

АНИЗОТРОПИЯ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ СВЕРХВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

Н.Н.Ефимов, А.А.Михайлов

*Институт космофизических исследований и аэрономии СО АН СССР Якутский филиал
677891, Якутск*

Поступила в редакцию 5 мая 1991 г.

Показано наличие анизотропии в направлениях прихода космических лучей при $\sim 10^{19}$ эВ со стороны галактической плоскости.

Рассмотрены направления прихода широких атмосферных ливней (ШАЛ), образуемых космическими лучами сверхвысоких энергий, зарегистрированных на Якутской установке ШАЛ площадью $\sim 18\text{km}^2$. Проанализированы ливни с зенитными углами до 60° за период 1974 - 1990 г. Всего рассмотрено ~ 30000 ливней с энергиями $E_0 > 10^{17}$ эВ, в том числе 275 ливней с $E_0 > 10^{19}$ эВ. Точность определения энергии первичной частицы, порождающей ШАЛ, $\sim 30\%$, угла прихода $\sim 5-7^\circ$. До $E_0 \sim 5 \cdot 10^{18}$ эВ не обнаружено статистически значимой анизотропии. Все ливни с $E_0 > 5 \cdot 10^{18}$ эВ были объединены в одну группу и получены следующие величины первых двух гармоник ряда Фурье: $A_1 = 13,8 \pm 4,4\%$, $\varphi_1 = 7^\circ$, $A_2 = 6,5\%$, $\varphi_2 = 44^\circ$. Вероятность того, что амплитуда первой гармоники случайно произошла от изотропного распределения частиц, $\sim 8 \cdot 10^{-3}$. Фаза первой гармоники указывает на анизотропию со стороны плоскости Галактики. Отметим, что с ростом энергии амплитуда первой гармоники растет (например, при $E_0 > 8 \cdot 10^{18}$ эВ, $A_1 = 23,1 \pm 6,8\%$, $\varphi_1 = 343^\circ$; $A_2 = 8,6\%$, $\varphi_2 = 69^\circ$).

Определено также отношение интенсивности частиц с полюсных и экваториальных направлений Галактики (см. рисунок). Такие же отношения получены по каталогу ШАЛ¹ с $E_0 > 10^{19}$ эВ, зарегистрированных на установках Хавера Парк (см. рисунок).

При энергиях выше $5 \cdot 10^{18}$ эВ наблюдается преобладающий и увеличивающийся с энергией поток частиц со стороны экваториальной области Галактики. Вероятность случайности данного отклонения от изотропии при $E_0 \sim 5 \cdot 10^{18} - 4 \cdot 10^{19}$ эВ равна $\sim 10^{-10}$. Качественно это увеличение потока частиц со стороны плоскости Галактики согласуется с галактической моделью происхождения этих частиц.

При $E_0 \geq 4 \cdot 10^{19}$ эВ экспериментальных данных мало и поэтому нельзя говорить о какой-либо четкой зависимости. Возможно указание на преобладание потока со стороны высоких галактических широт.

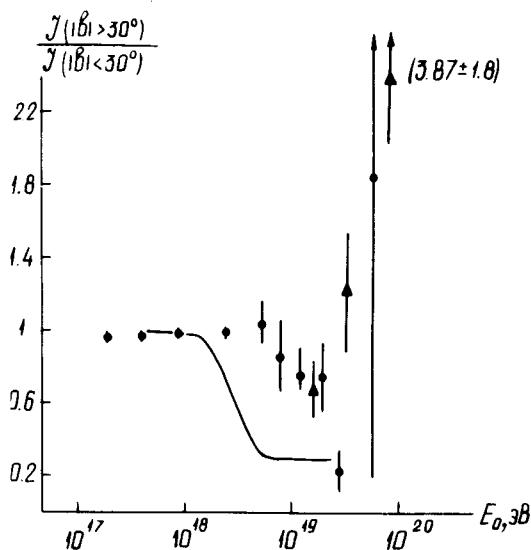


Рис. 1. Отношение интенсивностей частиц полюс-экватор: ● - Якутск, ▲ - Хавера Парк, кривая - ожидаемая в случае протонов от галактических источников. В скобке дана величина интенсивности данной точки

На рисунке показаны ожидаемые отношения интенсивностей $I(|b| > 30^\circ)/I(|b| < 30^\circ)$ в зависимости от E_0 в галактической модели происхождения. Ожидаемая интенсивность определена вычислением индивидуальных траекторий антипротонов с Земли по методике ² для бисимметричной модели магнитного поля диска ³. Вне диска предположено наличие регулярного магнитного поля в гало, имеющего в основном азимутальную компоненту. Наряду с регулярными компонентами также предполагается существование нерегулярностей поля со средними величинами, равными регулярным компонентам. Нерегулярности поля меняют свои величины и направления случайным образом через каждые 0,1 кпк в диске и 0,5 кпк в гало. Размеры диска: полувысота 0,4 кпк, радиус 15 кпк; размеры сфероидального гало: радиус 15 кпк. Средние величины поля в диске ~ 2 мГс, в гало < 1 мГс.

Видно из рисунка, что экспериментально наблюдаемая зависимость не согласуется с ожидаемой от галактических источников при указанных предположениях.

Если сохранить все предположения, кроме состава, то экспериментальная зависимость соответствовала бы составу первичного излучения с $z \sim 8$.

Таким образом, экспериментальные данные согласуются с представлением, что космические лучи с энергиями до $\sim 4 \cdot 10^{19}$ являются в основном галактическими, и средний ядерный состав может быть $z \sim 8$.

-
1. Catalogue of Highest Energy Cosmic Rays, ed. Wada M., Tokyo, 1980, 1, 71.
 2. Березинский В.С., Михайлов А.А. Письма в АЖ, 1984, 10, 269.
 3. Rand R.J., Kulkarni S.R. Astrophys. J. 1989, 343, 760.