

ФИЗИКА

**В. И. ВЕКСЛЕР, Е. И. АЛЕКСЕЕВА и Н. М. РЕЙНОВ**  
**ТЯЖЕЛЫЕ ЭЛЕКТРОНЫ В КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧАХ**

(Представлено академиком С. И. Вавиловым 29 IX 1938)

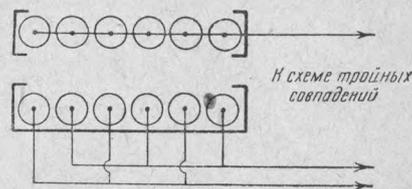
Опыты, проделанные Векслером и Исаевым<sup>(1)</sup>, показали, что в составе космического излучения присутствуют сильно поглощаемые частицы. Векслером и Добротиным<sup>(2)</sup> было установлено, что эти частицы являются тяжелыми электронами. При этом были определены пределы, между которыми заключены значения масс тяжелых электронов, а также зависимость их числа от толщины свинца, помещенного над установкой.

Дальнейшее изучение свойств тяжелых электронов было произведено нами во время Эльбрусской экспедиции 1938 г.

В этой работе мы пользовались описанным уже в предыдущих статьях методом пропорциональных счетчиков. Параметры пропорциональных счетчиков и усилителя также были теми же, что и раньше. Поэтому мы не будем их приводить снова. Изложение результатов этих исследований представляет содержание настоящей заметки.

**Описание опытов.** Результаты предыдущих работ с сильно поглощаемыми частицами можно истолковать не только на основе предположения о тяжелых электронах, но и считая, что установка регистрировала группы из обычных медленных электронов. Но так как при этом пришлось бы допустить, что число таких групп медленных электронов сильно уменьшается при помещении над установкой небольших толщин свинца, то такое предположение является весьма мало вероятным. Тем не менее для окончательного доказательства того, что установка действительно регистрирует отдельные сильно ионизирующие частицы (только в этом случае и справедлива оценка их массы, данная Векслером и Добротиным), нами были поставлены опыты с тройными совпадениями.

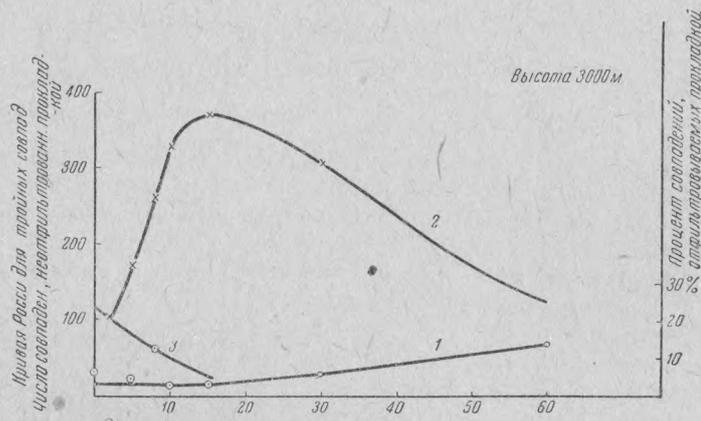
Расположение пропорциональных счетчиков и включение их в схему тройных совпадений показаны на фиг. 1. Над верхней группой счетчиков помещались свинцовые пластины различной толщины. При этом измерялось число тройных совпадений при наличии между верхней группой и обеими нижними группами счетчиков тонкой алюминиевой прокладки ( $0.55 \text{ г/см}^2$ ) и без нее. Результаты этих измерений представлены на фиг. 2. По оси абсцисс здесь отложена толщина свинца, находящегося над счетчиками;



Фиг. 1.

по оси ординат справа—процент совпадений, устраняемых прокладкой, слева—число неустранимых совпадений (ливни обычных электронов).

Кривая 2 представляет собой кривую Росси для ливней на тройных совпадениях (совпадения, не устраняемые прокладкой). Кружками (кривая 1) обозначены значения процента совпадений, устраняемых прокладкой при различных толщинах свинца над счетчиками. Для сравнения на этой же фигуре приведена кривая 3, дающая процент совпадений, устраняемых прокладкой в схеме двойных совпадений\*. Из фигуры видно, что при двойных совпадениях влияние прокладки много больше, чем при тройных. Это показывает, что двойные совпадения, устраняемые прокладкой, не могут быть вызваны группами частиц и действительно должны быть приписаны действию тяжелых электронов. Отсюда вытекает также, что значительная доля двойных совпадений вообще вызывается отдельными



Фиг. 2.

сильно ионизирующими тяжелыми электронами. Исходя из этого, исследование зависимости числа тяжелых электронов от высоты было выполнено нами с помощью схемы двойных совпадений.

**Зависимость от высоты.** Для определения зависимости числа тяжелых электронов от высоты были проделаны измерения в трех точках: на Кругозере (3 000 м над уровнем моря), на Приюте-9 (4 200 м) и Седловине Эльбруса (5 300 м). Полученные результаты представлены на фиг. 3. Кривая 1 дает найденную нами экспериментальную зависимость числа ливней (двойные совпадения, не устраняемые прокладкой) от высоты. Кружками обозначены полученные нами числа тяжелых электронов (совпадения, устраняемые прокладкой) на тех же высотах.

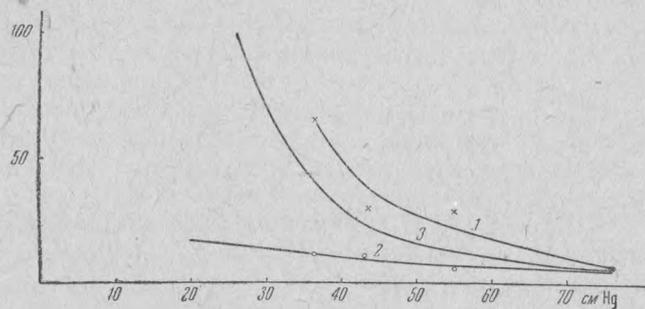
Для сравнения на этой же фигуре приведены [построенные по данным Гейтлера<sup>(3)</sup>] кривые возрастания с высотой мягкой (кривая 2) и жесткой\*\* (кривая 3) компонент космической радиации.

Из фиг. 3 видно, что зависимость числа тяжелых электронов от высоты совпадает с зависимостью от высоты для жесткой компоненты космических лучей.

\* Для того, чтобы при переходе от тройных совпадений к двойным сохранить геометрические условия неизменными, в этих опытах с двойными совпадениями были использованы все счетчики верхней коробки (5 счетчиков) и одна ветвь нижней коробки (3 счетчика) (см. фиг. 1).

\*\* Кривая 3 проведена через точку, соответствующую числу тяжелых электронов на уровне моря.

Обсуждение результатов. Сопоставление кривых 1 и 3 (фиг. 2, а также зависимость числа устраняемых прокладкой двойных совпадений от высоты показывают, что сильно ионизирующие частицы не связаны с ливнями и что по крайней мере 75—80% двойных совпадений, устраняемых прокладкой, вызваны или одиночными тяжелыми электронами или во всяком случае тяжелыми электронами, сопровождающимися очень небольшим числом обычных.



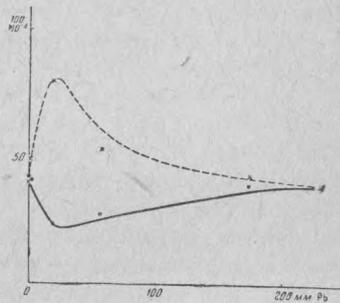
Фиг. 3.

Что касается тройных совпадений, устраняемых прокладкой, то возможно, что они обусловлены группами (ливнями) тяжелых электронов.

Допущение, что за эти совпадения ответственны обычные медленные электроны, хотя и не может быть окончательно отвергнуто, но находится в противоречии с тем фактом, что процент тройных совпадений под свинцом не только не увеличивается (что должно было бы иметь место из-за значительно более низкой критической энергии в свинце, чем в воздухе), но скорее падает.

Сопоставляя полученные нами данные с результатами наших предыдущих опытов, можно высказать некоторые предположения общего характера об образовании тяжелых электронов.

Фиг. 3 показывает, что тяжелые электроны находятся в равновесии с жесткой компонентой космической радиации. Однако ранее (2) уже было показано, что эти тяжелые электроны являются вторичными (или третичными и т. п.) и не могут рассматриваться как «концы» пробегов частиц первичной жесткой компоненты. Из этого следует, что они производятся жесткой компонентой либо непосредственно, либо через какой-то промежуточный механизм. Некоторые сведения в этом направлении могут быть получены из рассмотрения данных о зависимости числа тяжелых электронов от толщины свинца над счетчиками\* (фиг. 4). Сопоставление медленного роста числа тяжелых электронов с высотой (кривая 2, фиг. 3) с резким уменьшением их числа при помещении над счетчиками небольших толщин свинца показывает, что это уменьшение не может обуславливаться видом энергетического спектра частиц, а должно рассматриваться как результат переходного эффекта от воздуха к свинцу.



Фиг. 4.

\* Кривая взята из работы Векслера и Добротина (2).

Можно считать, что при этом мы имеем дело с двумя различными процессами. С одной стороны, вследствие поглощения частиц свинцом должно происходить уменьшение числа частиц, образованных в воздухе, с другой, — в свинце будут образовываться новые тяжелые электроны.

Считая, что в начальной части кривой (фиг. 4) превалирует первый из указанных процессов, можно грубо оценить пробег частиц, образуемых в воздухе, и подсчитать, какое число  $n$  тяжелых электронов должно находиться в равновесии с одной проникающей частицей. Такой подсчет показывает, что  $n$  должно быть близко к 0.2—0.4. Ясно, что столь большое значение  $n$  нельзя согласовать с данными опыта (в частности с наблюдениями камерой Вильсона), если считать, что проникающие частицы сами или через посредство ионизирующих вторичных создают тяжелые электроны.

Противоречие повидимому может быть устранено, если мы допустим, что тяжелые электроны создаются проникающими частицами не непосредственно, а с помощью промежуточной неионизирующей компоненты. Однако это неионизирующее излучение не может состоять из фотонов, так как последние входят в состав мягкой компоненты космического излучения. Тяжелые же электроны, как нами установлено, находятся в равновесии с проникающими частицами.

Таким образом мы приходим к гипотезе, что должны существовать какие-то неионизирующие частицы, создаваемые жесткой компонентой и сами способные образовывать тяжелые электроны. Эта гипотеза не только не противоречит известным нам экспериментальным фактам, но с ее помощью повидимому можно истолковать и некоторые другие наблюдения. Действительно, совокупность данных, касающихся второго максимума кривой Росси (пробег ливневых частиц, положение максимума, зависимость от  $Z$  и ряд других), повидимому не допускает предположения о том, что второй максимум создается непосредственно самими проникающими частицами или фотонами. Наоборот, обнаруженное в работе Векслера и Добротина<sup>(2)</sup> возрастание числа тяжелых электронов при толщинах, соответствующих положению второго максимума кривой Росси, может быть поставлено в прямую связь с этим явлением. С этой же точки зрения можно объяснить также и наблюдения Вильсона<sup>(4)</sup>, которыми установлено, что частицы проникающей компоненты испытывают значительные потери энергии, не сопровождающиеся возникновением фотонов или ионизирующих частиц.

В заключение приносим благодарность проф. Д. В. Скобельцыну за ряд ценных указаний и обсуждение результатов.

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

Поступило  
11 X 1938.

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> В. Векслер и Б. Исаев, ДАН, XVII, № 4 (1937). <sup>2</sup> В. Векслер и Н. Добротин, ДАН, XIX, № 6—7 (1938). <sup>3</sup> W. Heitler, Proc. Roy. Soc. (A), 161, 261 (1937). <sup>4</sup> J. G. Wilson, Proc. Roy. Soc. (A), 166, № 927, 482 (1938).