

# АКАДЕМИЯ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР

## АСТРОФИЗИКА

ТОМ 15

ФЕВРАЛЬ, 1979

ВЫПУСК 1

УДК 524.1

### ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЕ ГАЛАКТИЧЕСКОГО ДИСКА И ОБРАТНЫЙ КОМПТОН-ЭФФЕКТ ЭЛЕКТРОНОВ НА СВЕТЕ ЗВЕЗД

В. П. ФОМИН

Поступила 26 июня 1978

На установке для регистрации черенковских вспышек широких атмосферных ливней обнаружено понижение интенсивности потока космических лучей с энергией  $\sim 10^{12}$  эв в интервале галактических широт  $|b^{\text{II}}| \leq 1.5^\circ$ . Средняя амплитуда эффекта составляет величину  $(-0.7 \pm 0.2)\%$  от фона космических лучей. Достоверность результата наблюдений оценивается в  $(1 - 10^{-5})$ . Существование эффекта понижения подтверждается анализом результатов наблюдений других авторов. Предлагается гипотеза, в которой наблюдаемый эффект связан с галактическими гамма-квантами, образующимися в результате обратного комптон-эффекта высокоэнергичных электронов на свете звезд. При этом предполагается, что плотность фотонов, из-за поглощения пылью, вблизи экватора ниже, чем на краю галактического диска. Численные расчеты удовлетворительно согласуются с экспериментальными результатами при условии, что плотность электронов в диске и разность в плотности фотонов между областями, лежащими на краю диска и на экваторе, в несколько раз выше, чем для окрестности Солнца.

Начиная с 1969 г., в Крыму, на установке для регистрации черенковских вспышек широких атмосферных ливней, ведутся наблюдения с целью поиска источников  $\gamma$ -квантов с энергией  $\sim 10^{12}$  эв. Наряду с пульсарами, остатками сверхновых и другими типами объектов к возможным источникам была отнесена галактическая плоскость. К настоящему времени накоплен большой статистический материал для восьми областей сканирования галактического экватора. Предварительные результаты обработки наблюдательного материала опубликованы в [1]. Они свидетельствуют о понижении интенсивности счета черенковских вспышек в направлении галактического экватора, в интервале галактических широт  $|b^{\text{II}}| \leq 1.5^\circ$ . По уточненным данным среднее значение амплитуды эффекта понижения для всех областей сканирования составляет величину  $(-0.7 \pm 0.2)\%$  от фона

7—1328

космических лучей. Отметим, что отрицательные значения амплитуд эффектов, хотя и с меньшей статистической точностью, практически наблюдаются для всех восьми областей. Статистическая достоверность эффекта понижения интенсивности счета черенковских вспышек вблизи экватора очень велика и равна  $(1-10^{-5})$ .

В [1] был проведен специальный анализ, который показал, что такое поведение интенсивности счета черенковских вспышек не может быть объяснено аппаратными эффектами и, по-видимому, связано с космическими лучами.

Ранее неоднократно различными группами авторов на установках подобного типа проводились наблюдения за объектами, находящимися в окрестности галактического экватора. Так как эти наблюдения проводились методом сканирования, то в этом случае амплитуда эффекта для объекта дается относительно области, находящейся вне галактического экватора. В связи с этим нами были просмотрены все доступные нам данные других авторов. В результате удалось выявить семь областей сканирования галактического экватора. Из семи случаев в шести авторы дают отрицательные значения амплитуд эффектов. И хотя в каждом отдельном случае статистическая надежность эффекта невелика, его общая по всем этим данным достоверность существования составляет величину  $(1-6 \cdot 10^{-4})$ . Это является убедительным подтверждением полученного нами результата.

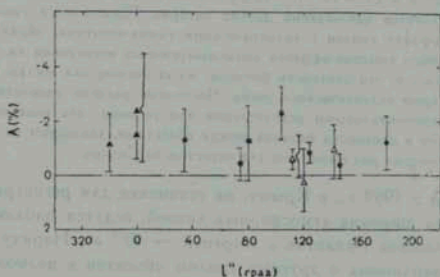


Рис. 1. Распределение амплитуд эффектов по галактической долготе.

● — КрАО, ○ — [2], △ — [3], ▲ — [4].

С целью выяснения зависимости амплитуды эффекта понижения от галактической долготы было построено соответствующее распределение (рис. 1). В это распределение вошли как наши данные, так и данные других авторов. Из его рассмотрения, ввиду больших ошибок измерений, нам представляется невозможным установить здесь какую-либо зависимость

амплитуды эффекта от галактической долготы. Хотя, возможно, имеется некоторая тенденция к возрастанию амплитуды эффекта при приближении к галактическому центру. С другой стороны, так как эффект понижения наблюдается в узком диапазоне галактических широт и практически во всех направлениях по галактической долготе, можно предположить, что он связан с гамма-квантами сверхвысоких энергий. В этом случае для объяснения эффекта понижения можно предложить два основных варианта:

- 1) Гамма-кванты имеют метагалактическое происхождение и наблюдается их эффект поглощения в галактическом диске.
- 2) Источники гамма-квантов имеют специфическое распределение относительно галактической плоскости.

Оценки, проведенные при разумных значениях плотности межзвездного вещества, магнитного поля и электромагнитного теплового излучения, исключают первый вариант. Поэтому нам представляется более привлекательным второй вариант.

Действительно, можно предположить, что гамма-кванты сверхвысоких энергий образуются в галактическом диске в результате обратного комптоновского рассеяния высокоэнергичных электронов на тепловом излучении звезд. В этом случае для объяснения природы эффекта понижения интенсивности гамма-квантов в направлении на галактический экватор достаточно, чтобы средняя по лучу зрения плотность фотонов в этом направлении была ниже, чем в соседних направлениях. В принципе, такое явление возможно, если имеется эффективное поглощение света звезд межзвездной пылью, которая, как известно, сильно концентрируется к галактической плоскости.

На основании результатов наблюдений в гамма-диапазоне можно оценить разность средних по лучу зрения энергетических плотностей фотонов между направлением с  $b^{\text{II}} = 5^\circ$ , где эффект понижения интенсивности счета черенковских вспышек уже практически отсутствует, и направлением на галактический экватор. Такие расчеты, с использованием клейн-нишиновского сечения взаимодействия электронов с тепловыми фотонами, были проведены. При этом за величину эффекта понижения интенсивности потока гамма-квантов было взято значение ( $-0.7$ )% от фона космических лучей, что для энергии  $10^{12}$  эв соответствует абсолютному значению дефицита потока гамма-квантов в интервале  $(0.6 \div 3.0) \cdot 10^{-8}$  кв/см<sup>2</sup>сек стер. Здесь неточность в определении абсолютного значения понижения потока гамма-квантов является результатом неопределенности энергетического порога установки для регистрации широких атмосферных ливней, инициируемых гамма-квантами и фоном космических лучей.

В этих расчетах плотность электронов в диске была взята в 4 и 8 раз больше, чем локальная плотность. Такой выбор плотности электронов объясняется последними данными, которые имеются по этому вопросу в

литературе [5]. Они получены при изучении спектра гамма-квантов в области  $E > 35 \text{ Мэв}$ . Результаты расчетов для различных плотностей электронов и двух крайних значений дефицита потока гамма-квантов даны в табл. 1. В этой таблице эффективная плотность электронов в диске выражена в единицах локальной плотности. Из рассмотрения табл. 1 можно заключить, что разность средних по лучу зрения энергетических плотностей фотонов между двумя выбранными направлениями ( $b'' = 5^\circ$  и  $b'' = 0^\circ$ ) очень сильно зависит как от значения дефицита потока гамма-квантов, так и от эффективной плотности электронов в диске. Эта разность лежит в диапазоне  $0,6 \div 6 \text{ эв/см}^2$ .

Таблица 1

Дефицит потока кв. см <sup>2</sup> /сек. стер	Плотность элек- тронов, $n_e/n_{e0}$	Разность в плотности фотонов, эв/см <sup>2</sup>
$3 \cdot 10^{-8}$	4	6
	8	3
$0,6 \cdot 10^{-8}$	4	1,2
	8	0,6

Для того, чтобы представить, при каких условиях может возникнуть такая разность между средними по лучу зрения плотностями фотонов и двух заданных направлениях, были проведены расчеты для некоторой упрощенной модели Галактики. В этой модели радиальное распределение звезд и пыли относительно галактического центра не учитывалось, а их распределение относительно галактической плоскости принималось в известном барометрическом приближении:

$$n_i(h) = n_i(0) \exp \left\{ -\frac{|h|}{\beta_i} \right\}; \quad \rho(h) = \rho(0) \exp \left\{ -\frac{|h|}{\beta_d} \right\}.$$

Здесь индекс  $i$  означает определенный спектральный класс звезд,  $n_i(h)$  и  $\rho(h)$  — концентрация звезд  $i$ -го спектрального класса и пыли на расстоянии  $h$  от галактической плоскости соответственно,  $\beta_i$  и  $\beta_d$  — некоторые параметры, определяющие ширину распределения звезд и пыли относительно галактической плоскости соответственно.

Естественно, такая модель является существенным упрощением общей картины и поэтому окончательные результаты расчетов не могут претендовать на большую точность отображения реальной картины распределения света звезд в галактическом диске. Вообще здесь необходимо отметить, что в подобных расчетах необходимо использовать некоторые эффективные для всей галактики в целом значения параметров распределений звезд и пыли, которые известны к настоящему времени недостаточно полно. Особенно это касается звезд типа красных гигантов, дающих существен-

ный вклад в общую энергетическую плотность фотонов в диске. Поэтому все расчеты были проведены для нескольких вариантов, в которых значения параметров распределений красных гигантов и пыли менялись по отношению к их локальным значениям в достаточно широких пределах. Это было сделано еще и для того, чтобы посмотреть, насколько сильно влияют изменения этих параметров на плотность фотонов в диске.

Среднее поглощение света в окрестности Солнца в направлении полюса Галактики для видимого диапазона принималось равным 0,485 звездной величины [6].

В табл. 2 приведены результаты расчетов для трех различных вариантов. В первом варианте значения параметров распределений звезд и пыли были взяты такими, какими они наблюдаются в окрестности Солнца. Во втором — увеличено в 3 раза значение плотности пыли и увеличен параметр, характеризующий ширину в распределении красных гигантов с 300 пс до 400 пс. И, наконец, в третьем варианте дополнительно к изменениям второго варианта увеличено в 3 раза значение функции светимости для красных гигантов.

Таблица 2

Вариант	Пыль	Параметры распределения кр. гигантов		Разность в плотности фотонов
	$\rho/\rho_0$	$\beta$ (пс)	$n_1/n_{10}$	$эв/см^3$
1	1	300	1	0,2
2	3	400	1	0,7
3	3	400	3	2,0

Из рассмотрения табл. 2 хорошо видно, что разность между средними по лучу зрения энергетическими плотностями фотонов в двух направлениях с  $b^{\text{II}} = 5^\circ$  и  $b^{\text{II}} = 0^\circ$  очень сильно зависит как от плотности пыли, так и от значений параметров распределений для красных гигантов. Отсюда же можно сделать вывод, что при некотором предположении относительно этих параметров для всей галактики в целом возможно существование такой разности в плотности фотонов между двумя направлениями, которая обеспечит наблюдаемый эффект понижения интенсивности потока гамма-квантов в области галактического экватора.

И, наконец, на рис. 2 приведена расчетная зависимость ожидаемого эффекта понижения интенсивности счета черенковских вспышек от галактической широты. Эта кривая соответствует случаю, когда параметр  $\beta_1$  для красных гигантов равен 400 пс. Отметим, что изменение функции светимости для красных гигантов ( $n_1$ ) практически не отражается на ширине области понижения. На этом же рисунке приведена усредненная по всем об-

ластям сканирования экспериментальная зависимость интенсивности счета черенковских вспышек от галактической широты. Из сравнения расчетной и экспериментальной зависимостей, по-видимому, можно говорить об удовлетворительном их согласии. Полуширина на полувывсоте расчетной кривой практически совпадает с экспериментальным значением —  $15^\circ$ .

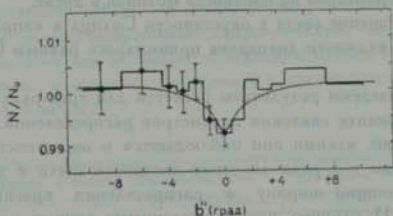


Рис. 2. Экспериментальная и расчетная зависимости амплитуды эффекта от галактической широты.

Таким образом, предложенная гипотеза о природе эффекта понижения интенсивности черенковских вспышек в направлении на галактический экватор может быть принята в предположении, что плотность электронов и разность между энергетическими плотностями тепловых фотонов для областей, лежащих на краю галактического диска и в области экватора, в несколько раз выше, чем для окрестности Солнца.

В заключение автор благодарит А. А. Степаняна и Б. М. Владимирского за ряд полезных обсуждений.

Крымская астрофизическая  
обсерватория

## GALACTIC DISK GAMMA-RAYS AND INVERSE COMPTON SCATTERING OF THE HIGH ENERGY ELECTRONS ON STARLIGHT

V. P. FOMIN

The decrease of intensity of the  $\sim 10^{17}$  eV cosmic-rays at galactic latitudes  $|b^{II}| < 1.5^\circ$  was found the installation for detecting Cherenkov flashes from cosmic-ray air showers. Average amplitude of the effect is equal to  $(-0.7 \pm 0.2)\%$  of the cosmic-ray background with  $10^{-5}$  level of confidence. The reality of the effect is confirmed by observations of other authors.

A suggestion is made that the lack of the cosmic-rays intensity is connected with galactic gamma-rays produced by Inverse Compton process of the high-energy electrons on starlight. If we take into account an absorption of the starlight photons by dust it may be shown that the photon density is reduced near the galactic plane as compared with that in external parts of the disk. The calculations agree well with experimental results if we assume that both the mean electron density of the disk and the difference of the photon densities between external and internal regions are by several times higher than those values for the solar neighbourhood.

## ЛИТЕРАТУРА

1. В. П. Фомин, Изв. КРАО, 56, 35, 1976.
2. А. Е. Чудаков, В. А. Дадыкин, В. И. Зацепин, Н. М. Нестерова, Тр. ФИАН, 26, 118, 1964.
3. T. C. Weekes, H. G. Fazio, H. F. Helmken, E. O'Mongain, G. H. Rieke, Ap. J., 174, 165, 1972.
4. F. E. Grindlay, H. F. Helmken, R. H. Brown, J. Davis, L. R. Allen, Ap. J., 201, 82, 1975.
5. A. W. Strong, A. W. Wolfendale, K. Bennett, R. D. Wills, M. N., 182, 751, 1978.
6. Б. Н. Фесенко, Астрон. ж., 52, 287, 1975.