

СТАЦИОНАРНЫЙ РЕЛЯТИВИСТСКИЙ ГАЗ В КОСМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТАХ И γ -ФОН В ОБЛАСТИ 1-20 Мэв

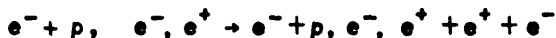
Р.А.Сюняев

Как известно [1] спектр рентгеновского и γ -фона при $40 \text{ Кэв} < h\nu < 1 \text{ Мэв}$ и точки при $h\nu \sim 30 \text{ Мэв}$ [2] и 100 Мэв [3] хорошо согласуются со степенным законом $I_\nu \sim \nu^{-1,2}$. Недавние измерения выявили увеличение интенсивности фонового излучения в области $1 < h\nu < 6 \text{ Мэв}$ [4]. В данной работе этот факт интерпретируется как наложение на общий степенной спектр фона суммарного излучения дискретных источников тормозного γ -излучения.

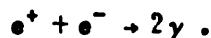
Ранее были сделаны попытки объяснить обнаруженный эффект как результат γ -активности ядер Ni^{56} и Co^{56} , возможно, синтезируемых при вспышках сверхновых в галактиках [5] или как γ -кванты, образующиеся при распадах π^0 -мезонов в период расширения Вселенной, соответствующий красному смещению $z \sim 70 + 100$ [6]. Во втором варианте считается, что π^0 -мезоны образуются при столкновениях протонов космических лучей с межгалактическим газом. Обе эти интерпретации противоречат последним экспериментальным данным: первая предсказывает обрыв спектра при $3,26 \text{ Мэв}$, что не наблюдается [7], а ожидаемая согласно второй интенсивность фона при $h\nu \sim 30$ и 100 Мэв превышает наблюдаемую [2, 3].

Для предположения, сделанного в этой статье (фон объясняется тормозным излучением релятивистской плазмы в источниках), имеется ряд оснований. Во-первых, нагрев вследствие индуцированного комптон-эффекта низкочастотного излучения приводит к релятивистским температурам всех электронов вблизи мощных источников инфракрасного (квазары, ядра галактик) и радиослучения [8]. Возможно, что нагрев ударными волнами, переменными магнитными полями и т. д. также ведет к релятивистским температурам электронов. Во-вторых расчет равновесной концентрации позитронов в стационарной оптически тонкой релятивистской плазме показал, что при температуре (или в отсутствии максвелловского распределения при средней энергии) электронов $kT = 20 \text{ Мэв}$ начинается катастрофическое рождение пар [9], увеличиваются потери энергии на тормозное и синхротронное излучение, при комптон-эффекте низко-частотного излучения и т. д. При этом плотность электронно-позитронных пар определяется лишь скоростью энерговыделения источником энергии, а температура стабилизируется на уровне 20 Мэв .

Вывод, сделанный в работе [9], легко понять. Концентрация позитронов в стационарных условиях определяется равновесием между двумя процессами: рождением пар:



и аннигиляцией



Сечение первого процесса вдали от порога практически не зависит от энергии, а второго — быстро падает: $\sigma \sim 1/E^2$. При $E \sim 20 \text{ Мэв}$ сечение первого

процесса становится больше сечения второго, количество позитронов становится близким к количеству электронов и становятся важными рождения пар на позитронах и вновь рожденных электронах, т. е. число пар быстро возрастает.

Для выводов не существенно предположение о максвелловском распределении по энергиям, важно лишь, что средняя энергия электронов велика. Обычно рассматривается другой случай, когда в данную область пространства вспыскиваются быстрые частицы, покидающие область одновременно с потерей энергии. Наши оценки относятся лишь к плазме с временем жизни больше времени установления равновесия. Наблюдения плазмы с температурой (или эффективной энергией) электронов существенно выше критической свидетельствует о кратковременном пребывании плазмы в таком состоянии.

Существование внутри и в окрестности квазаров, ядер галактик радиоисточников и других мощных источников низкочастотного излучения релятивистской плазмы должно превращать их в источники γ -излучения с характерным спектром. В астрофизике обычно рассматриваются степенные спектры жесткого излучения, обязанные своим появлением обратному комптон-эффекту на низкочастотном излучении или синхротронной эмиссии в магнитном поле релятивистских электронов, имеющих степенной спектр и составляющих ничтожную долю всех электронов в объекте. Области, в которых все электроны разогреты до релятивистских температур и имеют максвелловское распределение излучают тормозные γ -кванты со спектром вида $I_\nu = \text{const} \exp -h\nu/kT$, т. е. при $h\nu \ll kT$ интенсивность практически не зависит от энергии кванта, а при $h\nu \gg kT$ экспоненциально падает. Результаты данной статьи, свидетельствующие о наличии верхнего предела температуры $kT = 20 \text{ Мэв}$ стационарной релятивистской плазмы (время ее существования должно превышать время рождения позитронов), накладывают условия и на спектр обсуждаемых γ -источников, он должен экспоненциально обрываться при $h\nu \sim 20 \text{ Мэв}$. Интересно, что рождение позитронов приводит к увеличению меры эмиссии и интенсивности γ -излучения. Верхняя граница светимости определяется лишь мощностью источника нагрева. Аннигиляция позитронов и электронов из-за их больших энергий не может привести к излучению γ -линии с $h\nu \sim 0,511 \text{ Мэв}$, а так как энергетически скорость рождения позитронов в 137 раз более слабый процесс чем тормозное излучение, аннигиляция не влияет на γ -интенсивность в непрерывном спектре. Так как квазары и мощные радиоисточники претерпевают сильную космологическую эволюцию по аналогии с ситуацией с фоном в радиодиапазоне можно считать что главный вклад в фон дают источники, излучавшие при красном смещении $z \sim 2$. В этом случае экспоненциальный обрыв приходится на $h\nu \sim 7 \text{ Мэв}$. Отметим, что полная плотность энергии фонового излучения в области $1-6 \text{ Мэв}$ составляет лишь $3 \cdot 10^{-5} \text{ эв/см}^3$, что на три-четыре порядка, меньше плотности энергии фонового излучения в инфракрасном диапазоне [10]. Отсюда видно, что затрата малой части полной мощности источников инфракрасного излучения на разогрев электронов до релятивистских температур вполне может обеспечить наблюдаемые искажения γ -фона.

Автор благодарен Г.С.Бисноватому-Когану, Я.Б.Зельдовичу и Дж.Ветте за обсуждения.

Литература

- [1] G.C. Fazio. *Nature*, 225, 905, 1970.
 - [2] Л.Ф.Калинкин. Доклад на XIII Ассамблее Коспар, Ленинград, 1970.
 - [3] C.W.Clark, G.P.Garmire, V.L.Craushaar. *ApI. J. Lett.*, 153, 203, 1968.
 - [4] J.Vette, D.Gruber, J.Matteson, L.E.Peterson. *Proceedings IAU Symposium 37, Reidel, 1969.*
 - [5] D.D.Clayton, J.Silk. *ApI. J. Lett.*, 158, 43, 1969.
 - [6] F.W.Stecker. *Nature*, 224, 970, 1969.
 - [7] J.Vette, D.Gruber, J.Matteson, L.E.Peterson. *ApI. J. Lett.*, 160, 170, 1970.
 - [8] Е.В.Левич, Р.А.Сюняев. *Радиофизика*, 13, №9, 1970.
 - [9] Г.С.Бисноватый-Коган, Я.Б.Зельдович, Р.А.Сюняев. *Письма в ЖЭТФ*, 12, 64, 1970.
 - [10] М.С.Лонгейер, Р.А.Сюняев. *Письма в ЖЭТФ*, 10, 56, 1969; *ApI. J. Lett.*..4. 65, 1969.
-