

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ ПО ЗАРЯДАМ ПРИ ЭНЕРГИИ ВЫШЕ 1 ТэВ

Н.Л. Григоров

Приводится распределение по зарядам первичных космических лучей с энергией выше 1 ТэВ в интервале $6 \leq Z \leq 15$, впервые полученное в эксперименте на ИСЗ "Космос-1713" с прибором "Сокол-2". Кратко изложена методика значительного повышения точности измерения заряда частиц космических лучей высокой энергии в приборах типа "Сокол".

Прибор "Сокол", с которым проводились измерения космических лучей с энергией выше 1 ТэВ на ИСЗ "Космос-1543" и "Космос-1713", разрабатывался нами в основном для изучения протонной компоненты. Поэтому при его проектировании особое внимание мы уделяли измерению заряда протонов и ядер гелия. При $Z = 1 \div 2$ можно ожидать искажения измеряемых зарядов первичных частиц частицами обратного тока из ионизационного калориметра. В приборе "Сокол", описанном в ^{1, 2}, подавление воздействия обратного тока на детектор заряда было достигнуто применением черенковских детекторов заряда, в которых использовалась направленность черенковского излучения (детекторы ДЗ-1), и строгим отбором ФЭУ-49 по критерию однородности чувствительности фотокатода по всей его площади. (Последнее было необходимо для хорошего разделения частиц с $Z = 1$ и $Z = 2$).

Для измерения зарядов ядер с $Z \geq 5$ были применены черенковские детекторы с тонким радиатором (плексиглас толщиной 1 см), в которых регистрировалось черенковское излучение, рассеянное на белых стенках корпуса детектора. Поэтому эти детекторы (ДЗ-2) были чувствительны к обратному току. Кроме того у этих детекторов рабочая площадь была значительной, а коэффициент отражения света белыми стенками был около 0,85. Обе эти причины приводили к заметной зависимости амплитуды регистрируемой световой вспышки от места прохождения частицы через детектор ДЗ-2, что в конечном счете выражалось в большой ошибке измерения заряда ($\sigma \cong 1$ ед. заряда).

Однако такие ошибки измерения заряда детектором ДЗ-2 не мешали выполнению его основной функции – определению потока всех ядер с $Z > 5$, которое было необходимо для контроля правильности измерения потока протонов и ядер гелия.

Результаты измерения распределения частиц по зарядам, проведенного на ИСЗ "Космос-1713" прибором "Сокол-2", приведены на рис. 1а и 1б. Из рис. 1а видно, что измерения детектором ДЗ-1 дают хорошее разделение частиц с зарядами $Z = 1$ и $Z = 2$. Причем, это распределение практически не зависит от величины сигнала в ДЗ-2, то есть оно не чувствительно к обратному току частиц. На рис. 1б приведено распределение частиц по величине заряда, измеренного ДЗ-2 ⁴. Из него видно, что слабо выделяется максимум при $Z = 6$, несколько лучше виден максимум при $Z = 8$ и максимум при $Z = 26$ (см. работу ⁴). То есть полученное распределение в лучшем случае позволяет разделить частицы по группам.

Чтобы получить информацию о распределении частиц по зарядам, необходимо повысить точность измерения заряда. Это можно сделать, если использовать измерение заряда каждой частицы двумя детекторами: ДЗ-1 (Z_1) и ДЗ-2 (Z_2). В этом случае мы будем приписывать частице заряд $Z = (Z_1 + Z_2)/2$. Однако, если взять все частицы без ограничений, то мы можем не повысить точность, а уменьшить ее по следующим причинам. Детектор ДЗ-1 имеет радиатор из плексигласа толщиной 5 см. В толстом радиаторе около 20 % ядер будут испытывать взаимодействия. При этом измеренное значение заряда будет сильно отличаться от истинного и Z_2 будет сильно отличаться от Z_1 . Очевидно, такие события нужно исключить. Около 7 % частиц будут входить в радиатор ДЗ-1 через его боковую поверхность и

проходить в радиаторе небольшой путь. В этом случае также следует ожидать большое различие между Z_1 и Z_2 . Эти случаи также нужно исключить.

Поэтому мы ввели два дополнительных требования. Потребовали, чтобы частицы проходили не ближе 2 см от края радиатора ДЗ-1. (Расстояние от края радиатора ДЗ-1 до оси лавины, продолженной из ионизационного калориметра, определяется с точностью 1 см). Это требование уменьшило статистику в 1,8 раза. Оно исключило прохождение частиц через боковую поверхность радиатора ДЗ-1. Кроме того, частицы, удовлетворяющие этому условию, проходят через область фотокатода ФЭУ-49, в которой однородность чувствительности выше, чем на периферии. Это повышает точность измерения Z_1 .

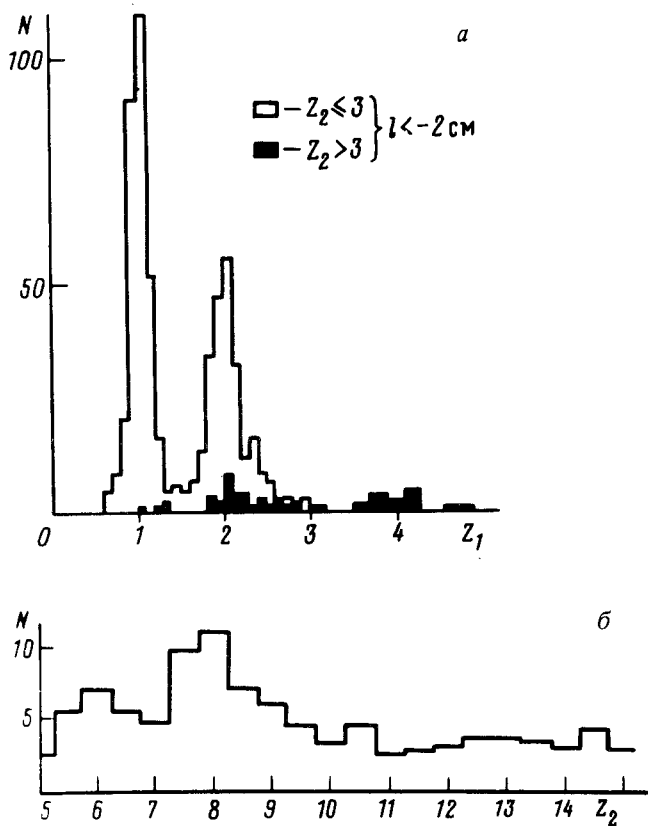


Рис. 1

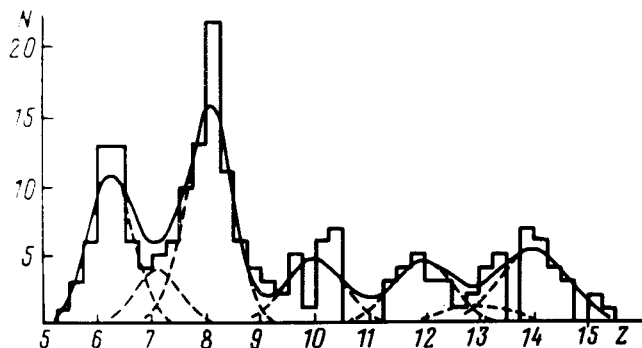


Рис. 2

Чтобы уменьшить долю частиц, испытавших взаимодействие в радиаторе ДЗ-1, мы наложили условие $|(Z_1 - Z_2) / \sqrt{2}| \leq 1$. Смысл этого условия заключается в следующем.

Если значение Z_1 откладывать вдоль оси X , а значение Z_2 — вдоль оси Y , то каждое измерение заряда двумя детекторами на плоскости XOY будет выражаться точкой с координатами

натами Z_1 и Z_2 . Результаты измерения заряда двумя детекторами дают совокупность точек, расположенных вокруг прямой $Z_1 = Z_2$. Если точка имеет координаты Z_1 и Z_2 , то ее расстояние от прямой $Z_1 = Z_2$ равно d , где $d = (Z_1 - Z_2) / \sqrt{2}$. Так как точность определения заряда детектором ДЗ-2 равна $\sigma(Z_2) \simeq 1$, то мы потребовали, чтобы $|d| \leq 1$. Это требование уменьшило статистику в 1,45 раза. Суммарно оба требования уменьшили статистику в 2,6 раза.

Из всей статистики были отобраны частицы, удовлетворяющие указанным дополнительным требованиям, и для них определен заряд $Z = (Z_1 + Z_2)/2$. Распределение по величине Z приведено на рис. 2. Оно ограничено величиной $Z = 15$ из-за того, что в некоторых счетчиках ДЗ-1 максимально измеримый заряд равен 16.

На рис. 2 пунктиром показано гауссово распределение с $\sigma = 0,4$ для $6 \leq Z \leq 8$, $\sigma = 0,5$ для $9 \leq Z \leq 12$ и $\sigma = 0,6$ для $13 \leq Z \leq 15$, рассчитанное в предположении, что при энергии частиц \gg ТэВ распределение ядер по зарядам такое же, как при энергиях в десятки ГэВ³. Сплошной линией на рис. 2 показано ожидаемое распределение. Как видно из рис. 2, в распределении отчетливо проявились максимумы при четных зарядах и минимумы при нечетных во всем интервале зарядов $6 \leq Z \leq 15$. Степень согласия ожидаемого распределения с экспериментальным (гистограмма) характеризуется $\chi^2 = 49$ при $\nu = 41$.

В заключение следует отметить, что в использовании двух типов детекторов заряда в приборе "Сокол-2" для повышения точности измерения заряда частиц важную роль играет высокая точность определения координат первичной частицы на уровне детекторов заряда.

Литература

1. Григоров Н.Л. Письма в ЖЭТФ, 1989, 48, 71.
2. Vernov S.N., Kumpan I.P., Michenko L.G. et al. 17-th ICRC, Paris 1981, 8, 49.
3. Garcia-Munoz M., Simpson J.A. 16-th ICRC, Kyoto 1979, 1, 270.
4. Григоров Н.Л., Иваненко И.П., Рапопорт И.Д. и др. Вестник МГУ, физ. и астроном. 1988, №5, с. 44 – 50.