

ИЗМЕРЕНИЕ НА ИСЗ ПРИБОРОМ "СОКОЛ" СПЕКТРА ПРОТОНОВ В ОБЛАСТИ ЭНЕРГИЙ ВЫШЕ 1 ТэВ

Н.Л. Григоров

В статье рассматриваются результаты измерения на ИСЗ энергетических спектров протонов и других ядер космических лучей высокой энергии. Спектры измерены предложенным автором прибором, в котором впервые обратный ток частиц в детекторы заряда не влиял на отбор протонов и ядер гелия. Полученные спектры согласуются с результатами измерений на ИСЗ "Протон".

В 1965 - 66 гг. на ИСЗ "Протон" впервые прямыми методами были измерены спектры протонов в интервале $\sim 10^{10} - 2 \cdot 10^{13}$ эВ и спектр всех частиц космических лучей в интервале энергий $\sim 3 \cdot 10^{10} - 10^{14}$ эВ¹. Результаты этих измерений представлены ниже на рис. 3. Из него видно, что в области $E > 1$ ТэВ показатель степени спектра протонов на 0,5 - 0,7 больше, чем у ядер.

По поводу этого результата в литературе высказывались предположения, что укрупнение спектра протонов, возможно, обусловлено обратным током частиц из ионизационного калориметра (ИК) в детектор зарядов. (В приборе СЭЗ-14, которым проводились измерения на ИСЗ "Протон", детектором зарядов были большие пропорциональные счетчики.)

Отличие спектра протонов от спектра ядер имеет принципиальное значение для физики космических лучей. Поэтому автор поставил целью провести измерение спектра протонов в области $E > 1$ ТэВ такой аппаратурой, в которой обратный ток частиц в детектор зарядов не влиял бы на результаты измерений. В результате обсуждений с С.Н.Верновым и А.Е.Чудаковым были сформулированы требования, которым должен удовлетворять прибор для таких измерений.

Для реализации этих требований был разработан прибор, принципиальная схема которого представлена на рис. 1. Он состоял из ионизационного калориметра с 80 сцинтилляционными детекторами ионизации. Над ИК были расположены две группы черенковских счетчиков-детекторов заряда первичных частиц. Верхняя группа из четырех счетчиков ДЗ-2, служила для измерения заряда ядер с $Z \gtrsim 5$. В них радиатор из плексигласа имел толщину 1 см. Регистрировался свет, рассеянный белыми стенками корпуса. Под ними находилась вторая группа ДЗ-1, из 11 счетчиков, в которых использовалась направленность черенковского излучения. В счетчиках ДЗ-1 радиатор из плексигласа толщиной 5 см находился в оптическом контакте с фотокатодом ФЭУ-49. Счетчики ДЗ-1 служили для измерения заряда начиная с $Z = 1$ и до ~ 5 (в приборе "Сокол-1") и до 15 - 20 в приборе "Сокол-2", результаты измерений с которым будут обсуждаться в настоящей статье.

В приборе "Сокол" было 95 автономно работающих детекторов, амплитуды сигналов в которых измерялись с помощью 200 амплитудных анализаторов по "команде" мастерского сигнала. (Более подробно описание прибора, логики его работы, условия проведения эксперимента и отбора зарегистрированных частиц даны в ²). В результате имелась возможность восстанавливать геометрию каждой лавины вторичных частиц в ИК и по ней определять направление движения первичной частицы и ее координаты входа в ДЗ-1 с точностью ~ 1 см.

Для анализа результатов измерений мы отобрали частицы, которые проходили через детекторы ДЗ-1 и нижнее основание ИК. Для них определялась энергия первичной частицы и заряд по показаниям тех ДЗ-1 и ДЗ-2, которые находились на пути первичной частицы. Кроме того определялись амплитуды импульсов (выраженные в величине заряда) в

счетчиках ДЗ-1 и ДЗ-2, через которые первичная частица не прошла (дополнительно работающие счетчики из-за обратного тока).

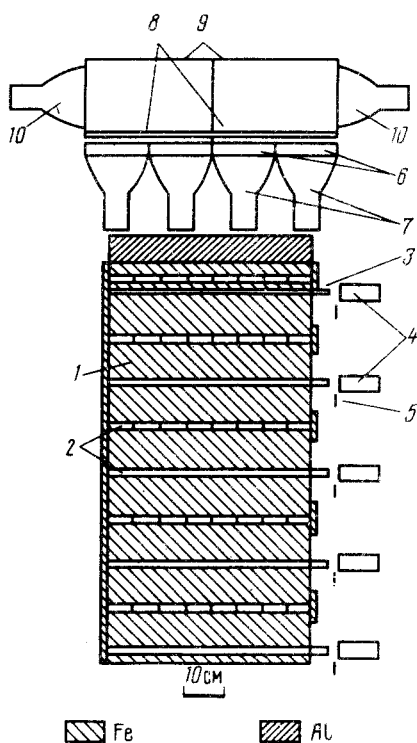


Рис. 1

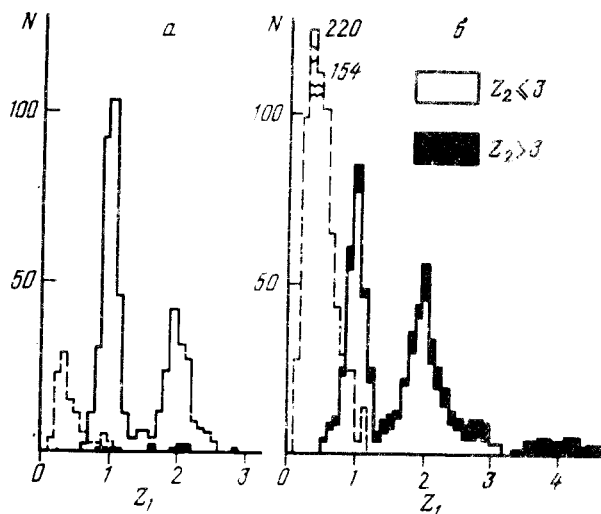


Рис. 2

Рис. 1. Схема прибора "Сокол": 1 — поглотители ионизационного калориметра; 2 — сцинтилляторы; 3 — световоды; 4 — ФЭУ ИК; 5 — шторки; 6 — радиаторы ДЗ-1; 7 — ФЭУ ДЗ-1; 8 — радиаторы ДЗ-2; 9 — корпус ДЗ-2; 10 — ФЭУ ДЗ-2

Рис. 2. Распределение по Z_1 для разных условий отбора лавин: а — для лавин, начинающихся ниже первого ряда ИК, б — для лавин с началом в первом ряду

Чтобы убедиться, что в приборе "Сокол" обратный ток частиц в ДЗ-1 не влияет на отбор протонов и ядер гелия, мы поступили следующим образом. Отобрали частицы, лавины которых в ИК начинаются ниже первого ряда детекторов ионизации. Это могут быть лавины от первичных частиц с пробегом более $21 \text{ г/см}^2(\text{Al}) + 23 \text{ г/см}^2(\text{Fe})$. Такие лавины не могут создаваться ядрами с $Z > 5$. Для отобранных лавин построили распределение по величине заряда в ДЗ-1 (Z_1). Оно представлено на рис. 2а светлой гистограммой, когда в ДЗ-2 сигнал $Z_2 \leq 3$, и черной гистограммой, когда $Z_2 > 3$. Из рис. 2а видно, что первичные частицы, дающие лавины с началом в глубине ИК — это протоны ($Z = 1$) и ядра гелия ($Z = 2$). Кроме того видно, что для таких лавин нет необходимости накладывать какие-либо ограничения на величину Z_2 . Пунктиром показано распределение импульсов в дополнительно работающих счетчиках в этих событиях. Это распределение дает, что в среднем срабатывает один дополнительный счетчик примерно на 10 регистрируемых частиц и в среднем сигнал в нем $Z_1 \approx 0,5$. То есть в лавинах, начинающихся в глубине ИК, обратный ток мал и никак не влияет на зарядовое распределение первичных частиц.

Для лавин, начало которых регистрируется первым рядом ИК, распределение по Z_1 представлено на рис. 2б светлой гистограммой при условии $Z_2 \leq 3$ и черной – при $Z_2 > 3$. Пунктиром приведено распределение в дополнительно работающих счетчиках. В этих случаях в среднем в одном событии срабатывает около 1,5 счетчиков дополнительно, т.е. обратный ток примерно в 15 раз более интенсивный, чем на рис. 2а. Тем не менее протоны надежно отделяются от ядер гелия.

Таким образом, можно утверждать, что счетчики ДЗ-1 выделяют протоны практически без влияния обратного тока частиц из ИК.

Чтобы убедиться в возможности использования всех событий при регистрации протонов, вне зависимости от того, на какой глубине произошло первое взаимодействие, мы рассмотрели, какую долю от полного числа N_0 протонных лавин составляют лавины с началом в разных рядах ИК. Результаты приведены в таблице для двух интервалов энергии 1–2 и 2–10 ТэВ. В ней N_1 – число лавин с началом в первом ряду, N_{2-3} – с началом во втором и третьем рядах, N_{4-6} – в четвертом, пятом и шестом рядах ИК.

	Эксперимент		Расчет
	1–2 ТэВ	2–10 ТэВ	
N_1/N_0	$42 \pm 4, 4\%$	$45 \pm 5\%$	37%
N_{2-3}/N_0	$35 \pm 4\%$	$36 \pm 4, 6\%$	40%
N_{4-6}/N_0	$23 \pm 3, 3\%$	$19 \pm 3, 4\%$	23%

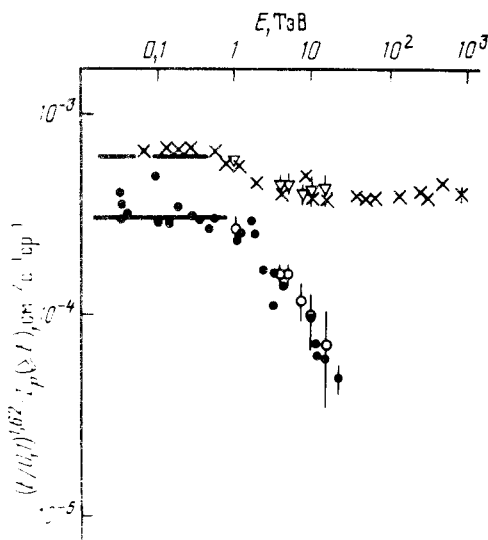


Рис. 3. Спектры всех частиц (X и ∇) и протонов (\bullet и \circ) по измерениям приборами СЭЗ-14 на ИСЗ "Протон"^{1,5} и "Сокол-2" на ИСЗ "КОСМОС-1713", соответственно, – ГОСТ⁴

Из таблицы видно, что мастерный сигнал не вносит дискриминации в число лавин, начинающихся в любом ряду ИК. (Его влияние должно было бы сказаться прежде всего на низких энергиях, так как пороговая энергия регистрируемых частиц была около 1 ТэВ). Поэтому мы использовали всю протонную статистику.

Для сопоставления с измерениями прибором СЭЗ-14 на ИСЗ "Протон" мы поправку на долю энергии, уходящей из ИК, вносили в результаты измерений прибором "Сокол-2"

по той же методике, которую использовали при обработке результатов измерений прибором СЭЗ-14³. Это тем более уместно, что в обоих приборах ионизационные calorиметры были почти тождественны и различались только общей толщиной поглотителя.

В результате мы получили интегральные спектры в области энергий $E \geq 2$ ТэВ для ядер гелия

$$I_{\alpha}(\geq E) = (39,6 \pm 2,8) (E/2)^{-(\gamma_{\alpha} - 1)} \text{ м}^{-2} \cdot \text{ч}^{-1} \cdot \text{ср}^{-1} \quad \text{при } (\gamma_{\alpha} - 1) = 1,60 \pm 0,13;$$

для ядер с $Z > 2$

$$I_Z(\geq E) = (48,0 \pm 2,8) (E/2)^{-(\gamma_Z - 1)} \text{ м}^{-2} \cdot \text{ч}^{-1} \cdot \text{ср}^{-1} \quad \text{при } (\gamma_Z - 1) = 1,61 \pm 0,10$$

и для протонов в области энергий $E \geq 4$ ТэВ:

$$I_p(\geq E) = (15,3 \pm 1,8) (E/4)^{-(\gamma_p - 1)} \text{ м}^{-2} \cdot \text{ч}^{-1} \cdot \text{ср}^{-1} \quad \text{при } (\gamma_p - 1) = 2,08 \pm 0,15.$$

Этот спектр протонов изображен на рис. 3. Спектр всех частиц $I_{\text{к.л.}} = I_p + I_{\alpha} + I_Z$ изображен на том же рисунке. Точки при $E = 1$ ТэВ на обоих спектрах получены экстраполяцией соответствующих спектров.

Из рис. 3 видно, что спектр протонов и спектр всех частиц, измеренные прибором "Сокол-2", хорошо согласуются с соответствующими данными, полученными прибором СЭЗ-14 на ИСЗ "Протон". Это значит, что укрупнение спектра протонов, зарегистрированное в экспериментах на ИСЗ "Протон", не связано с влиянием обратного тока частиц в детектор зарядов.

Литература

1. *Akimov V.V., Grigorov N.L., Nesterov V. et al.* 11th ICRC, Budapest, 1969, OG-99.
2. *Григоров Н.Л., Иваненко И.П., Шестоперов В.Я. и др.* Препринт-88-43/64, НИИЯФ МГУ, 1988.
3. *Григоров Н.Л., Нестеров В.Е., Рапопорт И.Д. и др.* ЯФ, 1970, 11, 1058.
4. Лучи космические галактические. Энергетические спектры. ГОСТ 25645.122-85 – ГОСТ 25645.125-85. Госкомитет СССР по стандартам. Москва, 1986.
5. *Grigorov N.L., Nesterov V.E. et al.* Space Research, Berlin: XII-Akademie-Verlag, 1972, p. 1617.

Научно-исследовательский институт ядерной физики
Московского государственного университета
им. М.В.Ломоносова

Поступила в редакцию
7 декабря 1988 г.