Доклады Академии Наук СССР
1939. Том XXIV, № 9

ФИЗИКА

С. И. ВЕРНОВ

О ПЕРЕХОДНОМ МАКСИМУМЕ ПО ДАННЫМ НАБЛЮДЕНИЙ НА СУБСТРАТОСТАТАХ

(Представлено академиком С. И. Вавиловым 25 VII 1939)

Исследования широтного эффекта космических лучей в стратосфере показывают ([1]), что электроны, обладающие энергией в несколько млрд. вольт, испытывают при прохождении через вещество малого атомного номера потери энергии, значительно превосходящие потери энергии на ионизацию. Сравнение экспериментальных данных по широтному эффекту в стратосфере с выводами каскадной теории показывает удовлетворительное согласие.

Однако, как это было указано Д. В. Скобельцыным ([2]) сразу же после опубликования работ по каскадной теории, ряд экспериментальных фактов, относящихся к переходному эффекту (из воздуха в свинец), находится в резком противоречии с выводами каскадной теории в той форме, в которой она применяется в литературе для объяснения явлений, вызываемых космическими лучами [см., например, Эйлер и Гайзенберг([3])].

Согласно каскадной теории при вхождении в свинец электронов и фотонов из воздуха должно наблюдаться значительное увеличение числа частиц за счет каскадных процессов в свинце. Однако опыты Г. Х. Франк-Каменецкого (дипломная работа), а также Шиндлера ([4]) и Стрита и Юнга ([5]) показывают, что число ионизующих частиц почти не увеличивается. Рассмотрение кривых переходного эффекта позволяет установить следующие расхождения между каскадной теорией (не учитывающей рассеяния) и опытными данными:

1) на опыте не наблюдается требуемое указанной теорией увеличение числа частиц (в 3 раза) после прохождения космических лучей через 1.5 см Pb;

2) значительная доля частиц мягкой компоненты обладает слишком большой проникающей способностью (в кривой поглощения мягкой компоненты имеется «хвост» при больших толщинах свинца);

3) если не учитывать рассеяния, то общая энергия, выделившаяся в свинце, в 3 раза больше, чем это требуется на ионизацию.

Действительно, сравнение кривых поглощения в различных материалах([4]) показывает, что площадь под кривой поглощения (в Al) мягкой компоненты примерно в 3 раза больше, чем площадь под соответствующей кривой (для Pb), если масштаб по оси абсцисс выбран так, чтобы потери энергии на ионизацию были одинаковы([6]). Так как площадь под кривой дает общее количество выделившейся энергии, то уменьшение площади

под кривой (для Pb) показывает, что эффективные потери энергии в свинце значительно больше ионизационных (без учета рассеяния).

Однако следует отметить, что указанные выше ([8]) противоречия с каскадной теорией Баба-Хайтлера ([7])—Эрле([8]) будут иметь место лишь в том случае, если мягкая компонента на уровне моря и на небольших высотах целиком состоит из электронов и фотонов. Между тем не представлялось исключенным, что помимо мезотронов большой энергии, и следовательно большой проникающей способности, имеются также вторичные мезотроны малой энергии. Если исходить из предположения о наличии мезотронов малой энергии, то можно устранить противоречия в величине максимума и «хвоста» в кривой поглощения мягкой компоненты. Действительно, если электроны составляют лишь небольшую долю мягкой компоненты, то «хвост» в кривой поглощения может быть целиком отнесен за счет вторичных мезотронов. Кривая для электронов могла бы иметь тогда заметный максимум. Следует отметить, что объяснение третьего противоречия вызывает известные затруднения, связанные с тем, что медленным мезотронам пришлось бы приписать разное поглощение в различных материалах.

На высоте 8—10 км интенсивность проникающей компоненты составляет менее $^1/_5$ от общей интенсивности космических лучей. В то же время на этой высоте должны присутствовать также электроны, образованные в результате каскадных процессов в атмосфере за счет первичных электронов с энергией 10^9—10^{10}V, наличие которых устанавливается широтными опытами в стратосфере. Поэтому по крайней мере 80% всех частиц на высоте 8—10 км должны быть электронами.

Таким образом, измерение увеличения числа частиц при помещении свинцовой пластинки над прибором на высоте 8—10 км дает возможность определить, какой вид имеет кривая поглощения для электронов. В связи с этим нами были произведены такого рода опыты во время двух полетов субстратостатов.

Для измерения интенсивности космической радиации мы воспользовались нашим прибором с одним счетчиком Гейгера—Мюллера. Ввиду малого размера счетчика (диаметр 7 мм, длина 12 мм) было возможно при расположении свинцовой пластинки не на очень большом расстоянии от счетчика создать такие условия, при которых вхождение в счетчик двух частиц одновременно было бы крайне маловероятным. В наших опытах свинцовая пластинка располагалась над прибором на таком расстоянии, что при расхождении частиц, выходящих из свинца, на угол более 4—5° эти частицы не могли бы вместе попадать в счетчик. В счетчик могли попадать даже частицы малого пробега. На пути от свинца до внутреннего объема счетчика частицы должны были проходить следующие толщины: в первом полете 1.2 г/см^2 и во втором 0.6 г/см^2.

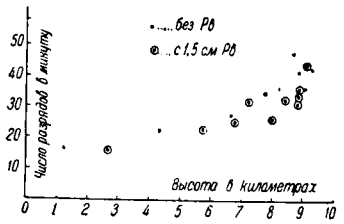
Во время полетов свинцовая пластинка передвигалась на 36 см каждые 5 мин. При одном положении она находилась над счетчиком. В первом полете свинцовая пластинка имела толщину 1.5 см и размер 30·30 см^2. Во втором полете толщина была 0.6 см. Регистрация числа разрядов в счетчике во время полетов производилась при помощи механического счетчика, показания которого записывались пилотом П. П. Полосухиным каждые 5 мин. в момент передвижения свинцовой пластинки. Одновременно велась запись на сконструированном нами самописце. Помимо этого производилась передача сигналов по радио таким же образом, как при полетах на шарах-зондах. Хотя передача и прием сигналов по радио во время полетов субстратостатов были крайне затруднительны вследствие параллельной работы радиостанций на субстратостате и на земле, а также из-за больших радиопомех, все же проведение (хотя бы и с перерывами) приема радиосигналов было желательным для контроля правильности работы счет-

чика. Прием радиосигналов показал, что в обоих полетах счетчики работали нормально.

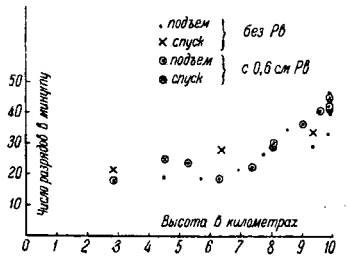
Данные, полученные при обработке записей самописца, хорошо совпадают с показаниями механического счетчика.

Правильность работы счетчиков во время полетов может быть также установлена, исходя из данных о зависимости числа разрядов от высоты. Возрастание числа разрядов с высотой в обоих полетах примерно одинаково и совпадает с данными, полученными во время полетов шаров-зондов на близких широтах.

Данные, полученные во время обоих полетов, представлены на фиг. 1 и 2. Для обеспечения радиоприема поблизости с прибором, как и во время полетов на шарах-зондах, помещалась радиоактивная руда, вследствие чего число разрядов на малых высотах было значительно увеличено.



Фиг. 1. Первый полет субстратостата 4 XII 1938 г. (показания механического счетчика)



Фиг. 2. Второй полет субстратостата 26 II 1939 г. (показания механического счетчика)

Из фиг. 1 и 2 видно, что ожидаемого теорией увеличения числа частиц в несколько раз на опыте не наблюдается. Поэтому отмеченные выше противоречия подтверждаются в тех условиях, когда можно быть уверенным, что падающее на свинец излучение в основном состоит из электронов и фотонов.

На основании данных, полученных на высотах выше 8 км, можно установить, что при помещении свинцовой пластинки в 1.5 см над счетчиком наблюдается уменьшение числа космических частиц на 20%, а при помещении пластинки в 0.6 см увеличение на 18%.

Эти значения находятся в резком противоречии с результатами вычислений по теории Баба-Хайтлера—Эрле. Зная спектр первичных частиц, падающих на границу атмосферы, можно определить каскадную кривую в атмосфере. На основании этой кривой мы нашли, что на высотах 8—10 км в среднем на один электрон в лавине приходится энергия, равная $2—10^8$V. Если учесть геометрические условия нашей установки и угловое распределение космических лучей на этой высоте, то можно определить по каскадной теории, что при падении на свинцовую пластинку толщиной 0.6 см электронов с энергией 2.10^8 V должно наблюдаться увеличение числа частиц в 3.5 раза. При 1.5 см Pb число частиц должно быть в 3 раза больше начального числа частиц. Специальные расчеты показали, что значения для возрастания числа частиц мало изменяются, если учесть, что в падающем на свинец излучении имеется значительное количество фотонов. В связи с тем, что высота максимума в каскадных кривых примерно пропорциональна энергии первичного электрона, для расчетов не существенно распределение падающих на пластинку частиц по энергии, так как искомое значение определяется лишь средней энергией электронов.

Таким образом, имеется резкое расхождение между экспериментальными данными, полученными при прохождении электронов через вещества

большого атомного номера и результатами вычислений по теории Баба-Хайтлера—Эрле и Сербера([9]) (без учета рассеяния). Следует отметить, что если исходить из спектра частиц в лавине, даваемого Эрле, то влияние рассеяния не может быть велико, так как всего 15% частиц в лавине в свинце (по Эрле) обладают энергией ниже 3.10^6V. Вопрос о причинах, отмеченных выше расхождений между теорией и опытом, будет рассматриваться в следующей статье.

В заключение я считаю своим долгом выразить глубокую благодарность акад. С. И. Вавилову и проф. Д. В. Скобельцину за ценные советы и помощь при проведении исследований. За участие в работе приношу благодарность А. В. Миронову и С. Э. Левиту. Автор признателен пилотам А. А. Фомину и П. П. Полосухину за проведение измерений во время полетов субстратостатов.

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

Поступило
15 VII 1939

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

[1] С. Н. Вернов, ДАН, XIV, № 3, 263 (1938); ДАН, XXIII, № 2, 141 (1939); I. S. Bowen, R. A. Millikan a. H. V. Neher, Phys. Rev., 52, 80 (1937); **53**, 217 (1938); С. Н. Вернов и А. В. Миронов, ДАН, XXIII, № 2, 138 (1939). [2] Д. В. Скобельцин, Изв. Акад. Наук, сер. физ., № 1—2, 130 (1938). [3] H. Euler u. W. Heisenberg, Ergeb. exakt. Naturwiss., **17**, 1 (1938). [4] H. Schindler, ZS. f. Phys., **72**, 625 (1931). [5] I. Street a. R. Joung, Phys. Rev., **46**, 823 (1934). [6] Bloch, ZS. f. Phys., **81**, 363 (1933). [7] H. I. Bhabha a. W. Heitler, Proc. Roy. Soc., **159**, 432 (1937). [8] Arley, Proc. Roy. Soc., **168**, 519 (1938). [9] R. Serber, Phys. Rev., **54**, 317 (1938); H. Snyder, Phys. Rev., **53**, 960 (1938).