

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

**ОБРАЗОВАНИЕ КОСМИЧЕСКИМ ИЗЛУЧЕНИЕМ В ГЛУБИНЕ
АТМОСФЕРЫ ЭЛЕКТРОНОВ И ФОТОНОВ ВЫСОКОЙ ЭНЕРГИИ**

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

Летом 1948 г. на Памире было произведено исследование электроно-фотонной компоненты высокой энергии. Исследование производилось с помощью установки, изображенной на рис. 1. Шесть счетчиков малой площади ($\sigma = 24 \text{ см}^2$), расположенных в виде „звездочки“ под слоем свинца d и включенных на совпадение, регистрировали случаи появления под свинцом достаточно плотных ливней. Совпадение могло быть вызвано попаданием на установку одного электрона или фотона достаточно большой энергии или нескольких соответственно меньшей энергии. При толщине слоя d , равной 3—3,5 см, большинство совпадений в „звездочке“ вызывалось электронами или фотонами высокой энергии ($> 2 \div 3 \cdot 10^9$ эв). Об этом наглядно свидетельствуют кривые переходного эффекта в свинце, приведенные на рис. 2 для различных высот над уровнем моря.

Действительно, при увеличении толщины слоя d резко изменялось число срабатываний „звездочки“.

Положение максимума кривых соответствует высокой энергии частиц, регистрируемых установкой.

Под толстыми слоями свинца (16—18 см) совпадения в „звездочке“ могли быть вызваны „особыми“ ливнями^(1,2), а также достаточно плотными радиационными и δ -ливнями, порожденными в свинце мезонами жесткой компоненты. Частота появления этих ливней слабо зависит от толщины поглотителя. Резкое уменьшение числа совпадений после максимума показывает, что при толщине свинца, соответствующей максимуму, вклад этих процессов в измеряемом эффекте не превышал 10—15% и, следовательно, большинство совпадений вызывалось электронами и фотонами высокой энергии.

Если предполагать, что регистрируемые установкой частицы являются потомками электронов весьма большой энергии, появившихся в верхних слоях атмосферы и размножившихся в ней, следует ожидать, согласно каскадной теории, резкого изменения числа частиц с высотой. В частности, принимая для энергетического спектра электронов выражение $N(>E) = A/E^{1,8}$ ⁽⁶⁾, следует ожидать экспоненциального уменьшения с высотой со средней длиной пробега $1/\mu \cong 70 \text{ г/см}^2$.

Электроны высокой энергии, находящиеся в равновесии с жесткой компонентой на высотах $2 \div 5$ км, составляют незначительную долю от общего числа таких электронов⁽³⁾ и не могут оказать сколь угодно существенного влияния на величину коэффициента поглощения.

Между тем, экспериментальное значение коэффициента поглощения, полученное из сравнения чисел совпадений в максимумах переходных кривых на разных высотах, соответствует $1/\mu = 124 \pm 12 \text{ г/см}^2$

Как известно, таким же законом характеризуется поглощение в атмосфере ядерно-взаимодействующих частиц, создающих „особые“ ливни, наблюдавшиеся под толстыми слоями различных веществ (^{2,4}).

В „особых“ ливнях происходит одновременное образование как проникающих частиц, так и электронно-фотонной компоненты (⁵). Обнаруженное нами одинаковое изменение с высотой числа ядерно-активных частиц и электронов (фотонов) высокой энергии свидетельствует о том, что на средних высотах подавляющее большинство последних идет в равновесии с ядерно-активной компонентой, генерирующей электроны (фотоны) в глубине атмосферы („особые“ ливни в воздухе).

Средняя высота зарождения электронов над установкой ($\overline{t-t'}$)

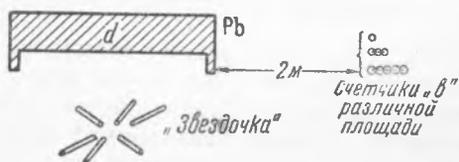


Рис. 1

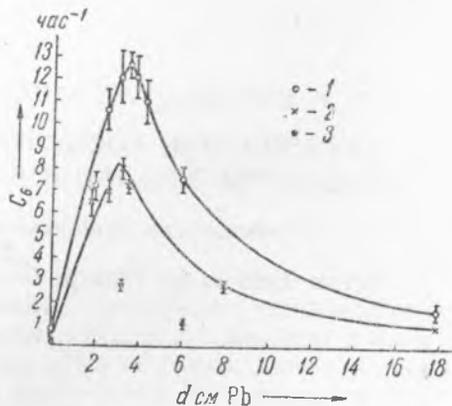


Рис. 2. 1 — $H = 4700$ м, 2 — $H = 3860$ м, 3 — $H = 2200$ м над у. м.

(t — глубина наблюдения, t' — глубина зарождения электронов) выражается в виде:

$$\overline{t-t'} = \frac{\int_0^t (t-t') e^{-\lambda_1 t'} e^{-\lambda_2 (t-t')} dt'}{\int_0^t e^{-\lambda_1 t'} e^{-\lambda_2 (t-t')} dt'}$$

где λ_1 — коэффициент поглощения генерирующей компоненты, λ_2 — коэффициент поглощения электронно-фотонной компоненты.

Если считать, что энергетический спектр рожденных электронов выражается законом $N(>E) = A/E^{1,8}$, то следует принять, согласно каскадной теории (измеряя глубину в t -единицах), $\lambda_2 = 0,47$.

Принимая для λ_1 значение 0,26 (что соответствует $1/\lambda_1 = 124$ г/см²), получаем, что средняя высота рождения электронов над установкой составляет около 4,5 t -единиц для высот в несколько километров над уровнем моря, а основной вклад в число электронов с энергией $3 \cdot 10^9$ эв вносят электроны, рожденные с энергией, лежащей в интервале 10^{10} — $6 \cdot 10^{10}$ эв. Для оценки плотности потоков частиц воздушного сопровождения измерялась корреляция срабатываний „звездочки“ с разрядом в счетчиках в различной площади (от 7 до 2400 см²), удаленных от „звездочки“ на 1,5—2 м.

На рис. 3 изображено изменение процента корреляции срабатывания „звездочки“ с разрядом в счетчике в при увеличении площади последнего. Как видно из рис. 3, около 25% случаев сопровождается разрядом в счетчиках малой площади 7 ÷ 30 см². В то же время процент корреляции непрерывно растет при дальнейшем увеличении площади счетчиков в. Это объясняется, повидимому, тем, что в действительности лишь малый процент полного числа совпадений в „звездочке“ вызывается частицами, идущими без заметного воздушного сопровождения.

Одновременное срабатывание 6 счетчиков происходит в том случае, когда из свинца, расположенного над ними, вырывается достаточно плотный поток частиц. Это происходит, если энергия прошедшего из воздуха на свинец электрона достаточно велика. При одновременном попадании нескольких электронов такая же плотность ливня под свинцом образуется уже при меньшей энергии каждого из электронов, поэтому установка оказывается селективной к ливням.

С увеличением глубин в атмосфере плотность ливней, регистрируемых в том же проценте случаев, возрастает (рис. 3). Следовательно, на больших глубинах средняя энергия регистрируемых электронов уменьшается. Это обстоятельство приводит к тому, что наблюдаемый коэффициент поглощения должен быть меньше истинного. Произведе-

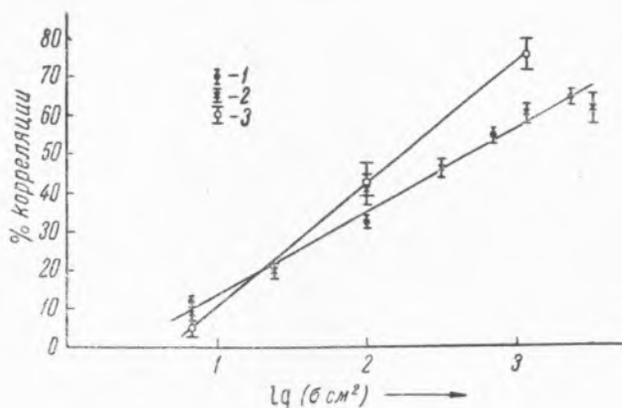


Рис. 3. 1 — $H = 3860$ м, 2 — $H = 4700$ м, 3 — $H = 2200$ м над у. м.

денная нами оценка показывает, что истинный коэффициент поглощения превышает наблюдаемый коэффициент не более, чем на 10—15%, поэтому вывод о том, что электроны и фотоны высокой энергии идут в равновесии с ядерно-активной компонентой, генерирующей их в процессе рождения „особых“ ливней, остается в силе.

Высотный ход электронов и фотонов высокой энергии исследовали также Бридж и Росси (6). Наблюдаемое ими значение коэффициента поглощения совпадает с полученным в данной работе. Указанный нами аппаратный эффект, искажающий истинный коэффициент поглощения в атмосфере электронно-фотонной компоненты высокой энергии, должен влиять также и на измерения с ионизационной камерой. Однако примененная в работе (6) методика не позволяла произвести оценки этого эффекта.

Как известно, электронно-фотонная компонента в верхних слоях атмосферы генерируется первичными протонами (7). В нижних же слоях атмосферы большая часть ядерно-активных частиц, вызывающих „особые“ ливни, являются нейтральными (8), а следовательно, вторичными. К такому же выводу приводит значительный процент воспроизведения генерирующих частиц воздушными ливнями (10). Отсюда следует, что и электронно-фотонная компонента на больших глубинах в атмосфере образуется вторичными ядерно-активными частицами. Согласно выдвинутой недавно гипотезе (9), находящей экспериментальное обоснование (10, 11), образование вторичных ядерно-активных частиц происходит в актах генерации „особых“ ливней, что приводит к существованию ядерно-каскадного процесса. Таким образом, следует признать фундаментальное значение этого процесса не только в развитии широких ливней (9), но и в образовании электронно-фотонной компоненты высокой энергии в нижних слоях атмосферы.

В заключение авторы выражают признательность Н. А. Добротину, предложившему провести описанные эксперименты, и акад. Д. В. Скобельцыну за обсуждение полученных результатов.

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

Поступило
19 VII 1949

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ Г. Б. Жданов и А. Л. Любимов, ДАН, **65**, 119 (1947). ² В. И. Векслер, Л. В. Курносова и А. Л. Любимов, ЖЭТФ, **17**, 1027 (1947). ³ В. Rossi, Reviews of Modern Phys., **21**, № 1 (1949). ⁴ Л. В. Курносова и Б. Шуляк, ДАН, **61**, 1023 (1948). ⁵ Н. Г. Биргер и Л. Х. Эйдуc, ДАН, **65**, 819 (1949). ⁶ Н. Bridge and В. Rossi, Phys. Rev., **71**, 379 (1947). ⁷ С. Н. Вернов, ЖЭТФ, **19**, 621 (1949). ⁸ Л. Н. Кораблев, А. Л. Любимов и А. В. Миллер, ДАН, **61**, 633 (1948). ⁹ Г. Т. Зацепин, ДАН, **67**, № 6 (1949). ¹⁰ 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**, № 9 (1949). ¹¹ С. J. Чао, Phys. Rev., **75**, 581 (1949).