

## О МЕТОДАХ ПОИСКОВ ЛОКАЛЬНЫХ ИСТОЧНИКОВ ФОТОНОВ ВЫСОКОЙ ЭНЕРГИИ\*

*Совместно с Г. Т. Зацепиным*

Данные о процессах, связанных с космическими лучами в ряде астрономических объектов, весьма важны для решения многих астрофизических проблем. Источниками таких данных могут являться фотоны высокой энергии, приходящие на Землю без отклонения.

В работе Коккони [1] предложено использовать для лоцирования на небесной сфере источников фотонов с  $E \sim 10^{12}$  эВ методику, основанную на измерении времен относительного запаздывания прохождения фронта развивающегося атмосферного ливня через сцинтилляторы [2].

Нам представляется, что регистрация ливней от первичных фотонов с энергией  $E \sim 10^{12}$  эВ в телесном угле  $\Omega \sim 10^{-3}$  стер может быть осуществлена более надежно и значительно более простыми средствами путем использования черенковского излучения, создаваемого ливнем в атмосфере. Для этого регистрация световой вспышки должна осуществляться фотоумножителем, расположенным в фокусе большого параболического зеркала. Угловое разрешение такой системы может быть доведено до величины  $\pm 1^\circ$ .

Целесообразно применение нескольких параллельно ориентированных параболоидов с тем, чтобы можно было выделить ливни по совпадениям импульсов во времени. При этом возможно регистрировать ливни такой мощности, когда число световых квантов, собираемых на фотокатоде, больше 200 [3]. Расчеты интенсивности черенковского свечения ливня на уровне моря, вызванного первичным фотоном с энергией  $10^{12}$  эВ, дают поток  $\sim 50$  квантов/м<sup>2</sup>. Для регистрации таких ливней площадь параболического зеркала должна составлять 4 м<sup>2</sup>. Несмотря на ряд недостатков (возможность вести наблюдения только в безлунные и безоблачные ночи), предлагаемая методика кажется более перспективной, чем методика Коккони [1], во всяком случае при поиске фотонов от известных радиоастрономических объектов.

При расположении установки на уровне гор, а также применении зеркал большей площади, возможна регистрация первичных фотонов меньших энергий. В области высоких энергий для улучшения соотношения между эффектом от фотонов и фоном от космических лучей возможно применение детекторов проникающих частиц, включенных на антисовпадения.

Достоинством предлагаемого метода, помимо возможности располагать установку на уровне моря, является относительно большая эффективная площадь

---

\* ЖЭТФ, т. 41, вып. 2(8), стр. 655 (1961).

регистрации ливней (порядка  $10^5 \text{ м}^2$ ), что позволяет добиться высокой статистической точности; последнее является весьма существенным, так как оптимистические оценки интенсивности фотонов высокой энергии от радиоастрономических объектов, приведенные в [1], крайне завышены. Правдоподобная оценка может быть сделана на основании подсчета числа  $\pi^0$ -мезонов, генерируемых при столкновениях частиц космических лучей внутри объекта с ядрами атомов дисперсной материи (газ, пыль).

Используя экспериментальные данные по космическим лучам в атмосфере и предполагая, что в радиотуманностях вид энергетического спектра космических лучей таков же, как и падающих на Землю (т. е.

$$F_k(E)dE = AE^{-(\gamma+1)}dE$$

$\gamma \approx 1.7$  при  $E > E_{min}$  и  $F_k(E) = 0$  при  $E < E_{min}$ ), можно написать, что при прохождении ими слоя вещества  $dx$  возникает число фотонов, равное

$$dF_{\text{тм}}(E) = K_{\text{тм}}F_k(E)dx/\lambda_0, \quad K_{\text{тм}} \approx 2 \cdot 10^{-2}, \quad \lambda_0 = 1.5 \cdot 10^2 \text{ з/см}^2.$$

Отсюда, интегрируя по объему всего объекта и выражая константу  $A$  через плотность энергии космических лучей  $\varepsilon_k$ ,

$$\varepsilon_k = 4\pi c \int_{E_{min}}^{\infty} EF_k(E)dE,$$

можно просто получить следующую оценку интенсивности потока фотонов с энергией больше  $E$  на расстоянии  $R$  от объекта:

$$I_{\text{тм}}(> E) \sim 10^{-5} E_{min}^{\gamma-1} E^{-\gamma} c R^{-2} \overline{\varepsilon_k} M,$$

где  $E_{min}$  ( $\sim 10^{-3} \text{ эрз}$ ) - минимальная энергия частиц, космических лучей в объекте,  $c$  - скорость света,  $\overline{\varepsilon_k}$  и  $M$  - плотность энергии космических лучей и масса газа в объекте, определяемые из соотношения

$$\overline{\varepsilon_k} M = \int \varepsilon_k(\mathbf{r}) \rho(\mathbf{r}) dV,$$

где  $\rho$  - плотность газа, а интегрирование ведется по объему объекта.

Поток частиц космических лучей у Земли составляет:

$$I_k(> E) = 5 \cdot 10^{-5} E_{\text{эпр}}^{-\gamma} \text{ см}^{-2} \text{ сек}^{-1} \text{ стер}^{-1}.$$

Ожидаемая доля ливней от фотонов внутри телесного угла  $\Omega = 10^{-3}$  составит

$$\Delta = \left( \frac{I_{\text{тм}}}{I_k} \right) \cdot 10^3 = 5 \cdot 10^{10} \overline{\varepsilon_k} M R^{-2} \approx 2 \cdot 10^9 \overline{H^2} M R^{-2}$$

(если предположить  $\overline{\varepsilon_k} = \overline{H^2} / 8\pi$ , где  $H$  - напряженность магнитного поля). Если, например, в случае крабовидной туманности принять  $H = 3 \cdot 10^{-3}$  Ое,  $M = 10^{33}$  г,  $R = 10^{22}$  см, то  $\Delta = 2 \cdot 10^{-7}$ . Если (для ядра Галактики)  $H = 10^{-3}$  Ое,  $M = 10^{38}$  г,  $R = 2 \cdot 10^{22}$  см, то  $\Delta = 5 \cdot 10^{-4}$ .

Таким образом, даже самые благоприятные оценки дают весьма малые значения интенсивности фотонов. Принимая, однако, во внимание, что спектр космических лучей в ряде объектов может быть богаче частицами высоких энергий, чем их спектр у Земли, а также, что большинство астрофизических величин известно лишь с точностью до порядка величины, представляется целесообразным провести указанным выше методом обследование наиболее перспективных объектов (центр Галактики, радиотуманности).

### Литература

1. Д. Коккони, Труды международной конференции по космическим лучам, Москва, 1959, т. 2, Изд. АН СССР, 1960, стр. 327.
2. Б. Росси, Там же, стр. 17.
3. А. Е. Чудаков, Н. М. Нестерова, В. И. Зацепин, Е. И. Тукиш, Там же, стр. 36.