

УДК 537.591.2

В. В. АКИМОВ, Н. Л. ГРИГОРОВ, Н. А. МАМОНТОВА, В. Е. НЕСТЕРОВ,
И. Д. РАПОПОРТ и И. А. САВЕНКО

О НЕРЕГУЛЯРНОСТИ В СПЕКТРЕ ПЕРВИЧНЫХ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ В ОБЛАСТИ ЭНЕРГИЙ 10^{12} эв

На ИСЗ «Протон-1,2,3» проводились измерения спектров первичных космических лучей в диапазоне энергий $10^{10} - 10^{14}$ эв. Аппаратура, установленная на спутниках, подробно описана в [1].

В результате проведенных измерений были получены спектры протонов в интервале энергий $10^{10} - 10^{13}$ эв и всех частиц в интервале энергий $6 \cdot 10^{10} - 10^{14}$ эв. Отличительной особенностью полученного спектра протонов явилось резкое увеличение показателя спектра при энергии 10^{12} эв. Были проанализированы различные методические эффекты, способные вызвать подобное искажение результатов измерений [2]. Однако некоторые эффекты не могли быть оценены достаточно надежно. К ним относятся, в частности, явление «обратного тока» в детектор заряда и нелокальные ливни. Первое из них состоит в том, что частицы из лавины, развивающейся в калориметре, могут рассеяться назад и попасть в детектор заряда — пропорциональный счетчик. В результате будет создана дополнительная ионизация в пропорциональном счетчике, что приведет к появлению на выходе детектора заряда амплитуды, превышающей максимально допустимое для протонов значение. Этот эффект должен возрастать с увеличением числа частиц в лавине, поэтому доля протонов, не зарегистрированных из-за попадания в детектор заряда частиц «обратного тока», должна расти с увеличением энергии протонов, что приводит к увеличению крутизны регистрируемого в области высоких энергий спектра. Второе из упомянутых явлений заключается в том, что при взаимодействии частицы высокой энергии с веществом, окружающим калориметр, рождается ливень частиц, которые, попадая в соответствующие детекторы прибора, могут имитировать регистрацию протона высокой энергии. Этот эффект может, в принципе, зависеть от энергии и исказить регистрируемый спектр протонов.

Наличие названных эффектов заставляет искать подтверждение росту крутизны спектра протонов в информации, не подверженной влиянию этих эффектов. Такой информацией является полученный в экспериментах на ИСЗ «Протон» спектр всех частиц, при регистрации которого не накладывались никакие ограничения на заряд частиц, место их попадания в калориметр и направление движения.

Протоны составляют около половины всех частиц первичных космических лучей при энергиях $\sim 10^{10} - 10^{11}$ эв, поэтому при увеличении показателя спектра протонов должна наблюдаться нерегулярность в виде ступеньки в спектре всех частиц. Для анализа были взяты все полученные на ИСЗ «Протон» данные об интенсивностях всех частиц первичных космических лучей с энергией, превышающей заданное значение E . В совокупность анализируемых данных, показанную на рис. 1, а, вошли результаты независимых измерений шестью приборами, установленными на трех ИСЗ «Протон». На шкале абсцисс на рис. 1, а отложены значения $\lg (E / 10^{11})$,

на шкале ординат — значения

$$A(E, \gamma) = \lg [I(\geq E) (E / 10^{11})^\gamma]$$

для $\gamma = 1,55$ и значений $I(\geq E)$, выраженных в произвольных единицах. Из рис. 1, а видно, что разброс значений A много больше величин среднеквадратичных ошибок, полученных в эксперименте (значения, для которых погрешность не указана, имеют ошибки, не превышающие величины точки). Такой разброс значений A определяется неточностью значений E ,

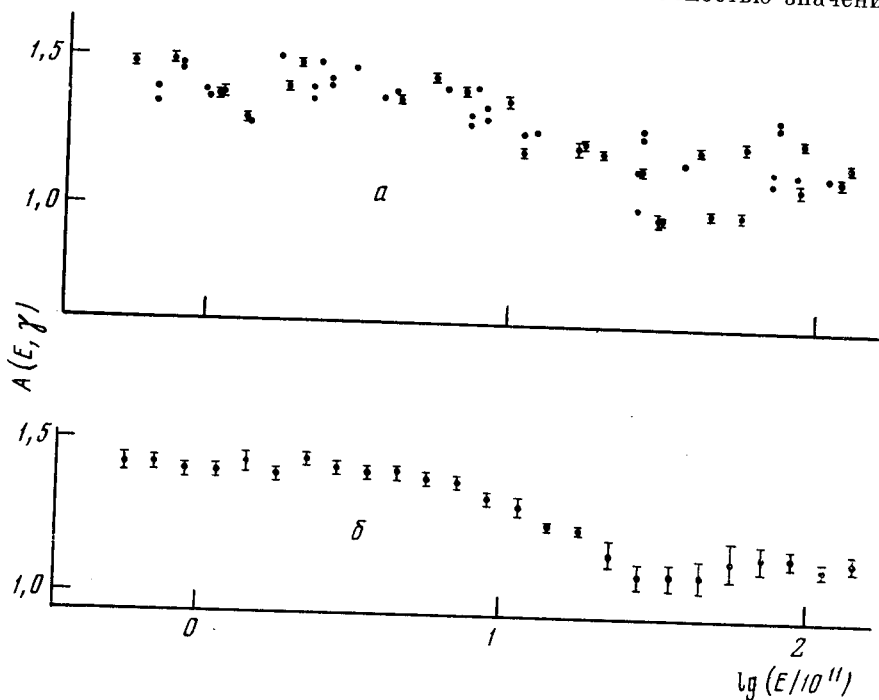


Рис. 1. а — Зависимость экспериментальных значений величины $A(E, \gamma = 1,55) = \lg [I(\geq E) (E / 10^{11})^\gamma]$ от энергии. б — Зависимость средних значений величины $A(E, \gamma = 1,55)$ от энергии

связанной с неконтролируемыми изменениями порогов интегральных дискриминаторов детектора энергии в течение эксперимента. По этой причине при усреднении значений A нельзя пользоваться экспериментальными дисперсиями для характеристики весов отдельных измерений. Считая, что уход энергетических порогов носит случайный характер, мы нашли скользящее среднее значений A с интервалами усреднения $\Delta \lg(E / 10^{11}) = 0,3$ и шагом 0,1. При этом всем измерениям приписывались равные веса. Следует указать, что темпы счета различных интегральных порогов детектора энергии одного прибора не являются, вообще говоря, статистически независимыми. Мы пренебрегаем этим, учитывая большую крутизну ($\gamma \sim 1,7$) спектра и значительное различие энергетических порогов. Полученные средние значения показаны на рис. 1, б. Для дальнейшего анализа были взяты результаты усреднения в интервалах

$$\lg(E / 10^{11}) = -0,3 \div 0; 0 \div 0,3; 0,3 \div 0,6; \dots, 2,1 \div 2,4.$$

Полученная зависимость $A(E)$ была аппроксимирована функциями двух видов

$$F_1 = \text{const} = C_0,$$

$$F_2 = \begin{cases} C_1 & \text{при } -0,3 < \lg \frac{E}{10^{11}} < 0,9, \\ C_2 & \text{при } 1,2 < \lg \frac{E}{10^{11}} < 2,4. \end{cases}$$

Значения C_0 , C_1 и C_2 определялись как средние взвешенные в указанных интервалах изменения $\lg(E/10^{11})$. Затем для каждой из функций определялось значение χ^2 . Такие операции были проведены для различных значений γ в функции $A(\gamma, E)$. Зависимости значений χ^2 от величины γ для функций вида F_1 и F_2 приведены на рис. 2, а и 2, б соответственно. Из рис. 2 видно, что величина χ^2 для функции F_1 достигает минимума при $\gamma = 1,72$ со значением $\chi^2 = 68$ при восьми степенях свободы. Минимум величины χ^2 для функции F_2 соответствует $\gamma = 1,60$ и равен 4,5 при шести степенях свободы. Полученные минимальные значения χ^2 говорят о том, что представление спектра всех частиц в исследу-

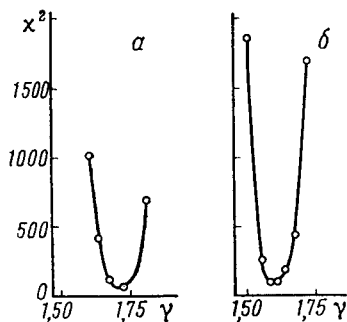


Рис. 2

Рис. 2. Зависимость величины χ^2 от значения γ : а — для функции F_1 , б — для функции F_2

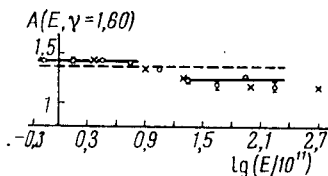


Рис. 3

Рис. 3. Зависимость величины $A(E, \gamma = 1,60)$ от энергии: кружки — по данным ИСЗ «Протон-1,2,3», крестики — по данным ИСЗ «Протон-4»

ованном интервале энергий степенной функцией с единым показателем является грубым приближением. Значительно лучше согласуется с экспериментальными данными функция, имеющая нерегулярность в районе $E = 10^{12}$ эв и показатель $\gamma = 1,60$ до и после этой нерегулярности. Значения $A(E, \gamma = 1,60)$ показаны на рис. 3 кружками. Пунктирной кривой на рис. 3 показана функция F_1 , сплошными прямыми — функция F_2 . На этот рисунок крестиками нанесены значения $A(E, \gamma = 1,60)$, полученные по информации о спектре всех частиц, измеренном на ИСЗ «Протон-4» при помощи прибора, который по конструкции значительно отличался от аппаратуры, использовавшейся на ИСЗ «Протон-1,2,3». Видно, что данные ИСЗ «Протон-4» хорошо согласуются с остальными результатами измерения.

Полученный результат свидетельствует о быстром исчезновении $\sim 35\%$ частиц первичных космических лучей при энергии $\sim 10^{12}$ эв, что может быть связано с полученным в экспериментах на ИСЗ «Протон-1,2,3» ростом крутизны спектра протонов в этом районе энергий и, следовательно, изменением химического состава первичных космических лучей. Знание формы спектра и химического состава первичных космических лучей име-

ет большое значение для теории происхождения космических лучей и интерпретации экспериментальных данных, полученных в космических лучах на различных глубинах в атмосфере. Поэтому, мы считаем, необходимо более детальное и тщательное исследование спектров протонов и всех частиц первичных космических лучей в проанализированном в этой статье интервале энергий.

Литература

1. Григоров Н. Л., Кахидзе Г. П., Нестеров В. Е., Рапопорт И. Д., Савенко И. А., Смирнов А. В., Титенков А. Ф., Шишков П. П., Космические исследования, 5, 383 (1967).
2. Григоров Н. Л., Нестеров В. Е., Рапопорт И. Д., Савенко И. А., Скуридин Г. А., Титенков А. Ф., Космические исследования, 5, 395 (1967).