

ВЛИЯНИЕ АДРОНОВ С ЭНЕРГИЕЙ МЕНЬШЕ 0,5 ТЭВ НА ПРОСТРАНСТВЕННО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АДРОННОЙ КОМПОНЕНТЫ ШАЛ, РЕГИСТРИРУЕМОЙ ТЯНЬ-ШАНЬСКОЙ УСТАНОВКОЙ

А.Г. Дубовый, А.Е. Морозов, Н.М. Нестерова, В.П. Павлюченко

Проведенные расчеты показывают, что учет роли адронов с энергией 50–500 ГэВ не может изменить выводы об особенностях взаимодействия адронов с ядрами атомов воздуха при энергиях $\geq 10^{15}$ эВ, сделанные ранее на основании сравнения Тянь-Шаньских экспериментальных данных по адронной компоненте ШАЛ с другими расчетами.

В работе с помощью модельных расчетов ядерно-каскадного процесса в воздухе от широких атмосферных ливней (ШАЛ) космических лучей с энергией $E_0 = 5 \cdot 10^{14} \div 5 \cdot 10^{15}$ эВ оцениваются изменения, вносимые адронами 50–500 ГэВ в пространственно-энергетические характеристики адронной компоненты, регистрируемой Тянь-Шаньской установкой.

Энергетические спектры и пространственные распределения адронов в ШАЛ, зарегистрированных Тянь-Шаньской установкой (уровень 690 гсм^{-2}), в предыдущих работах /1–4 и др./ сравнивались с результатами расчетов ядерно-каскадного процесса в атмосфере. Расчеты /2–4/ были проведены методом Монте-Карло на основе экстраполяции "ускорительных" данных к энергиям ШАЛ. Информация о каждом ливне записывалась в банки данных. Для сравнения с экспериментом эти банки обрабатывались с учетом особенностей регистрации, отбора и обработки реальных событий. Пороговая энергия адронов на уровне наблюдения для "искусственных" ШАЛ была равна 200 ГэВ в работах /3,4/ и 500 ГэВ в работе /2/.

В эксперименте пространственно-энергетические характеристики адронной компоненты были получены с помощью ионизационного калориметра, характеристики электронно-фотонной компоненты — с помощью многоканальной системы сцинтилляционных и газоразрядных счетчиков Тянь-Шаньской установки /5/. Ионизационный калориметр общей площадью 36 м^2 содержал 15 рядов ионизационных камер размером $0,25 \times 3 \text{ м}^2$ каждая, прослоенных свинцовым поглотителем. Поперечные размеры камеры ограничивали возможность разрешения отдельных адронов. Если адроны проходили на расстояниях, сравнимых с ее размерами, калориметром регистрировалась лавина с энергией, равной их суммарному энерговыделению. При этом в составе лавины регистрировались также адроны малых ("подпороговых") энергий, когда энергия всей лавины превышала порог регистрации. Можно ожидать достаточно существенного вклада в лавину с энергией в несколько ТэВ от адронов с энергией, меньшей нескольких сот ГэВ, так как количество их велико, несмотря на то, что значительная часть отходит на большие расстояния от оси ШАЛ.

Настоящий расчет был проведен методом Монте-Карло по упрощенной программе развития ядерного каскада в воздухе, позволяющей достаточно быстро по сравнению с основными детальными расчетами получать данные об адронной и электронной компонентах ШАЛ. В расчеты закладывались варианты характеристик взаимодействия адронов, близкие к принятым в основных расчетах /2,3/. Пространственно-энергетические характеристики адронов, полученные по этой программе, соответствуют основным расчетам. В расчетах учитывались также условия регистрации, отбора и обработки адронов и ШАЛ в эксперименте. Адроны, попавшие в клетку, равную размерам ионизационной камеры, объединялись в лавину с энергией, равной их суммарной энергии. Проведенные предварительно расчеты при порогах 5 и 50 ГэВ показали, что адроны с энергией меньше 50 ГэВ практически не искажают пространственно-энергетические характеристики лавин. Затем были разыграны варианты с пороговыми энергиями 50, 200 и 500 ГэВ. Получены энергетические спектры и пространственные распределения лавин адронов в калориметре для ШАЛ с первичной энергией E_0 от 400 до 6300 ТэВ в узких интервалах ΔE_0 . На рис. 1а даны интегральные спектры лавин адронов для интервала $\Delta E_0 = 2500\text{--}4300$ ТэВ ($\bar{E}_0 = 3200$ ТэВ, среднее число электронов на уровне наблюдения $\bar{N}_e = 1,9 \cdot 10^6$). Как видно из рис. 1, число лавин при $E_a \sim 1$ ТэВ с учетом адронов от 50 до 200 ГэВ ста-

новится в 1,12 раза больше, а до 500 ГэВ — в 1,5 раза. Влияние порога уменьшается с ростом энергии лавины E_a и несколько увеличивается с ростом E_0 .

Исследование реальной ширины лавины адронов в калориметре показало, что она изменяется в зависимости от E_a , N_e и расстояния до оси ШАЛ /3/. В связи с этим был проведен вариант розыгрыша с объединением адронов в клетке, равной двойному размеру камеры ($0,5 \times 3 \text{ м}^2$), результаты которого для порога 50 ГэВ показаны на рис. 1б. Эффект от удвоения клетки оказался меньше, чем от изменения порога от 50 до 500 ГэВ.

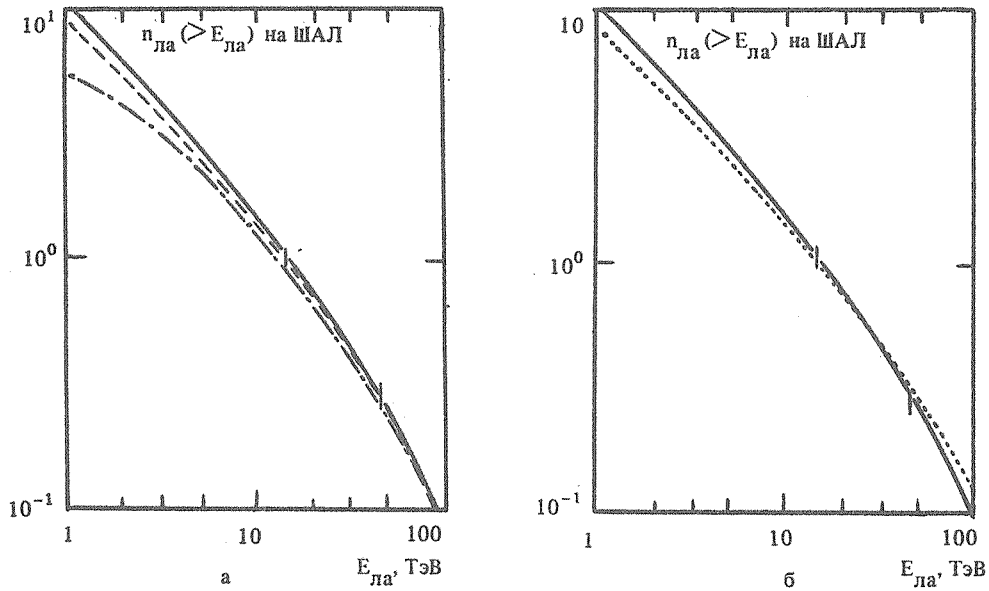


Рис. 1. Расчетные зависимости числа лавин адронов $n_{ла}$ от энергии лавины $E_{ла}$ с $\bar{E}_0 = 3,2 \text{ ПэВ}$: а) Пороги регистрации: 50 ГэВ — сплошная линия; 200 ГэВ — пунктир; 500 ГэВ — штрих-пунктир. Усреднение в клетке $0,25 \times 3 \text{ м}^2$. б) Порог регистрации 50 ГэВ, усреднение в клетке $0,25 \times 3 \text{ м}^2$ — сплошная линия; $0,5 \times 3 \text{ м}^2$ — точечная линия.

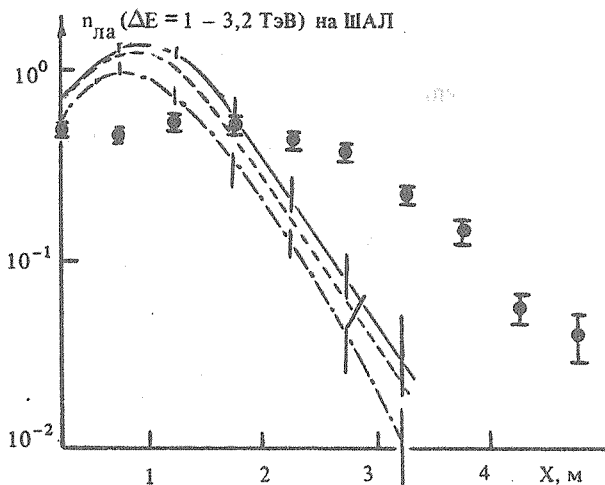


Рис. 2. Зависимость числа лавин адронов с энергией 1 — 3,2 ТэВ от расстояния X до оси по одной проекции. Расчет для ШАЛ с $\bar{E}_0 = 3,2 \text{ ПэВ}$ ($\bar{N}_e = 1,9 \cdot 10^6$). Пороги регистрации: 50 ГэВ — сплошная линия, 200 ГэВ — пунктир, 500 ГэВ — штрих-пунктир. Эксперимент Тянь-Шаня для ШАЛ с $\bar{N}_e = 1,5 \cdot 10^6$ — точки.

На рис. 2 представлены результаты расчета числа лавин адронов с $E_a = 1 - 3,2$ ТэВ в зависимости от расстояния до оси по одной проекции X (обработка, аналогичная работе /2/) в ШАЛ с $\Delta E_0 = 2500 - 4000$ ТэВ для трех значений пороговой энергии: 50, 200 и 500 ГэВ. Видно, что учет адронов с энергией < 500 ГэВ очень незначительно изменяет форму пространственных распределений лавин адронов с энергией 1–3,2 ТэВ на расстояниях свыше 1 м от оси ШАЛ (при больших энергиях изменения формы еще меньше).

Таким образом, вклад адронов с энергиями меньше 200 ГэВ при $E_a \geq 1$ ТэВ увеличивает интенсивность лавин на 10–15% и практически не вносит искажений энергетических характеристик адронной компоненты ШАЛ, регистрируемых Тянь-Шаньской установкой /3/. При пороге 500 ГэВ вклад адронов меньших энергий увеличивает интенсивность лавин при $E_a \geq 1$ ТэВ на 20–50% в зависимости от E_0 , что необходимо учитывать при сравнении расчетов /2/ с экспериментом.

Настоящие расчеты позволяют сделать заключение, что учет роли адронов с энергией меньше пороговой в расчетах /2–4/ не может изменить перечисленные ниже выводы, сделанные ранее авторами этих работ при сравнении результатов с экспериментом по адронной компоненте ШАЛ с $E_0 \geq 10^{15}$ эВ, регистрируемой Тянь-Шаньской установкой:

1. О росте с энергией доли процессов с большими перпендикулярными импульсами p_{\perp} во взаимодействиях частиц, предсказываемом квантово-хромодинамической теорией. Это утверждение сделано на основании более широкого пространственного распределения лавин адронов в эксперименте, чем в расчетах /2/, где согласно данным ускорителей заложен небольшой рост p_{\perp} с энергией. На рис. 2 для сравнения с расчетами нанесены Тянь-Шаньские экспериментальные данные.

2. О возможности более слабого роста с энергией сечения неупругого взаимодействия адронов (может быть, в основном пионов) с ядрами атомов воздуха при энергиях свыше 1 ПэВ, чем при энергиях современных ускорителей в pp-взаимодействиях /3,6/.

3. О "нормальном" ($\cong 30\%$ протонов) смешанном ядерном составе первичных космических частиц /4,6/.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дубовый А.Г., Нестерова Н.М., Ромахин В.А. Краткие сообщения по физике ФИАН, 10, 8 (1978).
2. Danilova T. V. et al. Proc. 19 th ICRC, La Jolla, 7, 40 (1985).
3. Dubovy A. G. et al. Proc. 18 th ICRC, Bangalore, 6, 163 (1983).
4. Dubovy A.G., Nesterova N. M. Proc. 18 th ICRC, Bangalore, 6, 82 (1983).
5. Аминева Т. П. и др. Труды ФИАН, 46, 157 (1970).
6. Дубовый А. Г. и др. Изв. АН СССР, сер. физ., 46, 1824 (1982).

Поступила в редакцию 15 декабря 1986 г.