

Н. ДОБРОТИН, Н. ИВАНОВА и Б. ИСАЕВ  
ОБ ОБРАТНЫХ ЛИВНЯХ

(Представлено академиком С. И. Вавиловым 27 X 1938)

В 1932 г. Росси обнаружил, что число совпадений, вызываемых космическими лучами в трех счетчиках, увеличивается не только при помещении свинца над счетчиками, но и при помещении свинца под ними. В дальнейшем эти обратные ливни были исследованы Фюнфером<sup>(1)</sup>, Хейделем<sup>(2)</sup>, Гильбертом<sup>(3)</sup> и Хоземаном<sup>(4)</sup>. Ими было обнаружено, что зависимость числа обратных ливней от толщины свинца под счетчиками представляется кривой с насыщением, наступающим примерно при 0.6 см Pb. Число обратных ливней зависит также от вещества, расположенного под счетчиками, линейно возрастая с увеличением  $Z$ . Это обстоятельство дало возможность Хейделю и Хоземану оценить порядок величины энергии излучения, образующего обратные ливни. Прокладывая между свинцом, расположенным под счетчиками, и самими счетчиками пластинки Al, Хейдель и Хоземан нашли для коэффициента поглощения этого излучения значение  $1-3 \text{ см}^{-1} \text{ Al}$ . Считая излучение  $\gamma$ -лучами, они оценили энергию квантов его в  $10^5-10^6 \text{ eV}$ .

По данным Гильберта зависимость числа обратных ливней от толщины свинца над счетчиками следует обычной кривой Росси для прямых ливней. Это подтверждается и опытами Фюнфера, Хейделя и Хоземана, которые также нашли, что число обратных ливней возрастает в 2.5—6 раз при помещении над счетчиками 15 мм Pb.

В опытах Хейделя и Хоземана число обратных ливней при наличии свинца над счетчиками достигало 40—50% от числа прямых ливней.

Можно показать, что совокупность приведенных экспериментальных фактов не может быть объяснена на основе известных механизмов образования вторичных частиц космическими лучами. Действительно, из теории, развитой Баба и Хейтлером<sup>(5)</sup>, вытекает, что кванты тормозного излучения испускаются практически по направлению движения излучающей частицы. Частицы пар с большой энергией, образующиеся при поглощении этого тормозного излучения, также составляют малые углы с направлением распространения фотонов, их вызывающих. Отсюда следует, что обычный каскадный механизм образования ливней не может привести к появлению частиц, летящих снизу вверх. Точно так же кванты тормозного излучения, возникающего при поглощении ливневых частиц в свинце под счетчиками, не могут дать вторичных электронов, направленных снизу вверх. Кроме того число таких квантов торможения оказывается

слишком малым для того, чтобы объяснить наблюдаемый процент обратных ливней\*.

Обратные ливни нельзя объяснить и аннигиляционным излучением, возникающим в свинце за счет позитронов, имеющих в ливнях. В этом случае, если пренебречь потерей энергии позитронов на излучение, а также фотоэффектом (что во всяком случае справедливо для более легких элементов, исследованных Хейделем и Хоземаном), то при достаточной толщине слоя число обратных ливней не должно было бы зависеть от атомного номера вещества, находящегося под счетчиками. А это, как мы видели, находится в резком противоречии с экспериментальными данными. Легко видеть также, что обратные ливни нельзя объяснить и простым рассеянием ливневых частиц, описываемым известной формулой Мотта.

Таким образом для объяснения образования обратных ливней приходится искать новые, еще неизвестные механизмы. Это обстоятельство придает исследованию обратных ливней большое принципиальное значение.

В связи с этим летом 1938 г. нами были поставлены опыты с обратными ливнями на высоте 3 000 м над уровнем моря (Эльбрус, Кавказ). Для работы была использована описанная ранее установка с двумя группами пропорциональных счетчиков, включенных в схему совпадений<sup>(6)</sup>. Для устранения совпадений, обусловливаемых тяжелыми частицами, между счетчиками помещались прокладки из Al с толщиной, соответствующей 0.55 г/см<sup>2</sup>.

Опыты производились при постоянной толщине свинца под счетчиками (15 мм). При этом исследовалась зависимость числа обратных ливней от толщины Pb и Al над счетчиками. Результаты этих опытов представлены в следующей таблице.

Толщина материала над счетчиками . . .	0	Pb; 0.2 см	Pb; 0.8 см	Pb; 1.5 см	Al; 3.2 см
Число обратных ливней за 3 мин. . . .	4.4±0.4	3.8±0.6	4.4±1.0	1.3±1.7	0.8±0.8
% обратных ливней по отношению к прямым . . . . .	13	9	7	2	2

Из таблицы следует, что имеется резкое противоречие между нашими результатами и результатами, полученными другими авторами. В то время как при работе с обычными счетчиками число обратных ливней резко увеличивается при помещении над счетчиками 15 мм Pb, в наших опытах при этом получилось уменьшение числа обратных ливней. Уменьшение получилось и при помещении над пропорциональными счетчиками 3.2 см Al.

То обстоятельство, что в опытах Гильберта<sup>(3)</sup>, производившихся на высоте 3 500 м, получился качественно тот же результат, что и у других авторов на уровне моря, показывает, что это противоречие не может быть объяснено за счет зависимости свойств обратных ливней от высоты места наблюдения. В опытах Хейделя<sup>(2)</sup> и Хоземана<sup>(4)</sup> все три счетчика были расположены в горизонтальной плоскости, в опытах Фюнфера<sup>(1)</sup> и Гильберта<sup>(3)</sup>—треугольником. Тем не менее результаты, полученные этими авторами, качественно сходны. Это указывает на то, что рассматриваемое противоречие не может быть отнесено и за счет разницы в геометрии

\* Даже если учесть, что «обратный ливень» может состоять из нескольких частиц, идущих сверху вниз, и только одной частицы, идущей снизу вверх.

ческих условиях опытов. Поэтому приходится предположить, что свойства обратных ливней в сильной степени зависят от величины регистрируемых ливней. В опытах с обычными счетчиками Гейгера-Мюллера срабатывание установки может вызываться тремя, а иногда и двумя одновременно частицами. В наших же опытах с пропорциональными счетчиками чувствительность установки была такова, что установка срабатывала при одновременном попадании не менее 10—12 частиц. Поэтому получившееся противоречие можно объяснить, если предположить, что среди ливней с малым числом частиц преобладают такие обратные ливни, число которых увеличивается при помещении свинца над счетчиками; наоборот, среди больших ливней преобладают такие обратные ливни, число которых уменьшается при помещении свинца над счетчиками.

Кроме высоты 3 000 м опыты по определению числа обратных ливней были выполнены нами также на высотах 4 200 м и 5 300 м над уровнем моря. При этом оказалось, что процент обратных ливней по отношению к прямым на всех трех высотах остается примерно постоянным. Это указывает на то, что наблюдавшиеся обратные ливни связаны с мягкой компонентой космического излучения. Однако данные, полученные на больших высотах, являются менее надежными, чем данные, полученные на высоте 3 000 м, и поэтому этот вывод еще нуждается в экспериментальной проверке.

Таким образом сделанные нами опыты показывают, что в явлении обратных ливней мы имеем дело со сложными процессами, в которых могут играть роль различные механизмы образования вторичных частиц.

Возможно, что вывод Хейделя и Хоземана о том, что обратные ливни связаны с мягкими  $\gamma$ -лучами и сильно поглощаемыми частицами нужно относить лишь к части обратных ливней. Другую часть обратных ливней, может быть, надо относить за счет жестких  $\gamma$ -лучей и сильно проникающих частиц. Это заключение может найти себе подтверждение и в фотографиях, полученных с помощью камеры Вильсона Д. В. Скобельцыным<sup>(7)</sup>, Блеккетом<sup>(8)</sup> и др., на которых имеются следы отдельных частиц с большой энергией и даже ливней, направленных снизу вверх.

Уже после сдачи этой статьи в печать появилась статья Шмейзера [ZS. f. Phys., 110, 443 (1938)], в которой указывается, что ливни, образованные проникающей компонентой и состоящие по всей вероятности из тяжелых электронов, могут давать третичное мягкое и сравнительно диффузное излучение. Возможно, что обратные ливни и обусловлены этим излучением.

Физический институт им. П. Н. Лебедева.  
Академия Наук СССР.

Поступило  
27 X 1938.

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> E. Fünfer, ZS. f. Phys., 83, 92 (1933). <sup>2</sup> E. Heidel, Dissertation (1935); см. также H. Geiger, Ergebn. d. exakten Naturwiss., 14, 61 (1935). <sup>3</sup> C. W. Gilbert, Proc. Roy. Soc. A, 144, 559 (1934). <sup>4</sup> R. Hosemann, ZS. f. Phys., 100, 212 (1936). <sup>5</sup> Bhabha a. Heitler, Proc. Roy. Soc. A., 159, 432 (1937). <sup>6</sup> В. Векслер и Н. Добротин, ДАН, XIX, 469 (1938). <sup>7</sup> D. Skobelzyn, C. R., 195, 315 (1932). <sup>8</sup> P. M. S. Blackett a. P. S. Occhialini, Proc. Roy. Soc. A., 139, 702 (1933).