

С. АЗИМОВ, Н. БИРГЕР, Н. ДОБРОТИН, Г. ЖДАНОВ, Ю. КОКУРИН
и С. СЛАВАТИНСКИЙ

О МАССАХ ЧАСТИЦ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ

(Представлено академиком Д. В. Скобелцыным 13 III 1951)

На основе цикла своих работ, проводившихся начиная с 1944 г. на высоте 3250 м, А. И. Алиханов, А. И. Алиханян и их сотрудники пришли к выводу о существовании в космических лучах весьма значительного числа частиц с массами, лежащими в интервале от 100 до 20000 m_e . Так, в статьях (¹, ²) авторы приводят следующие значения масс найденных ими частиц: 110, 150, 210, 270, 350, 430, 550, 650, 820, 950, 1300, 1840, 2200, 3500, 8000, 20000 m_e . Авторы назвали эти частицы варитронами. В работе (³) приводится спектр масс частиц, остававшихся в 2,4 см Pb, с поправками на светосилу прибора. Рис. 15, 16 их статьи показывают, что на частицы с массой $\sim 200 m_e$ приходится около 12% от всех остановившихся частиц, на частицы с массой $\sim 300 m_e$ 4%, на протоны 54% и на частицы с массами промежуточными между 300 m_e и протонами около 30%. Таким образом, из этих данных следует, что μ - и π -мезоны не представляют собой преобладающих в космическом излучении частиц, а что наряду с ними имеется целый набор частиц с разными массами, причем число частиц других масс на высоте 3250 м того же порядка, что и число обычных мезонов. Однако такой точке зрения противоречит вся совокупность данных по космическим лучам. Об этом же говорят результаты опытов выполненных в лаборатории ФИАН (^{4,5}) по измерению удельной ионизации частиц мягкой компоненты.

В связи с большим принципиальным значением вопроса о существовании частиц разных типов и об их массах мы провели новые эксперименты на высоте 3860 м с двумя установками с камерами Вильсона в магнитном поле. Над камерами обеих установок имелся только деревянный потолок, соответствовавший примерно 7 г/см².

1. Установка с двумя камерами Вильсона. Установка состояла из двух камер Вильсона, расположенных вертикально одна над другой. Верхняя камера диаметром 20 см и глубиной освещенной области 1,5 см помещалась между полюсами большого электромагнита с размерами полюсных наконечников 100×30 см. Нижняя камера диаметром 50 см и глубиной освещенной области 8 см была расположена вне магнитного поля. Эта камера содержала 11 свинцовых пластин толщиной 0,8 см каждая. Управление обеих камер осуществлялось трехкратными совпадениями счетчиков, расположенных над и между камерами и образующих «телескоп». Одновременно требовалось отсутствие разряда в группе счетчиков, расположенных под нижней камерой и перекрывающих большую часть телесного угла, выделенного «телескопом». Массы частиц, проходящих через «телескоп» и остановившихся в нижней камере, определялись по кривизне следа в верхней камере и остаточному пробегу. Измерения проводились при трех значениях магнитного поля: $B = 4400, 6900$ и 9200 эрст.

Интервал пробегов, выделяемый установкой, равнялся 30—105 г/см² свинца.

Точность определения масс частиц. Основным источником ошибок при измерении масс частиц по использованному методу являются искажения следов, обусловленные турбулентностью газа в верхней камере. Для учета этой ошибки проводилось фотографирование следов частиц жесткой компоненты, проходящих в установке 20 см Рb при отсутствии магнитного поля. Распределение 276 следов частиц в верхней камере по кривизнам $C = 1/\rho$ представлено на рис. 1 (сплошная линия).

Полученное распределение хорошо аппроксимируется кривой Гаусса вида: $e^{-C^2/2 \cdot (0,1)^2}$, где кривизна выражена в обратных метрах, Средняя квадратичная ошибка в C , обусловленная турбулентностью, равна таким образом $\pm 0,1 \text{ м}^{-1}$. Ошибка, связанная с многократным

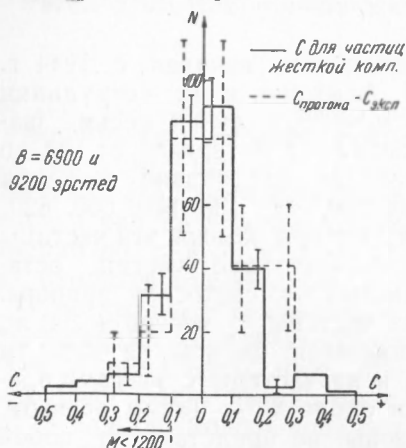


Рис. 1

рассеянием в газе камеры остановившихся в установке частиц, вычисленная по Бете⁽⁶⁾, не превышала 3% от величины импульса. Неоднородность магнитного поля учитывалась для каждого случая отдельно, и ошибка, связанная с ней, не превышала 1,5—2%. Ошибка в пробеге $\Delta R = \pm 2,7 \text{ г/см}^2$ Рb, что соответствует 10% для минимального пробега.

Результаты измерений. Измерения, как уже указывалось выше, проводились при трех различных значениях магнитного поля.

Минимальное значение магнитного поля выбиралось таким, чтоб эффект «выдувания»* из установки частиц с массой $M \geq 500 m_e$ не превышал 30%**.

В то же время уже и в минимальном поле (4400 эрстед) μ - и π -мезоны «выдуваются» практически полностью (за исключением сильно наклонных частиц). Оценка максимального эффекта «выдувания» в полях 6900 и 9200 эрстед дает значение $\sim 40\%$ для частиц с массой $= 700 m_e$.

Всего за 275 час. работы нами было получено 4068 снимков. Масса частиц определялась только в тех случаях, когда остановка происходила в центре освещенной области нижней камеры и не сопровождалась появлением вторичных частиц. При этом требовалось точное совпадение по направлению следов частиц в верхней и нижней камерах. Оказалось, что этим условиям удовлетворяло 55 следов, которые и были использованы для определения массы.

Среди 24 остановившихся частиц, наблюдавшихся в минимальном поле с $H\rho$ в интервале $5 \cdot 10^5 - 22 \cdot 10^5$ гаусс · см, 23 частицы положительные и 1 — отрицательная. Масса отрицательной частицы равна $(230 \pm 50) m_e$ и принадлежит, очевидно, μ - или π -мезону. Измеренные кривизны следов 23 положительных частиц хорошо согласуются с предположением, что все они относятся к частицам с протонной массой. Действительно, распределение отклонений кривизн от значений, ожидаемых для протонов с найденными значениями пробегов, $(C_{\text{протона}} - C_{\text{эксп}})$ хорошо согласуется с распределением, полученным для кривизн следов частиц в отсутствие магнитного поля.

* Мы называем «выдуванием» увод магнитным полем частиц в заданном интервале импульсов из установки.

** Принимается угловое распределение всех частиц в воздухе по $\cos^2 \theta$.

В больших магнитных полях ($B = 6900$ и 9200 эрстед) была определена масса у 31 остановившейся частицы. За исключением одной все частицы обладают положительным законом заряда. Масса отрицательной частицы равна $(2000 \pm 400) m_e$. Хотя в этом случае остановка и произошла в центре освещенной области, след ее, однако, не обнаруживает заметного увеличения ионизации или рассеяния перед второй пластиной, где произошла остановка. В связи с этим вероятно всего, что эта частица есть электрон. Одна из положительных частиц обладает массой $(220 \pm 30) m_e$. Наблюдаемое для остальных 29 положительных частиц распределение величин $(C_{\text{протона}} - C_{\text{экс}})$ также хорошо согласуется с распределением, полученным для кривизн следов частиц, снятых в отсутствие магнитного поля (см. рис. 1).

Сравнение обоих распределений, с учетом поправок на светосилу, позволяет оценить верхний предел для числа частиц с массой $700-1200 m_e$ в $10^0\%$ от числа остановившихся протонов. То обстоятельство, что на 53 остановившихся протона наблюдается только один случай отрицательной частицы с массой порядка массы протона, также показывает, что если и существуют частицы обоих знаков с массой $\geq 700 m_e$, то число их составляет ничтожную долю от числа остановившихся протонов.

2. Установка с камерой Вильсона и годоскопом. Вторая установка состояла из камеры Вильсона, полностью аналогичной описанной выше, и годоскопа конструкции Л. Н. Кораблева (?). Использованный в этой установке электромагнит имел круглые полюсные наконечники диаметром 30 см. Все измерения проводились в поле величиной $B = 9300$ эрст. Неоднородность магнитного поля по диаметру камеры не превышала $\pm 5^0\%$. Пробег частиц определялся с помощью 5 групп годоскопических счетчиков, чередующихся с пластинами свинца толщиной 0,7 см каждая. Каждая из групп годоскопических счетчиков состояла из двух рядов. В работе использовались счетчики диаметром 3 см и длиной 50 см. Выделяемый установкой интервал пробегов равнялся $27-80 \text{ г/см}^2 \text{ Pb}$.

Точность определения масс частиц. Причины ошибок в определении кривизны следов частиц в этой установке полностью аналогичны тому, что имеет место в установке с двумя камерами Вильсона. Распределение кривизн следов в отсутствие магнитного поля было получено по 100 снимкам. Вероятная ошибка в кривизне оказалась равной $0,09 \text{ м}^{-1}$. Ошибка в импульсе, связанная с неоднородностью магнитного поля, составляла $\pm 5^0\%$. Ошибка в пробеге составляла не больше $10^0\%$ от наблюдаемого пробега.

Основным недостатком этой установки по сравнению с описанной ранее является известная неопределенность в характере остановок частиц в фильтрах между счетчиками. Это приводит к тому, что как остановки, связанные с ядерными взаимодействиями протонов и π -мезонов, так и остановки электронов, не давшие видимого «размножения», рассматриваются как торможение, обусловленное чисто ионизационными потерями энергии.

Результаты измерений. За 150 час. работы нами было получено 1200 снимков следов частиц в магнитном поле. Для определения массы частиц были отобраны те случаи, когда в годоскопической системе наблюдались остановки одиночных частиц, не сопровождающиеся разрядом ни в одном из счетчиков, не лежащих на прямой траектории частицы. Таким образом, всего было отобрано 52 снимка следов остановившихся частиц.

Все частицы можно по массам разделить на две основные группы. Первую группу составляют 31 частица с положительным знаком заряда. Ко второй группе относятся 10 положительных и 7 отрицательно заряженных частиц. Частицы первой группы являются прото-

нами, а второй μ - или π -мезонами. Распределение кривизн $C_{\text{протона}} - C_{\text{экср}}$ и $C_{\text{мезона}} - C_{\text{экср}}$ с точностью до статистических ошибок совпадает с распределением, полученным для кривизн следов в отсутствие магнитного поля.

Помимо двух основных групп частиц с помощью этой установки было найдено 4 остановившихся частицы (2 положительные и 2 отрицательные), для которых наблюдаемые кривизны не укладываются в распределение кривизн следов без магнитного поля как в предположении, что эти частицы протоны, так и в предположении, что это μ - или π -мезоны. Появление небольшого числа частиц с кажущимися промежуточными массами в годоскопической установке следует ожидать из-за большой вероятности для электронов и позитронов остановиться в поглотителях между счетчиками без образования «размножения» электронов в камере Вильсона с пластинами и в годоскопической системе показывает, что эффективность регистрации «размножения» электронов нашей установкой порядка $\sim 85 - 90\%$. В то же время в годоскопической установке было зарегистрировано ~ 70 случаев «размножения» частиц в свинцовых фильтрах, которые следует приписать электронам в том же интервале импульсов, что и одиночные остановившиеся частицы. Поэтому наблюдаемые 4 случая частиц с промежуточными «массами» могут быть полностью объяснены электронами и позитронами.

Выводы. Полученные данные показывают, что если частицы с массами, промежуточными между массой π -мезона и протона, и с временем жизни $> 10^{-8}$ сек. и существуют в космических лучах на высотах 3—4 км, то их число во всяком случае не может превышать 10% от числа остановившихся в тех же фильтрах ($30 - 105 \text{ г/см}^2 \text{ Pb}$) протонов. Сравнение результатов, полученных на установке с двумя камерами Вильсона и с годоскопом, показывает, что при использовании годоскопической системы для определения пробегов частиц наблюдается большой фон, обусловленный наличием «неразмножившихся» электронов. Это является, очевидно, одной из причин резкого противоречия результатов нашей работы данным А. И. Алиханяна, А. И. Алиханова и сотрудников, описанным в цитированных выше статьях. Появление в их установке большого числа частиц с промежуточными «массами» связано, по видимому, также с тем, что в их опытах существенным образом сказывалось рассеяние в стенках счетчиков и от полюсных наконечников магнитов, возможные неточности при обработке результатов и т. п.

Авторы глубоко признательны акад. Д. В. Скобельцыну, чл.-корр. АН СССР В. И. Векслеру, проф. С. Н. Вернову, проф. Е. Л. Фейнбергу и Г. Т. Зацепину за обсуждение полученных результатов. Авторы выражают благодарность А. Г. Новикову за помощь в проектировании аппаратуры, а также А. А. Малинкину, В. Н. Полюнову и Г. И. Сергееву, принимавшим участие в наладке аппаратуры, проведении измерений и обработке результатов.

Физический институт им. П. Н. Лебедева
Академии наук СССР

Поступило
10 III 1951

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ А. Алиханян, А. Вейсенберг, В. Харитонов и М. Дайон, ДАН, **60**, 1515 (1948). ² А. Алиханян, В. Морозов, А. Хримян, Г. Мусхелишвили и В. Камалян, ЖЭТФ, **19**, 1021 (1949). ³ А. Алиханян, А. Алиханов, В. Морозов, Г. Мусхелишвили и А. Хримян, ЖЭТФ, **18**, 673 (1948). ⁴ Н. Добротин, Journ. of Physics, **10**, 207 (1946). ⁵ Н. А. Добротин, Я. И. Граевская, Н. Л. Григоров, С. И. Никольский и И. Д. Раппопорт, ДАН, **77**, № 4 (1951). ⁶ Н. А. Bethe, Phys. Rev., **70**, 820 (1946). ⁷ Л. Н. Кораблев, ДАН, **62**, 215 (1948).