

Г. Т. ЗАЦЕПИН и Л. И. САРЫЧЕВА

ЯДЕРНО-АКТИВНЫЕ ЧАСТИЦЫ В ШИРОКИХ АТМОСФЕРНЫХ ЛИВНЯХ

(Представлено академиком Д. В. Скобельцыным 21 X 1949)

Экспериментальные данные относительно природы проникающих частиц широких атмосферных ливней (ш. а. л.), а также относительно процессов их генерации отличались до последнего времени большой противоречивостью.

Согласно работам ряда авторов (^{1,2}), процесса генерации проникающих частиц в свинце при прохождении ш. а. л. вообще не наблюдается, проникающие же частицы, приходящие из воздуха, можно отождествить с μ -мезонами. Согласно другим данным, процесс генерации в свинце наблюдается (³⁻⁵), однако большинство авторов приписывает его фотонам большой энергии, рождающим мезоны (^{4,5}). Схема ядерно-каскадного процесса образования ш. а. л. (⁶) предусматривает, что часть частиц проникающего типа, входящих в состав ш. а. л., является ядерно-активными (я. а.), генерирующими электронно-ядерные ливни (⁷), которые содержат в своем составе и проникающие частицы. Однако имевшиеся до последнего времени экспериментальные результаты были весьма ненадежны.

В 1947 г. И. Л. Розенталем с помощью 18 счетчиков, соединенных с неоновыми лампочками (⁸), было проведено сравнение ливнеобразующей способности проникающих частиц „одиночной“ компоненты и частиц, сопровождаемых ш. а. л. Результаты этого сравнения дали указание о том, что по крайней мере часть проникающих частиц ш. а. л., в противоположность „одиночным“ проникающим частицам, дает в свинце ливни из многих частиц, т. е. не является μ -мезонами.

Малое число наблюденных случаев (из 17 проникающих частиц ш. а. л. 3 генерировали ливни) не позволило сделать каких-либо количественных выводов.

Летом 1948 г. на Памире, на высоте 3860 м было проведено наблюдение прохождения проникающих частиц через свинец. На рис. 1 дана схема свинцового блока и расположения счетчиков. Свинец расположен тремя слоями толщиной в 6, 10 и 6 см. С боков и торцов счетчики экранировались свинцом по 14 см толщиной, снизу — 4 см. 72 счетчика размером $3,3 \times 30$ см были соединены с неоновыми лампочками по схеме Л. Н. Кораблева (⁹). Регистрация производилась фотографированием. Проверка показала, что разрешающая способность системы соответствует $\tau = 10^{-4}$ сек., так что на 10 кадров случайно вспыхивает 1 неоновая лампочка (из 72).

При изучении ливнеобразования проникающими частицами „одиночной“ компоненты система управлялась тройными совпадениями: два из управляющих счетчиков размером $3,3 \times 30$ см располагались

в вертикальной плоскости над свинцовым блоком, третьим являлась группа А. Было получено 856 кадров, из них исключено 16 кадров, на которых наблюдается прохождение ш. а. л. (группа II), и еще 6, на которых наблюдается образование плотного ливня под 6 см свинца (группа III). В первой строке табл. 1 представлены результаты отбора (в процентах) кадров (из 834) по числу сработавших счетчиков группы V (результаты по группе VI совпадают). Представленные данные показывают, что 96,5% проникающих частиц, наблюдаемых под 22 см свинца, проходят без сопровождения, что может быть согласовано с вычислениями вероятности образования δ -ливней μ -мезонами.

Для изучения ливнеобразования проникающими частицами, входящими в состав ш. а. л., в качестве управляющих служили тройные совпадения между импульсами от группы А ($\sigma = 1200 \text{ см}^2$) и двух

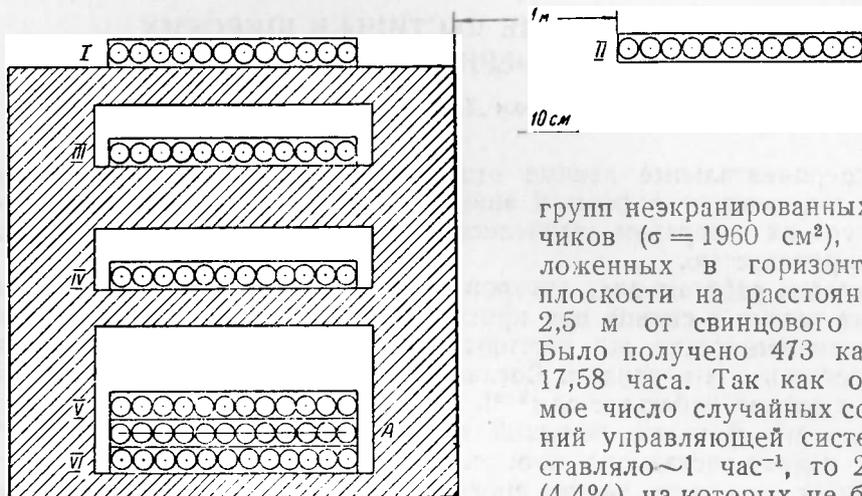


Рис. 1

табл. 1 представлены результаты обработки 452 кадров по числу n сработавших счетчиков в группе V, причем 46 кадров, на которых ни одна из лампочек, соответствующих группе V, не загорелась, отнесены к $n = 1$.

В третьей строке табл. 1 приведены результаты вычислений вероятности попадания в группу V n проникающих частиц из воздуха при использованной системе управления. При вычислении предполагалось, что плотность потока проникающих частиц составляет 2% от плотности потока электронов, что ливни имеют распределение по плотностям ρ вида $\rho^{-1,4}$ и что структурность потоков проникающих частиц в воздухе отсутствует.

Таблица 1

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
«Одиночные» .	96,5	2,5	0,5	0,3	0,1	0,1	0	0	0	0	0	9
Ливневые . .	57,4	18,0	6,2	5,8	3,1	2,3	1,3	1,5	2,3	0,3	0,5	1,3
Результаты вычислений . .	91,4	6,6	1,2	0,3	—	—	—	—	—	—	—	—

Данные табл. 1 показывают, что полученное распределение чисел ливней под свинцом, сопровождающих проникающие частицы ш. а. л.

не может быть объяснено ни δ -ливнями, ни возможностью одновременного попадания нескольких мезонов из воздуха. Следовательно, значительная часть ($\sim 18\%$ при $n \geq 4$) проникающих частиц ш. а. л., наблюдаемых под 22 см свинца, сопровождается ливнями, генерированными в свинце.

В табл. 2 приведены средние числа сработавших счетчиков в каждой из групп при различных критериях отбора фотокадров. В первой строке (А) приведены результаты обработки фотокадров, на которых и в группе V и в группе VI наблюдается прохождение одиночной частицы. Во второй строке (Б) — когда в группе V число сработавших счетчиков $n \geq 4$. В третьей строке (В) — когда в нижней пластине свинца наблюдается генерация ливня, а именно, когда разность числа вспыхивающих лампочек групп V—IV ≥ 4 . В четвертой строке (Г) — когда IV — III ≥ 4 , а в пятой (Д) — когда III — I ≥ 4 .

Таблица 2

Категория кадров	Г р у п п а					% кадров
	I	II	III	IV	V	
А	2,9	2,7	2,2	0,9	1,0	31,0
Б	3,5	3,6	4,3	4,0	7,7	18,6
В	3,0	2,6	3,0	1,2	7,0	6,6
Г	1,5	1,0	1,6	8,6	4,8	4,0
Д	2,6	3,0	8,4	3,0	2,4	9,0

Следует отметить следующие особенности.

1. Плотность ливня в воздухе, характеризуемая числами в столбцах I и II, примерно одинакова для случаев А и В. Это подтверждает, что ливни V генерируются в свинце одиночными частицами, приходящими из воздуха, а не являются потоками проникающих частиц, приходящими из атмосферы.

2. Из полного числа ливней (Б), наблюдаемых под 22 см свинца, около 40% генерируется в нижней пластине свинца (В). Отсюда однозначно следует, что ливни генерируются проникающими частицами, а не фотонами или электронами.

3. В случаях, когда ливень генерируется в средней пластине свинца (IV — III ≥ 4), число сработавших счетчиков в группе V заметно меньше, чем в группе IV, т. е. дополнительные 6 см свинца значительно поглощают ливневые частицы. Однако на снимках, на которых зафиксировано большое число сработавших счетчиков в группе III, обычно наблюдается несколько частиц, проходящих через группы IV, V и VI, причем число сработавших счетчиков этих групп примерно одинаково. Данные говорят в пользу того, что в генерируемых ливнях содержатся как электроны, так и проникающие частицы, вследствие чего эти ливни следует отождествить с электронно-ядерными ливнями. Этот вывод подтверждается результатами, полученными с помощью камеры Вильсона (¹⁰).

4. В случае А среднее число частиц под 6 см свинца (группа III) меньше, чем на воздухе (группа I), тогда как для В поглощения не наблюдается. Данный результат можно интерпретировать следующим образом: генерирующие я. а. частицы имеют более узкое пространственное распределение, чем ядерно-пассивные частицы (вероятно, μ -мезоны), вследствие чего сопровождаются электронно-фотонной компонентой более высокой энергии. Так как и для случая В размножение электронов в среднем в 6 см свинца отсутствует, то энергия электронов, сопровождающих я. а. частицы, может быть оценена

величиной $\cong 3 \cdot 10^8$ эв ⁽¹¹⁾. Согласно каскадной теории, ширина распределения электронов такой энергии в воздухе на высоте 3860 м характеризуется величиной $\sqrt{K^2} = 32$ м ⁽¹²⁾. Эта величина может быть принята в качестве оценки ширины распределения я. а. частиц высокой энергии (достаточной для генерации электронно-ядерного ливня), входящих в состав ш. а. л.

5. Вероятность того, что частица прошла слой x_1 и генерировала ливень в слое x_2 , может быть записана в виде

$$w = e^{-x_1/x_{01}} (1 - e^{-x_2/x_{02}}),$$

где x_{01} — средний пробег я. а. частицы до ее поглощения, а x_{02} — средний пробег до генерации ливня ($x_{01} \geq x_{02}$). Зная долю числа случаев генерации ливня в заданном слое свинца от полного числа кадров (табл. 2, строка В), можно оценить долю регистрируемых я. а. частиц от регистрируемого числа проникающих. Минимальная оценка получается, если положить $x_{01} = \infty$, а x_{02} — наименьшим из возможных, т. е. соответствующим „геометрическому“ сечению ядра свинца, $x_{02} = 160$ г/см² ⁽¹³⁾. Такая оценка дает величину в 20% от полного числа проникающих. В случае же $x_{01} = x_{02} = 160$ г/см² эта величина возрастает до 50%. Следует отметить, что изменение критерия отбора (величина разности V — IV) случаев генерации ливня в нижней пластине свинца не меняет порядка числа таких случаев N , а именно: при $V - IV \geq 3$ $N = 43$; $V - IV \geq 4$ $N = 30$; $V - IV \geq 5$ $N = 20$. Следовательно, приведенные оценки являются объективными.

Истинное отношение полного числа ядерно-активных частиц к полному числу проникающих частиц в ливне может быть определено лишь при знании пространственного распределения как тех, так и других частиц. Благодаря более узкому распределению ядерно-активных частиц это отношение должно быть меньше, чем непосредственно измеренное.

Данные измерения подтвердили присутствие в составе широких атмосферных ливней ядерно-активных частиц высокой энергии, генерирующих электронно-ядерные ливни. Число таких частиц может быть оценено величиной порядка 0,1 — 1% от числа электронов в ливне, а ширина их пространственного распределения — порядка 30 м.

В заключение авторы приносят благодарность акад. Д. В. Скобельцыну за дискуссию результатов и Н. А. Добротину за ценные советы и помощь в работе.

Физический институт им. П. Н. Лебедева
Академии наук СССР

Поступило
7 IX 1949

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ G. Cocconi and K. Greisen, Phys. Rev., 74, 62 (1948). ² J. E. Treat and K. Y. Greisen, *ibid.*, 74, 414 (1948). ³ P. Auger and J. Daudin, *ibid.*, 61, 549 (1942). ⁴ G. Cocconi e C. Festa, Nuovo Cim., 3, 293 (1946); B. Ferretti, *ibid.*, 3, 301 (1946); G. Salvini and G. Tagliaferri, Phys. Rev., 73, 261 (1946). ⁵ D. Broatbent and L. Janossi, Proc. Roy. Soc., 192, 364 (1948). ⁶ Г. Т. Зацепин, ДАН, 67, № 6 (1949). ⁷ Н. Г. Биргер, В. И. Векслер, Н. А. Добротин, Г. Т. Зацепин, Л. В. Курносова, А. Л. Любимов, И. Л. Розенталь и Л. Х. Эйбус, ЖЭТФ, 19, № 9 (1949). ⁸ С. А. Кучай и И. Л. Розенталь, ДАН, 60, 1523 (1948). ⁹ Л. Н. Кораблев, ДАН, 62, 215 (1948). ¹⁰ С. Азимов, Н. Биргер и А. Горбунов, ДАН, 65, 625 (1949). ¹¹ Г. Т. Зацепин, ДАН, 63, 243 (1948). ¹² С. З. Беленький, Лавинные процессы в космических лучах, 1948, стр. 195. ¹³ Б. Росси, Усп. физ. наук, 38, 222 (1949).