

ИЗ ТЕКУЩЕЙ ЛИТЕРАТУРЫ

**ФОТОГРАФИЯ РАСПАДА ТЯЖЁЛЫХ МЕЗОТРОНОВ  
В КАМЕРЕ ВИЛЬСОНА**

Исследование состава космического излучения, проводившееся под руководством А. И. Алиханьяна и А. И. Алиханова в течение последних лет, показало, что кроме «обычных» мезотронов с массой  $200 m_e$ , в космическом излучении на высоте 3250 метров имеются частицы с большой массой. Произведённый на горе Алагез в Армении в 1946 г. магнитный анализ

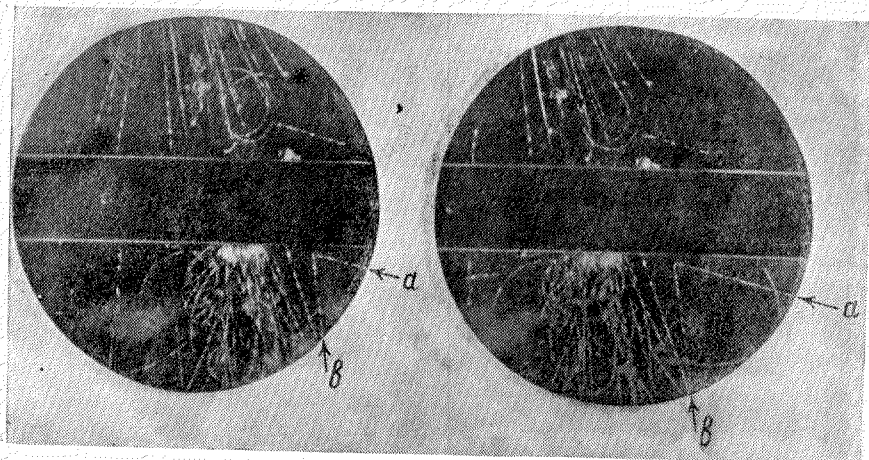


Рис. 1.

заряжённой части космического излучения показал, что для объяснения наблюдающейся совокупности значений импульсов и пробегов необходимо допустить существование по крайней мере трёх частиц с массами около  $500 m_e$ ,  $1000 m_e$  и  $2000 m_e$ <sup>1</sup>. К тому же результату привело сопоставление ионизирующей способности и поглощения частиц, входящих в состав так называемой «мягкой компоненты»<sup>2</sup>. В 1947 г. эти выводы были подтверждены и расширены благодаря увеличению точности магнитного анализа: наличие мощного магнитного поля позволило установить существование дискретного спектра масс, простирающегося до значений масс, в несколько раз превышающих массу протона<sup>3</sup>.

Существование в космическом излучении частиц с массой около  $1000 m_e$  находит новое подтверждение в работе Рочестера и Бутлера,

опубликованной в Nature от 20 декабря 1947 года<sup>4</sup>. Эти авторы в продолжение нескольких лет занимались исследованием ливней проникающих частиц, которые возникают в свинце под действием космического излучения. Используя обычный метод управляемой камеры Вильсона, помещённой в магнитное поле, они получили 50 стереоскопических фотографий проникающих ливней, образованных в пластинке свинца, расположенной над камерой. В реферируемой работе приведены 2 такие фотографии (см. рис. 1 и 2), на основании которых делается заключение о существовании самопроизвольно распадающихся нейтральных и заряженных частиц с массой около  $900 m_e$ . На первой фотографии ясно видны две траектории  $a$  и  $b$ , исходящие из общей точки, находящейся под пластинкой свинца толщиной 3 см, разделяющей камеру на две части. На второй фотографии видна траектория  $a$  и  $b$ , сильно изломанная в точке, расположенной в верхней части фотографии, над свинцовой пластинкой. В табли-

Т а б л и ц а 1

| Фото-графия | Напряжённость магнитного поля (эрстед) | Угол между траекториями | Траектория | Импульс $eV/c$    | Погрешность в измерении импульса $eV/c$ | Знак заряда |
|-------------|----------------------------------------|-------------------------|------------|-------------------|-----------------------------------------|-------------|
| 1           | 3500                                   | 66,6°                   | $a$        | $3,4 \times 10^8$ | $1,0 \times 10^8$                       | +           |
|             |                                        |                         | $b$        | $3,5 \times 10^8$ | $1,5 \times 10^8$                       | —           |
| 2           | 7200                                   | 161,6°                  | $a$        | $6,0 \times 10^8$ | $3,0 \times 10^8$                       | +           |
|             |                                        |                         | $b$        | $7,7 \times 10^8$ | $1,0 \times 10^8$                       | +           |

це I приводятся экспериментальные данные, характеризующие обе „вилки“ траекторий.

Авторы приводят убедительные доказательства того, что „вилки“ траекторий на обеих фотографиях нельзя объяснить сильным рассеянием частицы ядром. Действительно, если бы траектории  $a$  и  $b$  были вызваны сильным рассеянием частицы, на фотографиях был бы виден след ядра отдачи. Кроме того, предположение, что „вилка“ на рис. 2 вызвана рассеянием, сталкивается со следующей трудностью: в вершине вилки в результате одноактного столкновения частица рассеивается на  $19^\circ$ , затем проходит свинец толщиной в 3 см и в нём рассеивается всего на  $2,4^\circ$ . Такой случай представляется почти невероятным. В отношении вилки рис. 1 можно было бы ещё предположить, что она представляет собой след пары электрон-позитрон, образованной в поле ядра фотоном большой энергии, входившим в состав проникающего ливня. Эта возможность полностью исключается по двум причинам: 1) для электрона и позитрона с импульсом, указанным в таблице I, угол разлёта должен быть порядка десятой градуса, тогда как в действительности он равен  $66^\circ$ , и 2) фотон большой энергии, проходящий пластинку 3 см свинца, должен был бы сопровождаться большим числом каскадных электронов. Таким образом очевидно, что обе вилки не могут быть объяснены процессами столкновения. Авторы предполагают, что в обоих случаях они имеют дело с распадом движущейся частицы на две частицы, подобно тому, как это имеет место при распаде мезотрона на электрон и нейтрино. С этой точки зрения фотография рис. 1 представляет собой случай распада нейтральной частицы, входящей в состав проникающего ливня, на две частицы, одна из которых имеет положительный заряд,

другая отрицательный, а фотография рис. 2 — случай распада положительно заряженной частицы, на частицу с тем же знаком заряда и на нейтральную частицу.

Рассмотрим выводы относительно масс распавшихся частиц, к которым приходят авторы работы на основании применения к обнаруженным траекториям законов сохранения энергии и импульса.

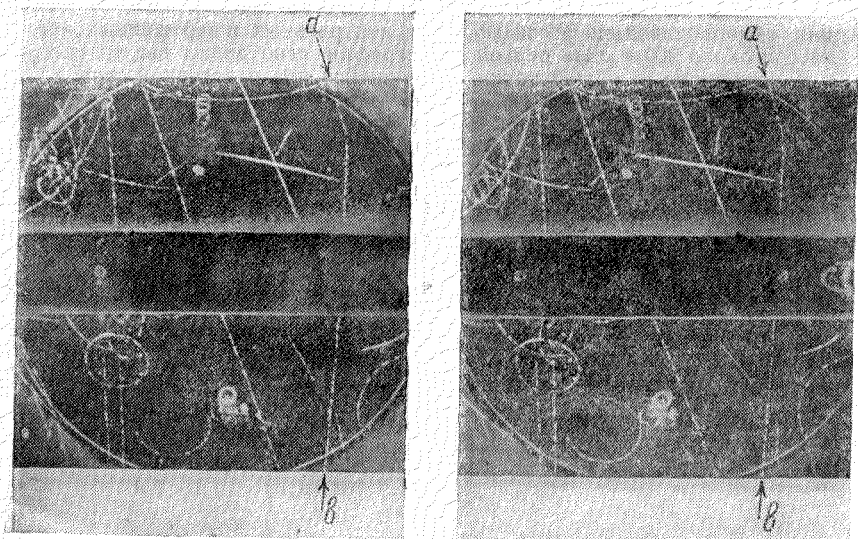


Рис. 2.

Обозначим через  $M$  массы первичной (распавшейся) частицы, через  $m_1$  и  $m_2$  — массы продуктов распада, и через  $P, p_1, p_2$  — соответствующие импульсы этих частиц. Пусть  $\vartheta$  и  $\varphi$  — углы, образованные направлениями полёта частиц  $m_1$  и  $m_2$  с направлением первичной частицы. Законы сохранения энергии и импульса в этом случае имеют следующий вид:

$$\sqrt{M^2 c^4 + p^2 c^2} = \sqrt{m_1^2 c^4 + p_1^2 c^2} + \sqrt{m_2^2 c^4 + p_2^2 c^2}, \quad (1)$$

$$P = p_1 \cos \vartheta + p_2 \cos \varphi, \quad (2)$$

$$p_1 \sin \vartheta = p_2 \sin \varphi. \quad (3)$$

Предположим, что в результате наблюдаемого на рис. 1 и 2 распада возникают лёгкие частицы, энергией покоя которых  $m_1 c^2$  и  $m_2 c^2$  можно пренебречь, по сравнению с  $p_1 c$  и  $p_2 c$ . Тогда из закона сохранения энергии (1) получается нижний предел для массы первичной частицы

$$M_{\min} c^2 = c \sqrt{(p_1 + p_2)^2 - P^2}. \quad (4)$$

В случае, изображённом на фотографии 1 (см. таблицу 1),  $p_1$  и  $p_2$  известны, и так как  $p_1 \cong p_2 = p$ , то  $\vartheta \cong \varphi$  и импульс  $P$  первичной нейтральной частицы равен  $P = 2p \cos \vartheta$ , где  $p = 3,4 \times 10^8$  eV/c, а  $\varphi = \vartheta = 33^\circ$ . Подставляя значения  $p_1, p_2$  и  $P$  в (4), получаем

$$M_{\min} = (770 \pm 20) m_e.$$

В случае распада, изображённого на фотографии 2. неизвестный импульс  $p_2$  нейтральной частицы, возникшей при распаде, может быть определён по уравнениям (2) и (3). Подставляя в (4)  $p_1$ ,  $p_2$  и  $P$ , авторы получают для минимального значения массы:

$$M_{\min} = (1700 \pm 150) m_e.$$

Если массы частиц, получившихся в результате распада, равны  $m_1 = m_2 = m$ , то  $p_1 = p_2 = P$  и из (1, 2, 3) получается следующее выражение для массы первичной частицы:

$$M = 2 m \left( 1 + \frac{P^2 c^2}{m_0^2 c^4} \sin^2 \vartheta \right)^{1/2}.$$

В первой части таблицы II приведены значения  $M$  для случая фотографии № 1, полученные в предположении, что  $m_0$  равно 0, 200 и 400.

Таблица II

Масса первичной частицы, как функция массы вторичной частицы

| Фотография | Предполагаемая масса вторичной частицы (в $m_e$ ) | Момент наблюдаемой вторичной частицы (в eV) | Масса первичной частицы (в $m_e$ ) |
|------------|---------------------------------------------------|---------------------------------------------|------------------------------------|
| 1          | 0                                                 | $(3,5 \times 10^8 + 1,0 \times 10^8)$       | $770 \pm 200$                      |
|            | 200                                               | $(3,5 \times 10^8 + 1,0 \times 10^8)$       | $870 \pm 200$                      |
|            | 400                                               | $(3,5 \times 10^8 + 1,0 \times 10^8)$       | $1100 \pm 150$                     |
| 2          | 0                                                 | $(7,7 \times 10^8 + 1,0 \times 10^8)$       | $980 \pm 150$                      |
|            | 200                                               | $(7,7 \times 10^8 + 1,0 \times 10^8)$       | $1080 \pm 100$                     |
|            | 400                                               | $(7,7 \times 10^8 + 1,0 \times 10^8)$       | $1280 \pm 100$                     |

Мы видим, что при изменении массы вторичных частиц от 0 до 400  $m_e$  масса первичной частицы  $M$  меняется незначительно: от 770 до 1110  $m_e$ .

Масса частиц на фотографиях 1 и 2 может быть также определена по величине удельной ионизации и импульсу. Точное определение удельной ионизации по фотографии невозможно, однако, авторы указывают, что на обеих фотографиях  $\beta \gg 0,7$ . Если известен нижний предел для  $\beta$ , знание импульса позволяет определить верхний предел для величины массы. В случае фотографии 1 авторы определяют верхний предел для  $m_1$  и  $m_2$  и затем по формулам (1), зная  $m_1$ ,  $m_2$  и  $P$ , определяют верхний предел для  $M$ . Получается  $M \leq 1600 m_e$ . Итак, масса нейтральной частицы лежит в пределах

$$(770 \pm 200) \leq M \leq 1600 m_e.$$

Для массы распадной частицы на фотографии 2 оценка массы по  $\beta$  и  $P$  даёт:  $M \leq 1200 m_e$ .

Мы видим, что полученный в этом случае верхний предел для  $M$  меньше нижнего предела (1700  $m_e$ ). Причиной такого расхождения является в первую очередь большая неточность в определении импульса первичной

частицы, связанная с тем, что на фотографии 2 длина траектории первичной частицы, пригодная для определения радиуса кривизны, невелика. Из таблицы 1 видно, что импульс распадной частицы в этом случае измерен с гораздо большей степенью точности.

Поэтому авторы считают наиболее правильным оценить массу первичной частицы  $M$ , исходя из предположения, что имел место распад этой частицы на две частицы равной массы, импульсы которых известны. В таблице 2 приведены значения  $M$ , полученные в этом предположении. Наименьшее значение  $M$ , соответствующее случаю  $m_0 = 0$ , получается при этом равным  $980 m_e$ . Заметим, что при этом импульс первичной частицы должен иметь значение  $14,5 \times 10^8$  eV/c вместо измеренного значения  $(6 \pm 3) \cdot 10^8$  eV/c. Авторы считают наиболее вероятным, что фотография 2 соответствует массе первичной частицы, лежащей в пределах между  $980 m_e$  и массой протона.

А. Вайсенберг

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. А. Алиханьян, А. Алиханов и А. Вайсенберг. ДАН, 55, № 8 (1947).
2. С. Никитин. J. of Phys. 11, 196 (1947).
3. А. Алиханьян, А. Алиханов, В. Морозов, Г. Мусхелишвили, А. Хримян. ДАН, 58, № 7, стр. 1391 (1947).
4. G. D. Rochester and Butler. Nature 160, № 4077, 855 (1947).