

Л. Х. ЭЙДУС, М. М. АЛЫМОВА и В. Г. ВИДЕНСКИЙ

ИССЛЕДОВАНИЕ СПЕКТРА ПЛОТНОСТЕЙ АТМОСФЕРНЫХ ЛИВНЕЙ КОСМИЧЕСКИХ ЧАСТИЦ

(Представлено академиком Д. В. Скобелевым 14 X 1950)

Определение вида спектра плотностей атмосферных ливней в ряде случаев может быть осуществлено не только экспериментально, но и на основе расчетов по каскадной теории. Однако развитие широких ливней представляет собой результат наложения двух процессов — каскадного размножения „мягкой“ компоненты и ядерно-каскадного процесса ^(1,2). В связи с этим сравнение выводов из каскадной теории с экспериментальными результатами может быть законным лишь в тех областях ливней, где совпадения вызываются в основном частицами электронно-фотонной лавины. Особо резкие отклонения от „обычной“ картины ливня наступают при удалении от центральных участков ливня на периферию ⁽³⁻⁵⁾.

До настоящего времени большинство исследований спектра плотностей проводилось как раз в таких условиях, когда расстояние между счетчиками (или камерами), регистрирующими ливни, не превышало нескольких (2—10) метров. Было показано ⁽⁶⁻⁸⁾, что спектр плотностей потоков частиц широких ливней выражается зависимостью вида $N(>\rho) = A/\rho^x$, где N — число ливней с плотностью ρ больше данной, а A и x — величины, зависящие от высоты места наблюдения над уровнем моря. Величина x является функцией плотности ^(9,10) и монотонно возрастает с увеличением последней. Подобное изменение согласуется со следствиями из теоретических расчетов, произведенных на основе каскадной теории в предположении степенного вида энергетического спектра первичных частиц, ответственных за создание ливней ⁽¹¹⁾. Можно считать, что за исключением высотного хода величины x вид спектра плотностей согласуется с каскадно-теоретическими представлениями ⁽¹²⁾. Аномалия же в высотном ходе x ^(6,13) вызывается повидимому, влиянием ядерных процессов ⁽¹⁾.

Нами изучалось изменение спектра плотностей атмосферных ливней при раздвижении регистрирующих счетчиков на различные расстояния и сравнение этого изменения с предсказаниями каскадной теории.

Как было показано в предыдущем сообщении ⁽⁵⁾, в нашей установке основная часть совпадений вызывается лавинными частицами лишь до расстояний $D = 60-70$ м. При больших расстояниях совпадения вызываются частицами иного происхождения, чем короткопробежные электроны и фотоны, выходящие из „ствола“ лавин.

Измерения производились в Москве в течение 1949 г. и начала 1950 г. Две установки с быстродействующими счетчиками раздвигались на различные расстояния D . Каждая установка включала в себя

Таблица 1

| $\sigma_{\text{см}^2}$ D, м | C_3 | | | C_4 | | C_5 | $\kappa = \frac{d(\ln C_4)}{d(\ln \sigma)}$ | $\chi = \frac{d(\ln C_4)}{d(\ln \sigma)}$ | C_6/C_5 |
|--------------------------------|---|-------------------------------|---------------------------|-------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|---|---|------------------------------------|
| | 290 | 166 | 3360 | 990 | 3960 | 7920 | | | |
| 2 | 390 123 Число совпадений в час $3,16 \pm 0,16$ | | 900 6,5 139 \pm 4 | 146 11,9 12,3 \pm 1,0 | 738 8,2 92,5 \pm 3,3 | | 488 8,2 59,5 \pm 2,7 | 1,44 \pm 0,02 1,47 \pm 0,07 | 1,55 \pm 0,04 1,55 \pm 0,04 |
| 33 (30 для C_3) | 250 181 Число совпадений в час $1,38 \pm 0,09$ | 380 21,7 17,5 \pm 0,9 | | 158 38 4,15 \pm 0,3 | 535 14,3 37,4 \pm 1,6 | | 197 9,94 19,8 \pm 1,4 | 1,43 \pm 0,05 1,58 \pm 0,07 | 1,80 \pm 0,13 1,80 \pm 0,13 |
| 98 | | | | | 154 12,4 12,4 \pm 1,0 | | 82 12,4 6,6 \pm 0,7 | | 1,88 \pm 0,14 1,88 \pm 0,14 |
| 112 | | | | 26 42,3 0,61 \pm 0,12 | 317 36,75 8,65 \pm 0,5 | | 47 13,75 3,4 \pm 0,5 | 1,9 \pm 0,15 | 2,1 \pm 0,22 2,1 \pm 0,22 |
| 400 | | | | | 71 222,0 0,32 \pm 0,04 | 101 80,0 1,26 \pm 0,13 | 10 113,4 0,088 \pm 0,028 | 2,0 \pm 0,25 | 3,9 \pm 1,0 3,9 \pm 1,0 |

две группы счетчиков, расположенных на расстоянии 1,5–2 м друг от друга и от легкой фанерной крыши. Регистрировались совпадения C_4 импульсов от всех четырех групп счетчиков. Площади этих групп одновременно изменялись. Вид спектра плотностей характеризовался величиной показателя степени κ , определяемого по формуле

$$\kappa = d \ln C_4 / d \ln \sigma.$$

В нескольких сериях опытов наряду с четырехкратными совпадениями регистрировались также и шестикратные. Для этого к каждой из установок добавлялась одна группа счетчиков той же площади. Применение усилителей высокой разрешающей способности позволило устранить фон случайных совпадений. Результаты измерений приведены в табл. 1.

Как известно ⁽¹¹⁾, величина κ связана с формой энергетического спектра первичных частиц зависимостью $\kappa = \gamma/s$, где γ — показатель в выражении для энергетического спектра, а s — значение известного параметра лавинной теории, соответствующее энергии ливней, наиболее эффективно выделяемых данной системой счетчиков.

При раздвижении счетчиков возрастает средняя энергия регистрируемых ливней. Кроме того, исключается доля совпадений, вызываемых „стволами“ ливней. Форма кривой пространственного распределения частиц $\rho(r)$ на данной глубине в атмосфере зависит от энергии ливня. Чем выше начальная энергия ливня, тем резче уменьшение плотности в „стволе“ лавины в соответствии с изменением параметра s

в выражении $\rho(r) \sim \frac{1}{r^{2-s}}$ ⁽¹⁴⁾.

В связи с этим при раздвижении счетчиков малой площади число совпадений должно уменьшиться сильнее, чем для больших счетчиков, что также приведет к увеличению значения κ .

Нами произведен теоретический расчет изменения средней энергии ливней при раздвижении регистрирующих счетчиков.

Расчет проводился методом численного интегрирования для вертикальных ливней в обычных предположениях степенного вида энергетического спектра первичных частиц ($\gamma = 1,8$), дающих начало ливням на границе атмосферы. Оказалось, что соответствующее изменение величины s составляет лишь $\sim 1\%$ при раздвижении счетчиков ($\sigma = 2000 \text{ см}^2$) до 33 м и $\sim 2,5\%$ при раздвижении до 100 м.

Как видно из табл. 1, при увеличении расстояния D от 2 до 33 м экспериментальное значение величины κ также несколько возрастает. В пределах точности измерений этот рост согласуется с вычисленным увеличением κ .

В табл. 1 приведены также результаты измерений, проведенных в 1948 г. в Москве аналогичным методом, но с меньшей кратностью совпадений (C_3)*.

И в этом случае изменение κ не превышает нескольких процентов.

Сведения о форме спектра плотностей для малых значений D могут быть получены аналитически также и из соотношения совпадений различной кратности. Если пренебречь изменением плотности ливней в пределах установки, величину κ можно определить по отношению C_4/C_6 , пользуясь выражением для числа совпадений, приведенным в работе ⁽¹¹⁾. Для расстояния $D = 2$ м отношение C_4/C_6 соответствует $\kappa = 1,48 \pm 0,06$, что хорошо согласуется со значением κ , полученным нами методом вариации площадей.

* В измерениях 1948 г. одна из групп счетчиков отодвигалась на расстояние $D = 30$ м. В работе принимали участие также В. Ю. Орлов и Ю. В. Сивинцев.

Таким образом, характер изменения величины χ в пределах области, занимаемой электронно-фотонной лавиной, согласуется с каскадно-теоретическими представлениями.

При „выходе“ же за пределы лавины ($D > 50-70$ м) величина χ претерпевает существенное изменение. На расстоянии $D = 112$ м значение χ достигает уже величины $1,9 \pm 0,15$. По неопубликованным данным Г. Т. Зацепина, измерения, проведенные аналогичным способом в 1948 г. на высоте 3860 м, привели к той же величине χ уже для $D = 100$ м. Столь резкое изменение спектра не укладывается в рамки классической картины ливней.

Значение χ , относящееся к максимальному расстоянию ($D = 400$ м), не отличается от величины χ для $D = 112$ м. Правда, недостаточная статистическая точность не позволяет еще сделать однозначного вывода о характере изменения χ на расстояниях нескольких сот метров. Возможно, что совпадение величины χ со значением показателя степени энергетического спектра первичных частиц, наблюдаемое вне области ливня, занимаемой электронно-фотонной лавиной, не является случайным, а отражает механизм образования частиц, составляющих периферию ливней.

Обращает на себя внимание также резкое увеличение отношения C_4/C_6 при переходе к большим расстояниям.

Правильная трактовка результатов настоящих измерений, относящихся к расстояниям $D > 60-70$ м, требует проведения дополнительных изысканий.

Авторы приносят благодарность акад. Д. В. Скобельцыну, Н. А. Добротину и Г. Т. Зацепину за участие в обсуждении полученных результатов.

Поступило
9 X 1950

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Г. Т. Зацепин, ДАН, 67, 993 (1949). ² Н. Г. Биргер, В. И. Векслер, Н. А. Добротин, Г. Т. Зацепин, Л. В. Курносова, А. Л. Любимов, И. Л. Розенталь и Л. Х. Эйдуc, ЖЭТФ, 19, 826 (1949). ³ Д. В. Скобельцын, Г. Т. Зацепин и В. В. Миллер, Phys. Rev., 71, 315 (1947). ⁴ Д. В. Скобельцын, ДАН, 67, 45 (1949); ДАН, 67, 255 (1949). ⁵ Л. Х. Эйдуc, Н. М. Блинова, В. Г. Виденский и Л. Д. Суворов, ДАН, 74, № 3 (1950). ⁶ Г. Т. Зацепин, В. В. Миллер, И. Л. Розенталь и Л. Х. Эйдуc, ЖЭТФ, 17, 1125 (1947). ⁷ G. Cocconi, A. Loverdo and V. Tongiorgi, Phys. Rev., 72, 964 (1947). ⁸ J. E. Treat and K. I. Greisen, Phys. Rev., 74, 414 (1948). ⁹ В. П. Захарова и Л. Х. Эйдуc, ДАН, 65, 477 (1949). ¹⁰ G. Cocconi and V. Cocconi-Tongiorgi, Phys. Rev., 75, 1058 (1949). ¹¹ А. Мигдал, ЖЭТФ, 15, 313 (1945). ¹² G. Cocconi, Rev. Mod. Phys., 21, 26 (1949). ¹³ R. Maze, A. Fréon and P. Auger, Phys. Rev., 73, 418 (1948). ¹⁴ С. З. Беленький, Лавинные процессы, 1948.