

МОГУТ ЛИ ЧАСТИЦЫ С ЭНЕРГИЕЙ ВЫШЕ $4 \cdot 10^{17}$ ЭВ БЫТЬ НЕЙТРАЛЬНЫМИ?

А.В.Глушков

Анализируются индивидуальные направления прихода широких атмосферных ливней (ШАЛ) с энергией выше $4 \cdot 10^{17}$ эВ в экваториальных координатах по данным Якутской установки. Обнаружено значительное количество групп ливней в узких телесных углах, собирающихся в цепочки, и совпадающие частично с внегалактическими радиоисточниками.

Сведения о первичном космическом излучении важны для понимания процессов, происходящих в Галактике, и во Вселенной в целом. Считается, что космические лучи сверхвысоких энергий (выше 10^{15} эВ) состоят в основном из заряженных частиц: протонов и ядер различных химических элементов. Такое представление не является бесспорным, поскольку прямые измерения состава первичных в указанной области энергий пока отсутствуют, а выводы из данных по ШАЛ неоднозначны и противоречивы.

В работе ¹ автором высказано предположение, основанное на комплексном анализе многих экспериментов по ШАЛ, о возможном существовании в первичном космическом излучении заметной доли нейтральных частиц. Ниже приведены некоторые новые факты в пользу такой точки зрения.

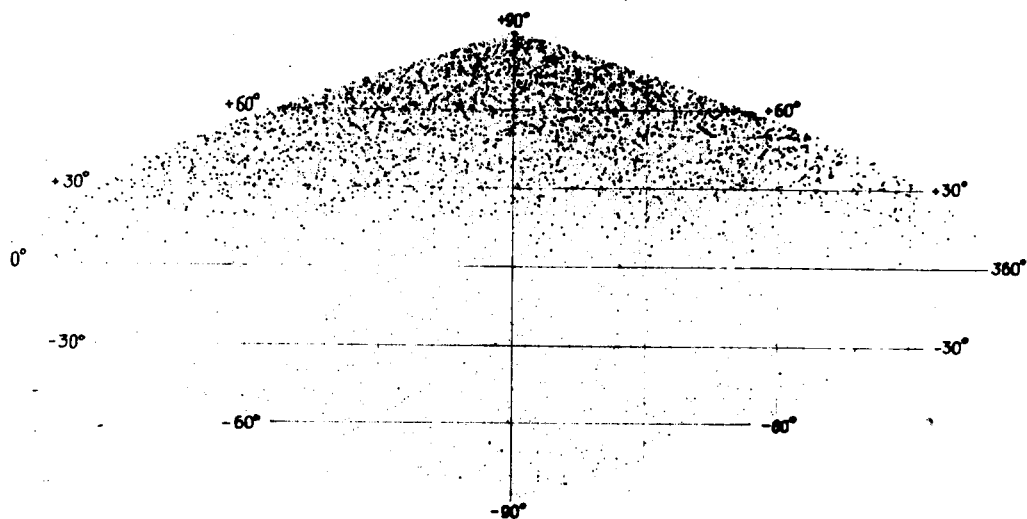
На рисунке показаны направления прихода 8776 индивидуальных ливней с энергиями $4 \cdot 10^{17} \div 4 \cdot 10^{19}$ эВ в экваториальных координатах, измеренных на Якутской установке. Для нахождения направления оси ШАЛ с хорошей точностью ($1 \div 2^\circ$) использовались только те ливни, у которых имелись показания временных каналов на 4 и более станциях установки, образующих мастерные треугольники с раздвигениями 0,5 и 1 км. Контроль за правильной работой временных каналов осуществлялся по их относительным показаниям с помощью χ^2 -теста. Плотности частиц на станциях регистрировались двумя сцинтилляционными детекторами площадью по 2 м^2 (суммарная площадь 4 м^2). Чтобы ослабить влияние "рыхлой" структуры диска ШАЛ на точность определения направления прихода ливня, общее число зарегистрированных на станции частиц должно было быть не менее 8. В анализ вошли ливни с зенитными углами более 60° .

Крупными точками (назовем их узловыми) на рисунке изображены направления прихода 2 и более (всего до 6) ливней с разницей в координатах менее $0,5^\circ$. Статистический анализ показал, что относительно большое количество таких точек при общей низкой плотности всех событий маловероятно для случайного распределения. Это видно на примере данных из каталога гигантских ливней (энергия выше $8 \cdot 10^{18}$ эВ) Сиднейской установки ШАЛ ², где среди 392 почти равномерно распределенных в южном полушарии событий с разницей в координатах

тах менее $0,5^\circ$ встречается 8, а с разницей менее $1,5^\circ$ — 50 пар. Случайное количество таких пар соответственно должно быть $3,7 \cdot 10^{-3}$ и $3,8 \cdot 10^{-2}$.

Любопытно также отметить, что из 130 ливней из каталога ², которые наблюдались в северном полушарии в полосе склонений $0 \div 35^\circ$, с данными Якутска в пределах $0,7^\circ$ совпало 35 ливней. Анализ ливней из каталогов Волкано Рэнч ³ и Хавера Парк ⁴ с энергиями выше 10^{19} эВ выявил совпадения с данными Якутска ⁵ в тех же угловых пределах соответственно 36% и 49% событий.

Относительно плотное распределение узловых точек вблизи севера обусловлено географическим расположением Якутской установки ($60^\circ N$).



Направления прихода ливней с энергиями $4 \cdot 10^{17} \div 4 \cdot 10^{19}$ эВ в экваториальных координатах: ● — 2 и более событий; * — одиночные события

Полученные результаты трудно объяснить с точки зрения обычной картины распространения заряженных частиц в магнитном поле Галактики. Тем более, что события в узловых точках входят с разной первичной энергией. Действительно, при наличии заряда z частицы в зависимости от энергии E должны были бы двигаться по неодинаковым траекториям с радиусом кривизны

$$R = E/300Hz.$$

Даже протоны с энергией 10^{19} эВ имели бы в магнитном поле Галактики ($H \sim 3 \cdot 10^{-6}$ Гс) радиус кривизны $\sim 10^{22}$ см, сравнимый с радиусом диска Галактики $\sim 4,5 \cdot 10^{22}$ см. В этих условиях космические лучи "забыли" бы места своего образования и должны были бы иметь хаотическое распределение направлений прихода, чего не наблюдается. Более того, на рисунке видно, что узловые и остальные точки располагаются, как правило, цепочками. Не исключено, что первичные частицы нейтральны и сохраняют по направлению прихода связь с точечными источниками.

Определенную роль в генерации таких частиц, по-видимому, играют внегалактические радиоисточники. Автором были рассмотрены координаты направлений прихода 330 ливней с энергиями выше 10^{19} эВ в диапазоне склонений $17^\circ \div 90^\circ$ из каталогов ³⁻⁵, которые сравнивались с местоположениями в этом участке неба 169 радиогалактик и квазаров ⁶. С направлениями прихода ливней в пределах 1° совпало 30 радиоисточников, что в $\sim 10^{-5}$ раз менее вероятно ожидаемых 12 событий при случайном положительном исходе.

Предварительный анализ показал, что космические лучи могут образовываться и в других внегалактических источниках: сейфертовские галактики, скопления галактик и т.д. Здесь также наблюдается выходящая за рамки случайной корреляция направлений прихода ливней с координатами этих объектов. Для более определенных выводов нужно увеличить статистику ливней (целесообразно объединить данные мировых установок ШАЛ) и рассмотреть более широкий перечень различных астрономических объектов.

Следует заметить, что если первичные частицы действительно нейтральны, то вряд ли они образуются в основной своей массе в нашей галактике. На это указывает отсутствие зависимости расположения узловых точек на рисунке с плоскостью Галактики. Не исключено, что граница разделения галактических и внегалактических космических лучей находится значительно ближе энергии $4 \cdot 10^{17}$ эВ. Анализ индивидуальных направлений прихода ливней в этой области энергий был бы очень полезен.

Таким образом, картина направлений прихода индивидуальных ШАЛ с энергиями выше $4 \cdot 10^{17}$ эВ в экваториальных координатах имеет мелкомасштабную структуру, которую нельзя объяснить случайными статистическими процессами распределения исходных данных. По мнению автора, эта картина может быть связана с расположением точечных источников, генерирующих нейтральные частицы. В настоящий момент на Якутской установке ведется дальнейшая работа над выяснением затронутых вопросов и результаты будут опубликованы.

Автор благодарен М.И.Правдину за помощь в обработке данных и полезные обсуждения.

Литература

1. Глушков А.В. Препринт ИКФИА, Якутский филиал Сибирское отделение АН СССР, Якутск, 1988.
 2. Winn M.M. et. al. Catalogue of Highest Energy Cosmic Rays №2, World Data Center C2, Japan, 1986.
 3. Lunsley J. Catalogue of Highest Energy Cosmic Rays №1, World Data Center C2, Japan, 1980, 1.
 4. Watson A.A. et. al. Catalogue of Highest Energy Cosmic Rays №1, World Data Center C2, Japan, 1980, 61.
 5. Efimov N.N. et. al. Catalogue of Highest Energy Cosmic Rays №3, World Data Center C2, Japan, 1988.
- Ленг К. Астрофизические формулы. М.: Наука, 1978, с. 447.