$\epsilon_\nu = \frac{8}{3} \left(\frac{2\pi}{3} \right)^{1/2} \frac{e^6}{m^2 c^3} \left(\frac{m}{k T_e} \right)^{1/2} N_i N_e g(\nu, T_e) e^{-\frac{h\nu}{k T_e}} \quad (2)$$

где ν – частота фотона тормозного излучения, $\epsilon = h\nu$, N_e и N_i – концентрации электронов и ионов, T_e – электронная температура, $g(\epsilon, T_e)$ – фактор Гаунта, который мы будем считать равным [2]:

$$g(\nu, T_e) = \frac{\sqrt{3}}{\pi} K_0(h\nu/2kT_e) e^{h\nu/2kT_e} \quad (3)$$

Геометрия

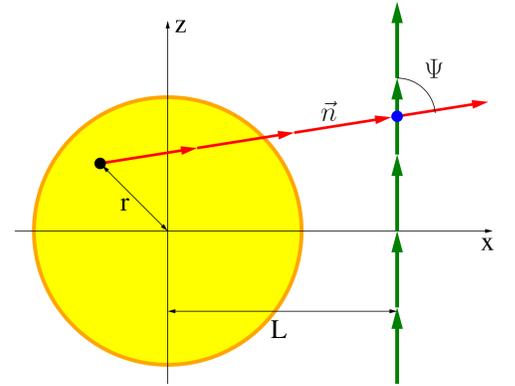


Рис. 1. Схема рассматриваемой геометрии. Газ в скоплении изображен желтым кругом, траектория гамма-кванта – зеленой прямой.

Результаты

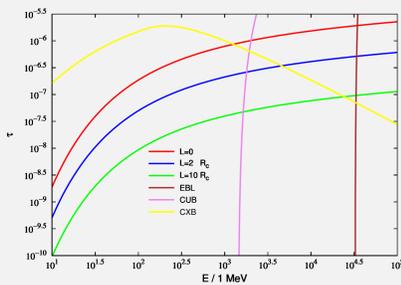


Рис. 2. Зависимость оптической толщины τ от энергии гамма-кванта для скопления Bullet.

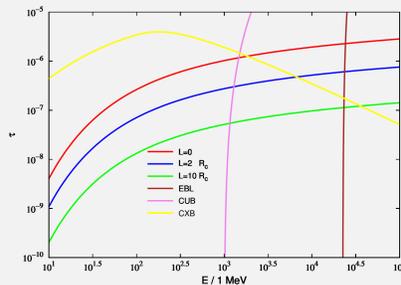


Рис. 3. То же, что на рис. 2 для скопления El Cordo.

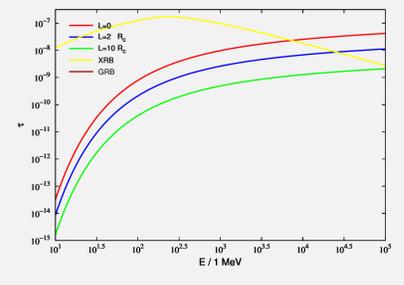


Рис. 4. То же, что на рис. 2 для скопления Leo.

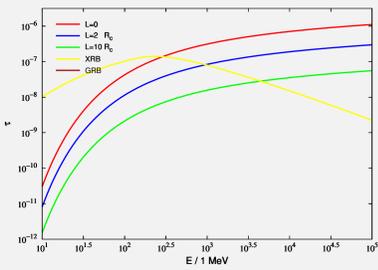


Рис. 5. То же, что на рис. 2 для скопления Perseus.

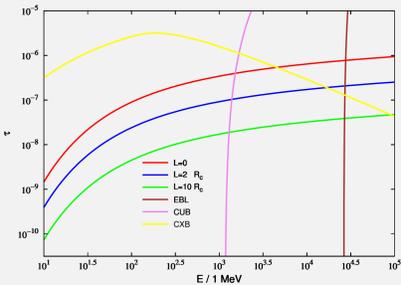


Рис. 6. То же, что на рис. 2 для скопления Phoenix.

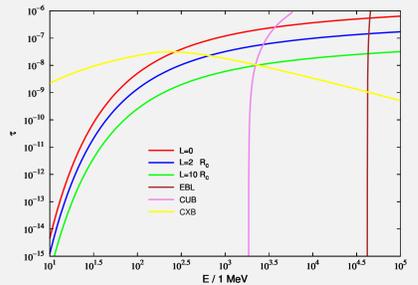


Рис. 7. То же, что на рис. 2 для скопления Virgo.

Выводы

В ходе работы было показано, что взаимодействие гамма-квантов с образованием электрон-позитронных пар с тормозным излучением газа в скоплениях галактик крайне мало. Характерные значения оптической толщины $\tau \sim 10^{-8} - 10^{-5}$. Это намного меньше, чем оптическая толщина из-за аналогичного взаимодействия с EBL- и CRB-фотонами и тем более с CMB-фотонами. Однако было найдено, что если взять EBL-спектр приведенный в работе [3], то в диапазоне энергий $E = 10^2$ МэВ – 10^2 ГэВ взаимодействие с CMB-, EBL- и CRB-фотонами пренебрежимо мало по сравнению с рассматриваемым в данной работе взаимодействием гамма-квантов с фотонами тормозного излучения газ в скоплениях галактик, но сравнимо с оптической толщиной по поглощению на CXB-фотонах, спектр которых взят из работы [4]. и может превышать последнюю в указанном выше диапазоне энергий.

Список литературы

- [1] K. Lang, Astrophysical formulae, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 1974
 [2] В. В. Железняков. Излучение в астрофизической плазме, М.: «Янус-К», 1997
 [3] A. Franceschini, G. Rodighiero, M. Vaccari, Astron. Astrophys **487**, 837 (2008)
 [4] Ajello M et al 2008 *ApJ* **689** 666-77