

Н. С. ИВАНОВА

**О ЖЕСТКОЙ КОМПОНЕНТЕ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ
И КРИВОЙ РОССИ**

(Представлено академиком С. И. Вавиловым 1 VIII 1938)

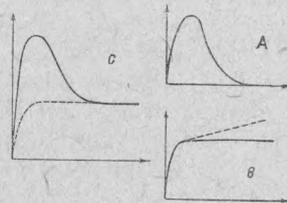
Изучение «жесткой» компоненты, состоящей из «полутяжелых» частиц, или так называемых «тяжелых электронов», имеет сейчас особый актуальный интерес. В частности существенное значение имеет вопрос о механизме возникновения ливней, вызываемых проникающим излучением. Несомненно, что в значительной части эти ливни третичного происхождения и представляют собой результат лавинного процесса, вызванного вторичными электронами, создаваемыми проникающими частицами при взаимодействии их с поглощающей средой. В настоящее время нельзя считать выясненным, какие процессы ответственны за образование таких вторичных «ливнепроизводящих» электронов. Несомненно, что существенную роль может играть образование обычных δ -лучей.

Наряду с этим можно ожидать и различные другие процессы ядерного характера (1). По данным Ожэ и др. ливни, связанные с жесткой компонентой, наблюдаемые на значительной глубине ниже уровня моря, характеризуются «кривой Росси», схематически изображенной на фиг. 1, B, отличной от кривой (фиг. 1, C), наблюдаемой в обычных условиях.

Что же касается этой последней кривой, то сейчас принято рассматривать ее как сумму двух (фиг. 1, A и B), из которых первая приписывается «мягкой» компоненте, генетически не связанной с жесткой и вызванной «легкими» электронами и фотонами, проникающими в атмосферу земли из космического пространства. Предполагается, что на некоторой глубине (большей 5—10 м воды ниже уровня моря) эта компонента полностью поглощается и остается только 2-я составляющая—кривая B (фиг. 1).

Следует напомнить, что намеченное толкование и разложение кривой Росси предложено в настоящее время. Раньше было принято предположение, что «мягкая» компонента, обуславливающая «горб» кривой Росси C, также вторичного происхождения; в отношении вида кривой Росси оба толкования приводят к одному и тому же результату, если только, принимая второй вариант, допустить, что равновесная интенсивность мягкой группы в легких средах значительно больше, чем в тяжелых. Если в свинце она практически равна нулю, то в отношении перехода «воздух—свинец» очевидно совершенно безразлично, является ли компонента A первичной или вторичной.

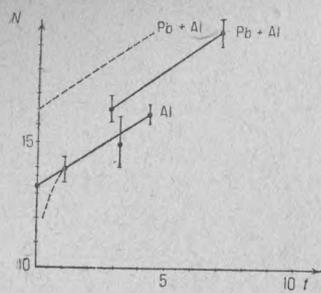
Надо отметить (до сих пор на это не было обращено внимания), что последовательное применение «лавинной» теории заставляет ожидать, что кривая Росси, характерная для проникающей части излучения, имеет вид кривой C (а не B), т. е. что налицо условия только что рас-



Фиг. 1.

смстренного второго варианта*. Вопрос может быть решен непосредственно экспериментальным путем.

Мягкую компоненту, имеющуюся в воздухе, можно отфильтровать

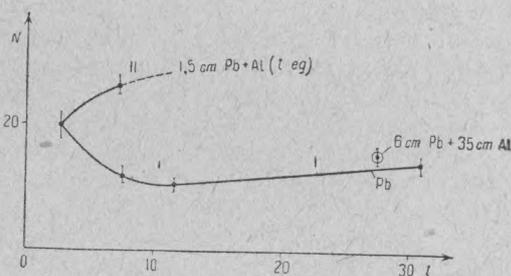


Фиг. 2.

Мы располагали достаточным количеством свинца (1.5 т) и алюминия (около 600 кг) для того, чтобы осуществить подобные наблюдения. Кривая 2 (Pb+Al) фиг. 2 показывает результат эксперимента.

По оси абсциссе отложена толщина алюминия в t единицах; непосредственно над счетчиками находился экран в 1.5 см свинца, на расстоянии 60 см — фильтр толщиной в 9.2 см (стр. 534, фиг. 1). Как видно, введение слоя алюминия (до 40 см) между фильтром и свинцовым экраном

дает отчетливое увеличение числа наблюдаемых совпадений***. Прямая количественная оценка затруднительна, так как, во-первых, фильтр поглощает лишь часть всего мягкого излучения, закрывая лишь определенный ограниченный телесный угол, и так как кроме того остается неизвестным «фон» совпадений, происходящий от ливней, возникших в самом фильтре. Однако достаточно определенные заключения могут быть сделаны из рассмотрения результатов наблюдений (фиг. 3).



Фиг. 3.

* Действительно, если в воздухе образуются вторичные электроны весьма высокой энергии (такие электроны несомненно возникают в результате образования δ -лучей) то равновесное электронное излучение, которое возникнет в результате каскадных лавинных процессов, будет иметь среднюю энергию порядка «критической», т. е. порядка $\epsilon_{\text{возд.}} = 100 \text{ mV}$. При переходе в свинец это излучение будет создавать новые ливни, так как $\epsilon_{\text{свин.}} = 10 \text{ mV}$, и следовательно явится «ливнепроизводящим» вторичным излучением. Излучение же, имеющееся в равновесном состоянии в свинце при действии на свинцовый же экран, не будет ливнепроизводящим, так как средняя энергия его порядка 10 mV.

Вопрос о том, имеем ли мы в обычной кривой Росси наложение двух кривых, соответствующих двум независимым компонентам A и B (фиг. 1), — (1-е предположение) или же налицо «переходная» кривая и компонента A (фиг. 1) вторичного происхождения (2-е предположение), имеет большое принципиальное значение. В случае, если мягкая компонента на уровне моря представляет собой вторичное излучение, находящееся в равновесии с проникающими, отпадает целый ряд трудностей, связанных с проведением гипотезы о лавинном механизме ливней.

** Согласно нашим наблюдениям при увеличении толщины фильтра от 6 до 9.2 см свинца число совпадений не изменяется.

*** Кроме описанных здесь наблюдений такое же увеличение констатировано в двух сериях с большой статистикой (при наличии 1.5 см свинца над счетчиками и без него) и с теми же счетчиками, но расположенными треугольником, вершина которого обращена вверх.

Кривая I фиг. 3 показывает ход числа совпадений, который наблюдался при увеличении толщины свинцового экрана, находившегося и в этом случае под тем же свинцовым фильтром (9.2 см). Чувствительность счетчиков в этой серии наблюдений была иная. Кривая II фиг. 3 представляет собой прежнюю кривую (1.5 см Pb+Al), приведенную к новой чувствительности. Как видно, в случае фильтрованного излучения введение слоев алюминия поверх свинцового экрана (1.5 см Pb) увеличивает число совпадений, а введение слоев свинца в тех же условиях это число сначала уменьшает.

Можно утверждать, что как проникающие частицы непосредственно, так и вторичное излучение, находящееся в равновесии с ними в свинце, при действии на свинцовый же экран могут создавать ливни, число которых или увеличивается с увеличением толщины экрана или, если и уменьшается, то лишь совершенно незначительно — пропорционально интенсивности первичного излучения. Поэтому падение в области 1.5—6 см свинца (фиг. 3), характерное для обычной кривой Росси, несомненно вызвано поглощением в экране незафильтрованного мягкого излучения, падающего вне угла ($35-45^\circ$ около вертикали), закрытого фильтром.

В условиях получения кривой II (фиг. 3) это последнее излучение, действующее на имеющийся и в этом случае свинцовый экран (1.5 см Pb), также поглощается в алюминии, причем при одинаковом t в той же степени, как и в свинце. Поскольку в этом случае однако минимум не наблюдается, а кривая идет вверх, приходится заключить, что жесткая компонента создает в алюминии вторичные электроны, которые, действуя на свинцовый экран (под алюминием), вызывают ливни и компенсируют поглощение мягкого излучения, падающего на экран вне пределов угла, закрытого фильтром. Минимум кривой I наблюдается при $t=10-12$, т. е. при той именно толщине поглотителя, которая достаточна для поглощения мягкой компоненты. Как показывает фиг. 3, при такой же толщине Al (в t единицах), т. е. также при полном поглощении мягких лучей, наблюдается около 8 совп/час сверх тех, которые наблюдаются под свинцовым экраном (без алюминия). Эти 8 совп/час вызываются вторичными электронами, созданными жесткой группой в алюминии.

По данным нашей первой заметки [стр. 534, фиг. 2] число совпадений, вызываемых в том же свинцовом экране (1.5 см) при действии мягкой компоненты из воздуха, в том же телесном угле, не больше 24 в час (при пересчете на новую чувствительность). Следовательно интенсивность вторичного ливнепроизводящего излучения, возникшего в алюминии, во всяком случае сравнима с интенсивностью мягкого излучения из воздуха.

Вторичное ливнепроизводящее излучение, возникающее в воздухе, должно быть значительно эффективнее, чем то, которое образуется в алюминии, так как «критическая энергия» для первой среды в два раза больше, чем для второй. Кроме того вторичные электроны, образовавшиеся одновременно в алюминии (в составе ливня), учитываются в значительном числе случаев как один, тогда как, если эти электроны образуются в воздухе (вообще говоря, на большом расстоянии от экрана), они, вызывая ливни в свинцовом экране, могут регистрироваться каждый в отдельности.

4. Из всего сказанного следует, что вопреки общепринятому представлению кривая Росси (фиг. 1, C) во всяком случае в значительной части должна быть приписана переходному эффекту проникающей компоненты, т. е. что по крайней мере значительная часть компоненты A (фиг. 1) в т о р и ч н о г о п р о и с х о ж д е н и я*.

* Кроме различных косвенных данных сейчас имеются повидимому и непосредственные доказательства вторичного происхождения мягкой компоненты (5).

Вполне отчетливо заметный подъем кривой I фиг. 3 при $t > 11$ отвечает второму максимуму кривой Росси. Точка, соответствующая отсчету при 6 см Pb + 35 см Al, показана при $t = 24.3$. (Вычислена толщина свинца, эквивалентная по величине массы 35 см алюминия, и уже эта толщина отложена в t единицах свинца.)

Необходимо отметить еще кривую Al фиг. 2. Эта кривая показывает, что число ливней, возбуждаемых жесткой компонентой в алюминии, возрастает вплоть до очень значительных толщин экрана (40 см Al). Ход в начале кривой (пунктир) не может быть прослежен, так как «фон», определяющий начальную ординату, остается неопределенным. Полученная кривая приводит к следующему утверждению.

2. При возбуждении ливней жесткой компонентой в легких средах насыщение достигается лишь при очень большой толщине экрана (> 100 г/см²)*, и кривая Росси имеет вид кривой, схематически показанной пунктиром на фиг. 1, B. Такой ход кривой не противоречит лавинной теории, но показывает, что жесткая компонента создает вторичные электроны вплоть до очень высоких энергий (во всяком случае больших 300 mV).

Что подъем указанной кривой должен быть приписан вторичным электронам (или фотонам), а не полутяжелым частицам, следует из того, что введение 1.5 см свинца под алюминием дает увеличение числа совпадений (кривая смещается кверху, как показано пунктиром на фиг. 2)**.

Сопоставление кривых фиг. 2 и 3 делает вероятным, что число ливней, возбуждаемых жесткой компонентой, существенно больше в легких средах, чем в тяжелых***.

Не имея возможности за недостатком места остановиться на этом вопросе, отметим, что, исходя из лавинной теории, можно показать, что число ливней, вызываемых δ -лучами (в случае очень высокого значения предельной энергии этих последних) от Z не зависит (или скорее даже увеличивается несколько с Z). Отмеченная же нами особенность заставляет предположить, что вторичные электроны весьма высокой энергии (которая велика в сравнении с критической энергией для легких сред) образуются за счет каких-то неизвестных процессов, для которых характерно, что эффективное сечение растет не быстрее, чем пропорционально первой степени атомного номера или атомного числа.

Полученные нами результаты, формулированные в пп. 1-м и 2-м, противоречат данным наблюдений в подземных туннелях. Однако изучение кривых Росси в этих условиях очень затруднительно в виду весьма большой величины фона, что может привести к существенным ошибкам: два наблюдателя—Ожэ и Пиккеринг⁽⁴⁾, основываясь на этих наблюдениях, вначале ошибочно отрицали существование ливней, производимых жесткой компонентой.

Эта работа выполнена в лаборатории Д. В. Скобельцына, которому автор выражает свою благодарность за советы при ее выполнении.

Ленинградский физико-технический институт.

Поступило
5 VIII 1938.

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ W. Heitler, Proc. Roy. Soc., **166**, 529 (1938); И. Е. Тамм, ДАН, XIX, № 6—8 (1938). ² Bothet u. Schmeiser, Ann. d. Phys., **32**, 161 (1938). ³ Morgan a. Nielsen, Phys. Rev., **52**, 564 (1937). ⁴ Pickering, ibid., **52**, 1131 (1937). ⁵ Morgan a. Nielsen, ibid., **53**, 915 (1938).

* Аналогичный результат (с несколько отличным расположением счетчиков) получен недавно Ботэ и Шмейзером⁽²⁾. Наши данные говорят однако против толкования, предлагаемого указанными авторами, приписывающими этот эффект вторичным проникающим частицам. Сопоставление кривых I и II фиг. 3 говорит определенно за то, что налицо мягкое вторичное излучение.

** Прямая, показанная пунктиром, есть прямая «1.5 см Pb + Al», смещенная влево по оси абсцисс на 2.9 единицы (толщина свинца).

*** Этот результат находится в согласии с наблюдениями Морган и Нильсен⁽³⁾.