

К- и τ -ЧАСТИЦЫ

Недавно опубликовано сообщение о наблюдении в фотоэмульсиях космических частиц с массой $\sim 1200 m_e$ (К-частицы); получены также новые подтверждения существования τ -мезонов (масса $\sim 1000 m_e$).

В работах использовались фотоэмульсии Ильфолд G-5 толщиной 400 μ . Пластины экспонировались на высоте 3300 м (Юнгфрау), под 30 см Pb.

К-частицы

Автор¹ изучал распределение по энергиям электронов, возникающих при распаде μ -мезонов ($\mu \rightarrow e$ -распад). В одном случае энергия распадного электрона оказалась аномально большой и равной ~ 240 Мэв. Это побудило автора подробно изучить данный случай распада и произвести специальное измерение масс частиц.

На рис. 1 представлена микрофотография распада: первичная частица K_1 останавливается в эмульсии; в месте её остановки (точка Р) берёт начало след слабо ионизирующей частицы. Длина следа первичной частицы в эмульсии более 4000 μ . Для определения массы измерялись средние углы многократного рассеяния и расстояния между зёрнами в зависимости от остаточного пробега частицы. Определение массы из этих

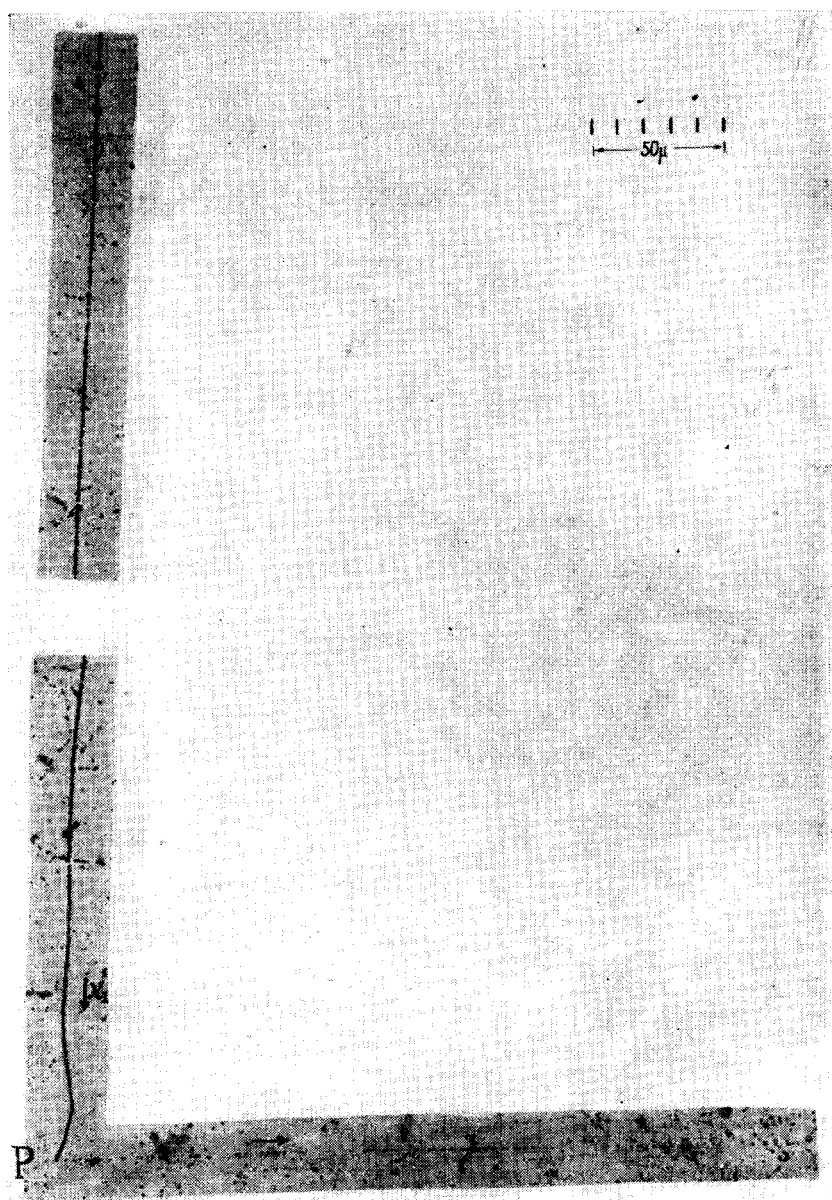


Рис. 1.

данных производилось различными независимыми методами, разработанными ранее^{2,3,4}. Среднее значение массы оказалось равным

$$m_{K_1} = (1320 \pm 170) m_e.$$

Вторичная, слабо ионизирующая частица оставляет в эмульсии след длиной 2200 μ . Плотность зёрен и величина $p\beta$ (оценённая из среднего угла многократного рассеяния) таковы, что частице следует приписать значение массы, меньшее 400 m_e .

Другой случай распада тяжёлой частицы приведён на микрофотографии рис. 2. Здесь наблюдаются два последовательных распада в точке P и в точке Q . На первый взгляд может показаться, что это обычный $\pi \rightarrow \mu \rightarrow e$ -распад. Как известно, при распаде остановившегося π -мезона возникают μ -мезоны с пробегом $\sim 590 \mu$. Измеренный же пробег оказался равным 1098 μ . Предположение, что здесь имеет место распад π -мезона налету маловероятно, так как распадный μ -мезон вылетает почти в противоположную сторону.

Поэтому автор специально измерял массы первичной и вторичной частиц (теми же методами, что и в первом случае). Длина следа первичной частицы в эмульсии $\sim 5800 \mu$, и её масса оказалась равной

$$m_{K_2} = (1125 \pm 140) m_e.$$

Масса вторичной частицы равна 200—300 m_e , т. е. это либо π -, либо μ -мезон; вероятнее, однако, что вторичная частица μ -мезон, так как в конце пробега (точка Q) она даёт распадную частицу — скорее всего электрон; вылет же электронов непосредственно при распаде π -мезонов никем не наблюдался.

Точность определения масс недостаточна для утверждения, что в обоих рассмотренных случаях имеет место распад тяжёлых частиц одинаковой массы, т. е. что $m_{K_1} = m_{K_2}$. Если частицы K_1 и K_2 одинаковые, то их распад должен сопровождаться вылетом по крайней мере двух нейтральных частиц (так как энергия распадных μ -мезонов в обоих случаях различна). Если же K_1 и K_2 — разные, то возможно, что K -распад сопровождается вылетом одной нейтральной частицы; тогда массу её легко оценить, зная массу и импульс заряженных частиц. Для случая K_2 масса нейтральной частицы оказывается равной $900 \pm 130 m_e$. В случае K_1 неточность определения импульса вторичной частицы столь велика, что данные не противоречат вылету любой из нейтральных частиц γ (нейтрино), π_0 или V_0 ($800 m_e$).

Неточность определения масс такова, что нельзя также категорически утверждать, что масса K -частиц не равна массе τ -мезона (см. дальше). Экспериментальные данные, всё же, повидимому, противостоят предположению о равенстве этих масс.

Кроме случаев K_1 и K_2 наблюдались ещё две K -частицы, но их массы не могли быть точно оценены из-за неудачных геометрических условий.

Для выяснения природы и точного определения массы K -частиц необходимы дальнейшие исследования.

τ -мезон

В 1949 и 1950 гг. впервые описаны случаи^{5,6}, когда заряженная космическая частица с массой $\sim 1000 m_e$ останавливается в фотоэмульсии и распадается на три заряженные частицы, вероятнее всего, π -мезоны.

Последние работы^{7,8} дают новые доказательства существования таких тяжёлых частиц (так называемых τ -мезонов).

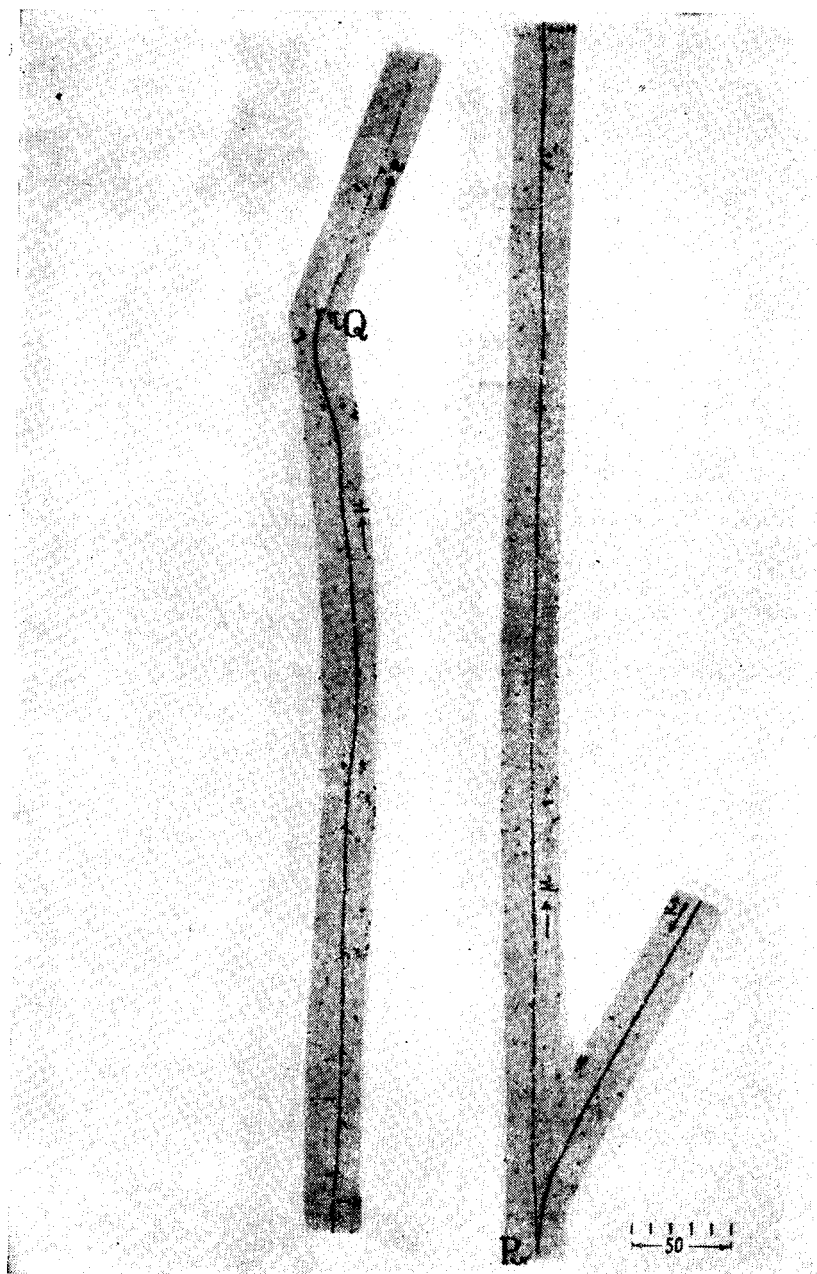


Рис. 2.

На микрофотографии рис. 3 приведён случай, описанный в работе⁷. Первичная частица τ останавливается в точке P . Из этой точки расходятся следы трёх новых частиц a , b , c ; концы следов находятся вне эмульсии.

Длина следа первичной частицы τ в эмульсии 2070 μ . Масса её, определённая из измерений средних углов многократного рассеяния в зависимости от остаточного пробега, оказалась равной $(1015 \pm 280) m_e$. Более точное значение массы $(1000 \pm 180) m_e$ получено при использовании измерений просветов между зёрнами эмульсии.

Длина следов вторичных частиц a , b , c в эмульсии 6400 μ , 120 μ и 490 μ соответственно. Как и в предыдущих работах, первоначальные направления движения вторичных частиц компланарны в пределах ошибок эксперимента; поэтому с большой вероятностью можно считать, что наблюдаемые три частицы являются единственными продуктами распада τ -мезона. Авторам удалось оценить кинетические энергии вторичных частиц и отсюда независимым способом — массу первичного τ -мезона.

Большая длина следа a позволила оценить массу частицы (по плотности зёрен и параметру рассеяния), оказавшуюся равной $(285 \pm 20) m_e$. Вероятнее всего, что это — π -мезон. Определение его энергии производилось следующим методом:

измерялись средние углы рассеяния и плотность зёрен для различных участков вдоль траектории a ; из сравнения этих данных с подобными данными для μ -мезонов и протонов можно было заключить, что пробег частицы вне эмульсии составляет около 400 μ и, следовательно, полный её пробег равен $(6800 \pm 200) \mu$.

Используя соотношение пробег — энергия для протонов^{9, 10}, легко было определить энергию частицы с массой 274 m_e (наиболее точное значение массы π -мезона), имеющей пробег 6800 μ . Получено значение энергии $(19,0 \div 0,4) Mэв$, что соответствует импульсу $75,4 \frac{Mэв}{c}$.

Импульсы частиц b и c определяются из условия, что сумма импульсов всех трёх частиц равна нулю. Импульс b равен $(85,8 \pm 1) \frac{Mэв}{c}$, импульс c $(98,3 \pm 1) \frac{Mэв}{c}$. По импульсам и плотности зёрен траектории оценена масса частиц $m_b = (240 \pm 30) m_e$ и $m_c = (280 \pm 15) m_e$.

Авторы указывают, что условия наблюдения следа b таковы, что значение m_b следует считать заниженным и, следовательно, полученное значение масс согласуется с представлением, что первичная частица распадается на три π -мезона.

Независимое определение относительной величины масс вторичных частиц на основе измерений углов между траекториями и плотности зёрен также привело к заключению об их равенстве в пределах ошибок измерений.

Кинетические энергии b и c (определённые по импульсу и массе) равны $(24,2 \pm 2,0) Mэв$ и $(32,0 \pm 2,0) Mэв$ соответственно, а полная энергия трёх вылетевших частиц равна $(75,2 \pm 5,0) Mэв$.

Результаты определения кинетических энергий вторичных частиц сведены в таблице (см. на стр. 136)

Здесь случаи 1 и 2 взяты из работ^{5, 6}, но пересчитаны с учётом более точного значения $m_\pi = 274 m_e$.

Масса первичной частицы, оценённая исходя из принятой схемы распада на три π -мезона и полученного значения их общей кинетической энергии $(73,5 \pm 4) Mэв$, равна $m_\tau = (966 \pm 8) m_e$.

Такое же значение общей кинетической энергии вторичных частиц $(73,5 \pm 7) Mэв$ и массы m_τ получено в последней работе⁸.

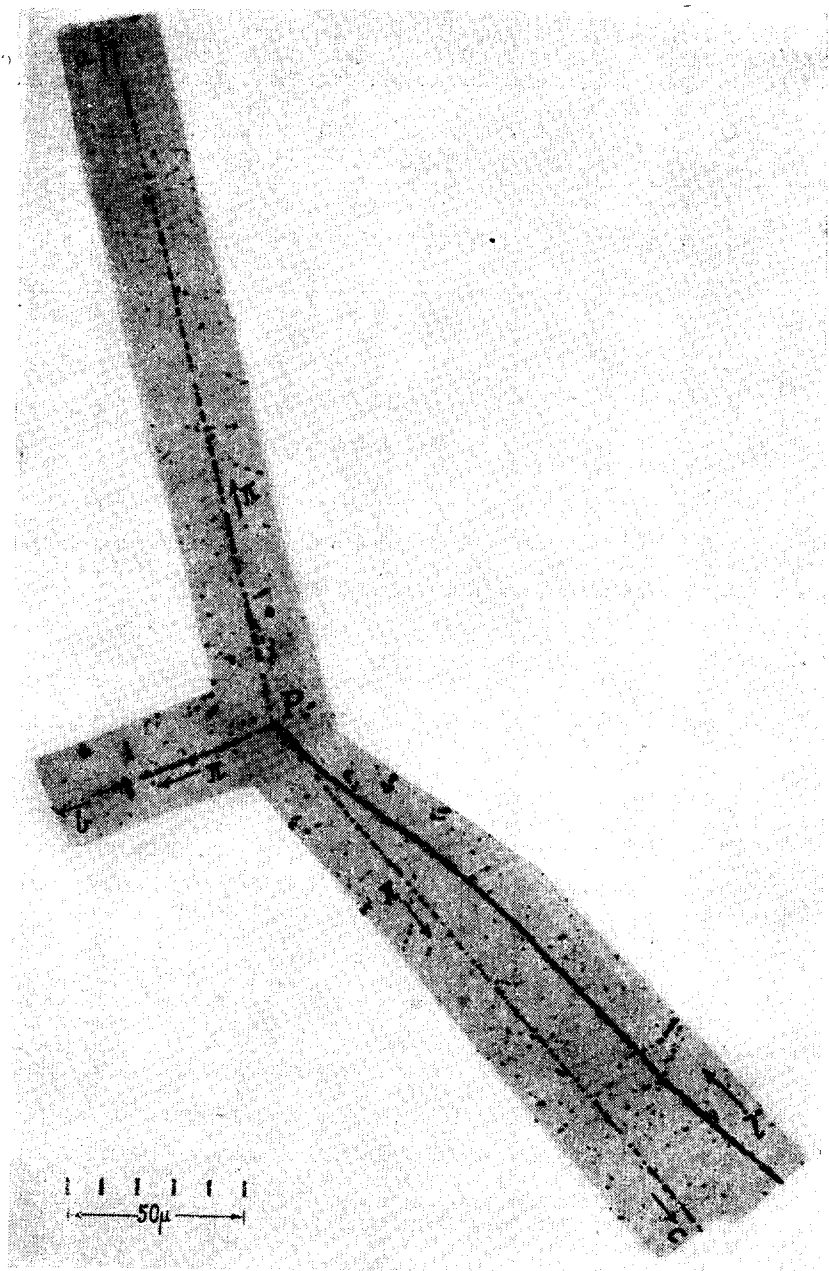


Рис. 3.

Вся совокупность приведённых данных подтверждает высказанную точку зрения на природу распада. Нельзя, однако, категорически утверждать, что при распаде не возникает нейтрино или γ -излучение слабой

Общая кинетическая энергия (в $M\text{эв}$) распадных частиц
(предполагается, что все три частицы π -мезоны)

№ случая	Частица a	Частица b	Частица c	Общая кинетическая энергия
1	$1,04 \pm 0,10$	31 ± 4	33 ± 4	65 ± 8
2	$50 \pm 7,5$	13 ± 2	22 ± 3	85 ± 15
3	$19 \pm 0,4$	$24,2 \pm 2$	32 ± 2	75 ± 5
		среднее взвешенное		$73,5 \pm 4$

энергии. Нейтрино с энергией $10 M\text{эв}$ вызвало бы отклонение от компланарности следов трёх заряженных частиц на $\sim 3^\circ$, что находится на пределе точности измерений углов в опытах.

В работах^{1,7} зарегистрировано четыре K -частицы и один τ -мезон в том же объеме эмульсии, в котором зарегистрировано 750 π -мезонов.

Следовательно, $\frac{N_{K,\tau}}{N_\pi} = \frac{1}{150}$, где $N_{K,\tau}$ — общее количество K - и τ -частиц, а N_π — количество π -частиц.

В той же лаборатории Камерини и др.¹¹ показали, что в ядерных реакциях, вызванных протонами с энергией E в интервале $2-10 B\text{эв}$, количество энергии, выделяющейся в виде π -мезонов, приблизительно пропорционально E .

Допустим, во-первых, что при энергиях протонов $E > 10 B\text{эв}$ такая же часть энергии идёт на образование π -мезонов и что при этом, кроме π -мезонов, рождаются ещё K -, τ -мезоны; во-вторых, что энергия поровну распределяется между π -частицами, с одной стороны, и K -, τ -частицами — с другой; в-третьих, что в системе центра инерции взаимодействующих ядерных частиц рождённые K - и τ -частицы имеют распределение по скоростям и углам, подобное тому, которое найдено для π -мезонов; зная распределение по энергиям быстрых протонов и нейтронов на данной высоте (~ 3300 м), можно вычислить ожидаемое отношение

$\frac{N_{K,\tau}}{N_\pi}$. Оно оказывается равным $\frac{1}{75}$, т. е. величиной того же порядка, что и наблюдаемое. (Расхождение в два раза с наблюдаемым отношением вполне может быть объяснено за счёт того, что K -частицы весьма трудно идентифицировать на фоне μ -мезонов, которых почти в тысячу раз больше; часть K -частиц, таким образом, может ускользнуть от наблюдения.)

Авторы рассматривают это как подтверждение гипотезы о том, что в ядерных превращениях, вызванных нуклеонами с энергией $> 10 B\text{эв}$, значительная часть энергии идёт на образование K - и τ -частиц.

Из постулированного распределения по скоростям и количеству наблюденных в опыте K - и τ -частиц (5 частиц) делается заключение о том, что время жизни их не меньше 10^{-9} сек.

О знаке заряда K - и τ -частиц заключение сделать пока невозможно.

Очевидно, что частота регистрации K - и τ -частиц должна возрасти на больших высотах, где имеется большее количество протонов и нейтронов с энергией > 10 Бэв; наблюдения имеет смысл производить на малых широтах (меньше 40°), так как снижается фон от посторонних частиц, генерированных протонами меньших энергий (в малых широтах из-за магнитного поля Земли в атмосферу попадают протоны с энергией, большей ~ 5 Бэв).

В работах^{6,8} пластинки экспонировались подо льдом, и автор⁸ считает, что из водородосодержащих веществ наблюдается больший выход τ -частиц, чем из других элементов.

В настоящее время можно, повидимому, считать установленным существование космических частиц с массой $\sim 1000 m_p$, распадающихся на три заряженные частицы (повидимому, π -мезоны). Для всестороннего изучения природы этих тяжёлых частиц необходимы дальнейшие исследования.

Что касается K -частиц, то полученные данные об их существовании следует рассматривать как предварительные, нуждающиеся в подтверждении и уточнении.

М. Д.

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. O'Ceallaigh C., Phil. Mag. **42**, 1032 (1951).
2. Hodgson, Phil. Mag. **41**, 725 (1950).
3. Menon a. Rochat; ссылка в¹ на неопубликованную работу.
4. Perkins, cf. Lattes, Occhialini a. Powell. Proc. Phys. Soc. **61**, 178 (1948).
5. Brown, Camerini, Fowler, Muirhead, Powell a. Ritson, Nature, **163**, 82 (1949).
6. Harding, Phil. Mag. **41**, 405 (1950).
7. Fowler, Menon, Powell a. Rochat, Phil. Mag. **42**, 1040 (1951).
8. Hodgson, Phil. Mag. **42**, 1060 (1951).
9. Lattes, Fowler a. Cuer, Proc. Phys. Soc. **59**, 883 (1947).
10. Brander, Smith, Barkas a. Bishop, Phys. Rev. **77**, 462 (1950).
11. Camerini и др., 1951 г.; ссылка в⁷ на неопубликованную работу.