

Н. С. ИВАНОВА

**О МЯГКОЙ «ЛИВНЕПРОИЗВОДЯЩЕЙ» КОМПОНЕНТЕ
КОСМИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ**

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

Работами последних лет (Росси, Ожэ) установлено существование в составе космического излучения двух компонент—мягкой (M) и жесткой (D) с резко различными свойствами. Можно считать несомненным, что первая из них—сильно поглощаемая, состоит из обычных «легких» электронов (того и другого знака) и фотонов.

Принятая в настоящее время схема явлений космической радиации основана на предположении, что свойства мягкой компоненты количественно описываются так называемой «лавиной теорией» ливней⁽¹⁾. Проверка этого предположения представляет большой актуальный интерес и существенное значение также и для выяснения природы и свойств так называемых «полутяжелых» частиц, составляющих жесткую группу.

Выводы лавинной теории могут быть проверены путем изучения так называемой кривой Росси. Интерпретация этой кривой осложняется однако в связи с тем, что ливни возбуждаются не только частицами, составляющими мягкую группу, но также, косвенно или непосредственно, и «тяжелыми электронами», образующими жесткую компоненту. Наблюдения, которые описываются в этой заметке, имели целью выделить и изучить отдельно эффект мягкой составляющей.

Вопросу о взаимной зависимости мягкой и жесткой компонент будет посвящена следующая заметка. Здесь же условимся под мягкой компонентой понимать ту часть «ливнепроизводящего» космического излучения, имеющегося на уровне моря, которая отфильтровывается 6 см свинца.

Для изучения мягкой компоненты (определяемой так, как только что было указано) кроме обычной кривой, дающей зависимость числа тройных совпадений от толщины экрана, помещаемого непосредственно над счетчиками, были получены такие же кривые при наличии на достаточном удалении от счетчиков свинцового фильтра (от 6 до 9.2 см)*, закрывавшего некоторый телесный угол ($45 \times 35^\circ$ относительно центра расположения счетчиков) (фиг. 1).

Обозначая A число совпадений, наблюдаемых без фильтра, и B с фильтром, имеем, пользуясь некоторыми символическими обозначениями, не требующими пояснений:

$$A = M(< 40^\circ) + D(< 40^\circ) + (M + D>(> 40^\circ);$$

$$B = D(< 40^\circ) + (M + D>(> 40^\circ).$$

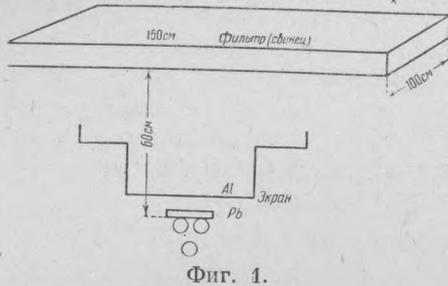
Вычитая для каждой толщины экрана второй отсчет из первого, получаем число совпадений отдельно для мягкого излучения внутри некоторого угла ($\sim 40^\circ$), выделяемого фильтром: $A - B = M(< 40^\circ)$.

* $1\frac{1}{2}$ т свинца.

Фиг. 2 показывает полученные таким путем кривые. В случае кривой I «экран» состоял из слоев свинца (1.5 см непосредственно над счетчиками), алюминия (до 40 см)* и затем снова свинца. В случае кривой II: алюминий (непосредственно над счетчиками) + свинец; заштрихованные участки соответствуют свинцу, незаштрихованные — алюминию.

Кроме ливней, вызываемых в экране, имеется также некоторое число паразитарных совпадений — «фон» (не учитываемый выражениями A и B), происходящий от ливней, возникающих в потолке комнаты**, или в свинцовом фильтре, а также в непосредственном окружении счетчиков (штатив и т. п.).

Начальная ордината кривых фиг. 2 представляет собой разность между величиной «фона», наблюдаемого в отсутствие фильтра и при наличии фильтра (9.2 см свинца). Полученные кривые дают возможность про-



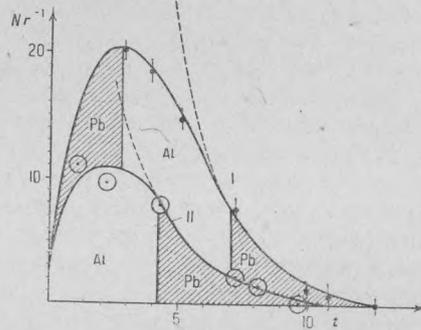
Фиг. 1.

верить ряд следствий лавинной теории.

I. Согласно данным этой теории надо ожидать, что точки на различных участках оси абсцисс, соответствующих различным средам (Pb, Al), укладываются на одной плавной кривой, если толщину экрана выразить в некоторых специальных «t» единицах***. Положение максимума кривых I и II, построенных в таком масштабе, должно быть одинаково.

На фиг. 2 длина отложена в t единицах. В каждом случае по точкам, полученным из наблюдений, оказалось возможным провести плавную кривую****. Эти кривые не находятся в противоречии с предположением, что положение максимума в случае алюминия и свинца (непосредственно над счетчиками) одно и то же.

II. Согласно данным теории поглощаемость «ливнепроизводящего» излучения очень велика. Поскольку влияние переходного эффекта исключено, это излучение поглощается по экспоненциальному закону с коэффициентом поглощения, одинаковым для различных сред (при расчете на t единицу) и равным около 1.5 см⁻¹ свинца. Указанное условие — исключение влияния «переходного» эффекта — должно



Фиг. 2.

* 600 кг алюминия.

** Наблюдения производились во 2-м (верхнем) этаже здания Ленинградского физико-технического института.

*** Эта единица длины равна $[t] = \left[\frac{4}{137} \left(\frac{e^2}{mc^2} \right)^2 N \bar{Z} \lg 183 Z^{-1/3} \right]^{-1}$, где N — число атомов на единицу объема. В случае свинца $[t] = 0.52$ см, в случае алюминия $[t] = 9.2$ см.

**** Граница проникновения «мягкого» излучения, как показывают кривые фиг. 2, соответствует слою толщиной около 12 t единиц. Этот результат находится в превосходном согласии с кривыми Росси, полученными Ожэ⁽²⁾ и Морганом и Нильсен⁽³⁾, проведенными наблюдения с экранами из свинца очень большой толщины. Это показывает, что 40 см Al = 4.35 t единиц (составлявшие часть нашего экрана) действительно эквивалентны 2.25 см Pb = 4.35 t единиц. Тот же результат получается и согласно нашим наблюдениям со свинцовым экраном, которые будут опубликованы в более подробном сообщении.

быть в значительной мере выполнено для конечных участков («хвостов» кривых (фиг. 2).

Как показывает фиг. 2, точки, соответствующие граничным участкам ($t > 4$ в одном, $t > 6$ в другом случае), хорошо укладываются на экспоненциальные кривые (с одним и тем же коэффициентом поглощения), которые и показаны на фиг. 2 (продолжения их в области значений t , меньших указанных пределов, проведены пунктиром). Налицо две одинаковые экспоненциальные кривые, сдвинутые на определенное число t единиц одна относительно другой. Последнее совершенно естественно, так как введение свинца непосредственно над счетчиками в случае кривой I (фиг. 2) приводит как бы к увеличению «чувствительности» группы счетчиков, регистрирующей ливни. Из сопоставления двух кривых видно, что в конце кривых отношение $\frac{I_{Pb}}{I_{Al}} = 3.6$,

где I_{Pb} —число зарегистрированных ливней, возбуждаемых при определенном t в свинце, и I_{Al} —та же величина (при том же t) в случае алюминия. Экспоненциальному характеру кривых поглощения соответствует также то, что практические границы проникновения мягкой компоненты в двух случаях различны: $t = 11$ и 13 единицам соответственно.

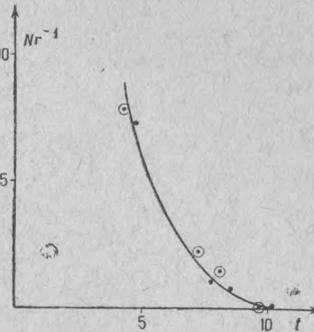
Сместив кривую I на 2.5 единицы влево, конечный участок ее можно в точности совместить с кривой II. Фиг. 3 в обычном масштабе и фиг. 4 в логарифмическом показывают результат такого совмещения. На фиг. 3 и 4 проведены экспоненциальные кривые с коэффициентом, равным $\mu = 0.52 t^{-1}$.

Таким образом в соответствии с выводами лавинной теории коэффициент поглощения «ливнепроизводящих» частиц действительно очень велик: $\mu = 1 \pm 0.15 \text{ см}^{-1}$ свинца. Он существенно превышает величину коэффициента поглощения, приписываемого «мягкой» компоненте по данным анализа кривой поглощения в атмосфере, и приближается к предельному значению $\mu = 1.5 \text{ см}^{-1} \text{ Pb}$, вытекающему из теории Бэте-Гейтлера и лавинной теории ливней (для легких электронов и фотонов высокой энергии).

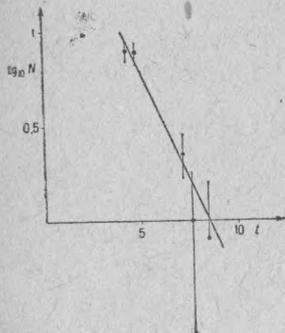
Если предположить, что ливнепроизводящее излучение, наблюдаемое на уровне моря, есть продукт лавинного процесса, вызванного в атмосфере первичными легкими частицами, то, пользуясь данными лавинной теории, можно найденным значением коэффициента поглощения определить среднюю энергию этих первичных частиц. Опуская за недостатком места подробности расчета, приведем лишь его результат.

Энергия первичных частиц, которые могли бы быть ответственны за наблюдаемое на уровне моря мягкое излучение, оказывается порядка $10^{11}—10^{12} \text{ V}$.

Однако согласно Гейтлеру⁽⁴⁾, основываясь на анализе кривой поглощения в атмосфере, приходится сделать заключение, что эта энергия порядка $10^{13}—10^{14} \text{ V}$. Расхождение полученных оценок следует рассматривать как противоречие, говорящее за то, что «мягкая» компонента не является остатком лавины, вызываемой в атмосфере первичными



Фиг. 3.



Фиг. 4.

легкими частицами, а что в действительности происхождение ее иное.

Предположение, что ливнепроизводящее излучение представляет собой компоненту, не связанную генетически с жесткой группой, приводит к еще более серьезному противоречию с лавинной теорией при сравнении кривых I и II фиг. 2, т. е. при сопоставлении числа ливней, возникающих в свинце и в алюминии.

Отношение $\frac{I_{Pb}}{I_{Al}}$ в максимуме кривых равно: $\frac{I_{Pb}}{I_{Al}} = 2-3$ (тот или другой из указанных пределов получается в зависимости от оценки величины «фона»). В конце кривых то же отношение, как указано выше, близко к 3.6. Аналогичные результаты получали также и другие наблюдатели.

III. Однако по данным лавинной теории отношение $\frac{I_{Pb}}{I_{Al}}$ должно быть порядка 15 или больше.

Это следует из закона распределения частиц, образующих лавину, по энергиям: функция распределения $N(E)$ имеет следующий вид:

$N(E) = \text{const}$ при $E < \varepsilon$, где ε — «критическая» энергия, и $N(E) = N(\varepsilon) \left(\frac{\varepsilon}{E}\right)^{s+1}$ при $E > \varepsilon$. Для воздуха $\varepsilon \approx 100$ mV; s есть некоторый параметр, значение которого определяется величиной коэффициента поглощения $\mu = \lambda(s)$ частиц, составляющих лавину (1).

В частности величине $\mu = 0.5 t^{-1}$, найденной выше, соответствует $s = 1.9$.

Если предположить, что регистрируются все ливни, состоящие из трех (или большего числа) ионизирующих частиц, т. е. всего из шести частиц*, то эффективными «ливнепроизводящими» частицами оказываются: в случае свинцового экрана — все электроны или фотоны с энергией $E > E_{\min} = 6\varepsilon_{Pb} = 60$ mV, в случае же алюминия $E > E_{\min} = 6\varepsilon_{Al} = 360$ mV. Число таких частиц в каждом случае определяется площадью, ограниченной кривой $N(E)$ (определяющей распределение лавинных частиц в воздухе) при $E > E_{\min}$. Как легко видеть, отношение этих площадей $\frac{S_{E>360}}{S_{E>60}} \approx 15$ при $s = 1.9$. Отсюда и для отношения $\frac{I_{Pb}}{I_{Al}}$ следовало бы ожидать значение порядка 15 или больше.

Указанное в п. III резкое противоречие может быть устранено, если предположить, что в действительности мягкая компонента, наблюдаемая на уровне моря, не является остатком лавины, прошедшей через атмосферу, а создается проникающей компонентой и находится с ней в равновесии. В следующей заметке будут приведены и другие факты, говорящие за это предположение.

Ленинградский физико-технический институт.

Поступило
5 VIII 1938.

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Proc. Roy. Soc., **166**, 213 (1938). ² Auger, Journ. d. Phys., VII, 58 (1936).
³ Morgan a. Nielsen, Phys. Rev., **52**, 564 (1937). ⁴ Heitler, Proc. Roy. Soc., **161**, 261 (1937).

* В действительности вероятность регистрации ливня близка к единице лишь в том случае, если число ионизирующих частиц в ливне значительно больше 3, откуда и отношение $\frac{I_{Pb}}{I_{Al}}$, полученное из рассмотренного расчета, должно было бы быть еще больше.