

Г. Я. АРТЮХОВ, Г. Т. ЗАЦЕПИН, Л. И. САРЫЧЕВА и Л. Х. ЭЙДУС

## О ГЕНЕРАЦИИ ЭЛЕКТРОННО-ФОТОННОЙ КОМПОНЕНТЫ ВЫСОКОЙ ЭНЕРГИИ

(Представлено академиком Д. В. Скобелцыным 22 VII 1949)

Летом 1948 г. на высоте 3860 м над уровнем моря с помощью годоскопической установки детально исследовались явления, сопровождающие появление в космическом излучении электронов и фотонов высокой энергии ( $\sim 2 \div 3 \cdot 10^9$  эв).

Появление на средних высотах электронов высокой энергии в основном объясняется<sup>(1)</sup> генерацией их в глубине атмосферы ядерно-активными частицами, в том числе идущими в составе широких воздушных ливней („особые“ ливни в воздухе). Настоящая работа подтверждает это заключение.

Схематический разрез годоскопической установки\* приведен на рис. 1. Управляющим импульсом служило одновременное срабатывание 6 счетчиков малой площади, расположенных в виде „звездочки“ под слоем свинца толщиной 2,9 см. Каждая годоскопическая коробка ( $\Gamma_1 - \Gamma_9$ ) содержала 12 счетчиков диаметром в 33 мм и длиной в 300 мм. Счетчики  $\Gamma_5$  и  $\Gamma_6$  позволяли судить о поведении проникающей части регистрируемых ливней.

Фотоны, падающие на установку, могли конвертироваться в пластине  $\Pi$  и регистрироваться счетчиками ниже расположенных коробок. Тонкая пластинка  $\Pi$  не могла вызвать существенного размножения конвертируемого в ней фотона. В то же время 20% совпадений, вызванных нейтральными частицами (когда в  $\Gamma_1$  не было разряда ни в одном счетчике), сопровождалось разрядом в трех и более счетчиках в  $\Gamma_2$ . Это могло быть вызвано одновременной конверсией в пластине  $\Pi$  нескольких фотонов, что подтверждается и другими данными. Заряженные частицы, образованные конверсией в  $\Pi$  фотона высокой энергии, не могут к тому же разойтись на заметные углы и практически должны попасть лишь в один счетчик. Между тем, при совпадении в „звездочке“, вызванном нейтральной частицей, в среднем срабатывает в  $\Gamma_2$  1,3 счетчика. В случаях же разрядов в большем числе счетчиков не всегда срабатывают рядом расположенные. Получен также ряд снимков, на которых видны параллельные потоки частиц, образованных одновременной конверсией в пластине  $\Pi$  нескольких фотонов. Все это позволяет сделать заключение о существовании фотонных ливней, содержащих фотоны высокой энергии.

В одной серии опытов с помощью счетчиков  $\Gamma_7$  и  $\Gamma_8$  оценивалась плотность потоков частиц воздушного сопровождения. В 10% случаев малому числу счетчиков, сработавших в  $\Gamma_7$  и  $\Gamma_8$  ( $0 \div 2$  счетчика из 24),

\* Схема годоскопа на неоновых лампочках была разработана Л. Кораблевым<sup>(2)</sup>.

сопутствовала большая плотность потока над самой „звездочкой“ (6 — 10 счетчиков из 12 в  $\Gamma_1$ ).

В ряде случаев заряженные частицы, вызывавшие срабатывание „звездочки“, появлялись в виде узких групп, захватывающих лишь часть годоскопических счетчиков  $\Gamma_1 - \Gamma_4$ .

Как известно из многочисленных опытов (3), при обычных методах выделения широких ливней не наблюдается какой-либо структурности их, и закон Пуассона для пространственного распределения числа

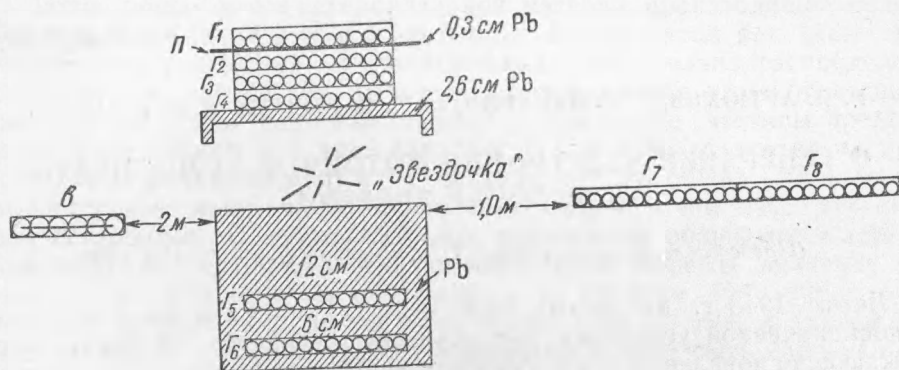


Рис. 1

частиц хорошо выполняется, что согласуется с теоретическими представлениями о каскадном механизме размножения электронно-фотонной компоненты. Узкая же структура ливней, наблюдаемая при выделении электронов и фотонов высокой энергии, может быть объяснена образованием в воздухе „особых“ ливней, содержащих электроны и фотоны высокой энергии.

Таким образом, указанные эксперименты подтверждают факт возникновения электронно-фотонной компоненты в глубине атмосферы. Существование фотонных ливней свидетельствует о генерации в „особых“ ливнях фотонов, конвергируемых в электроны уже при дальнейшем проникновении через атмосферу.

По ранее произведенным оценкам (1) большая часть регистрируемых электронов и фотонов высокой энергии рождается на расстояниях, меньших 4,5  $t$ -единиц над установкой. Случаи регистрации фотонных ливней естественно трактовать как возникновение „особых“ ливней в воздухе не вдалеке от установки.

Следует отметить, что большинство электронов (фотонов) высокой энергии появляется в составе широких ливней относительно небольшой плотности\*. Поэтому принадлежность их к широкому ливню может быть обнаружена лишь при достаточно большой площади счетчика  $\delta$ . При меньших же площадях этого счетчика пучки частиц, содержащие электроны высокой энергии, будут зарегистрированы как узкие ливни.

Анализ годоскопических снимков позволяет также получить данные о прохождении ливневых частиц через большие толщи свинца.

Как видно из табл. 1, значительное число управляющих импульсов сопровождается наличием ионизирующих частиц в  $\Gamma_5$  и  $\Gamma_6$ .

В  $\Gamma_6$  срабатывание счетчиков происходит вдвое реже, чем в  $\Gamma_5$ . Столь резко различие объясняется, вероятно, тем, что в  $\Gamma_6$  наряду с проникающими частицами регистрируются часто и каскадные электроны, проходящие сквозь 15 см Pb.

\* Половина общего числа управляющих импульсов сопровождалась широкими ливнями с плотностью  $\rho < 25$  частиц/м<sup>2</sup>.

Таблица 1

Процент сопровождения управляющего импульса разрядом хотя бы в одном счетчике коробок  $\Gamma_5$  и  $\Gamma_6$

	Площадь каждого из счетчиков «звездочки» в см <sup>2</sup>	Площадь коробок $\Gamma_5$ и $\Gamma_6$ в см <sup>2</sup>		
		120	1920	2740
$\Gamma_5$	{ 48 24	47±9 60±2	65±3 66±4	— 81±2
$\Gamma_6$	{ 48 24	21±2 32±2	— —	— —

Действительно, как было указано в предыдущем сообщении (1), электроны, регистрируемые установкой, обладают энергией  $\sim 2 \div 3 \cdot 10^9$  эв. При этом в значительном числе случаев ( $\sim 30\%$ ) на установку попадает одновременно  $\geq 10$  частиц.

Каскадные кривые для свинца (4) показывают, что один электрон с энергией  $3 \cdot 10^9$  эв дает на глубине 30  $t$ -единиц ( $\Gamma_5$ ) в среднем 0,4 электрона. Поэтому большой процент корреляции с  $\Gamma_5$  может быть в основном объяснен прохождением электронно-фотонных лавин через свинец, учитывая, что в 60% случаев на установку падает одновременно несколько частиц.

Согласно каскадным кривым для свинца, на глубине 42  $t$ -единиц ( $\Gamma_6$ ) среднее число электронов, возникших от одной частицы с энергией  $3 \cdot 10^9$  эв, равно 0,02. Даже учитывая возможность одновременного падения на установку нескольких частиц, а также наличие электронов более высоких энергий, нельзя ожидать корреляции с  $\Gamma_6$  от «хвостов» электронно-фотонных лавин, превышающей 5—7% от общего числа кадров, или 15—20% от случаев корреляции с  $\Gamma_5$ .

Таким образом, срабатывание счетчиков в  $\Gamma_6$  в большинстве случаев вызывается проникающими частицами. При появлении проникающих частиц в  $\Gamma_6$  чаще всего срабатывают 1—2 счетчика, однако примерно в  $1/3$  случаев срабатывает большое число их (4 ÷ 11). Анализ соответствующих снимков позволяет трактовать эти случаи как образование в свинце «особого» ливня ядерно-активной частицей, идущей в составе широкого атмосферного ливня. Действительно, в нашей установке, эффективно выделяющей электроны и фотоны высокой энергии, все случаи появления в  $\Gamma_6$  большого количества частиц сопровождались разрядом в счетчике  $b$ ; при этом на 70% кадров в воздухе наблюдался плотный ливень.

В табл. 2 приведены результаты обработки части кадров, иллюстрирующие акты ливнеобразования ядерно-активными частицами, идущими в составе малоплотных воздушных ливней. В ячейках табл. 2 указывается число срабатывавших счетчиков в соответствующем ряду.

Таблица 2

№ кадра по пор.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
$\Gamma_1$	1	3	3	0	1	2	1	0	0	1	3	0	1	3	2	0	1	0	1	0	4	1	1
$\Gamma_2$	6	8	9	3	3	5	3	0	1	1	2	1	1	2	2	1	2	0	1	0	2	1	2
$\Gamma_5$	10	12	10	7	7	8	2	3	6	6	3	12	12	11	12	8	10	11	6	9	4	9	9
$\Gamma_6$	5	6	7	7	4	10	7	8	8	8	5	6	8	5	4	4	4	7	6	4	4	5	6

Заметное превышение числа сработавших счетчиков в  $\Gamma_2$  по сравнению с  $\Gamma_1$  на кадрах 1—7 могло быть вызвано одновременным падением на установку ядерно-активной частицы, генерировавшей „особый“ ливень, и фотонов высокой энергии, ответственных за срабатывание „звездочки“. Кадры 7 и 8 могут быть объяснены лишь вторичным ливнеобразованием в нижних слоях свинца.

Обнаруженная тесная связь электронно-фотонной компоненты высокой энергии с проникающими и ядерно-активными частицами, идущими в составе атмосферных ливней, находится в согласии с высказанным ранее утверждением<sup>(1)</sup> о том, что ядерно-активные частицы, ответственные за генерацию этой компоненты на больших глубинах в атмосфере, являются вторичными частицами.

Авторы выражают благодарность акад. Д. В. Скобельцыну и Н. А. Добротину за обсуждение полученных результатов.

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

Поступило  
19 VII 1949

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

<sup>1</sup> Г. Я. Артюхов, Г. Т. Зацепин, Л. И. Сарычева и Л. Х. Эйдус, ДАН, 68, № 3 (1949). <sup>2</sup> Л. Н. Кораблев, ДАН, 62, 215 (1949). <sup>3</sup> P. Auger et J. Daudin, Journ. de Phys. et le Rad., 6, 233 (1945). <sup>4</sup> Г. Т. Зацепин, ДАН, 63, 243 (1948).