

Н. М. Кочарян, М. Т. Айвазян, З. А. Киракосян, С. Д. Кайтмазов

Исследование спектра масс мезонов на высоте 1000 м
 над уровнем моря

(Представлено А. И. Алиханяном 4 III 1952)

Начиная с 1949 года нами производились исследования состава космических лучей на уровне 1000 метров методом магнитного анализа, предложенным Алиханяном и Алихановым^(1,2). Для этой цели нами была построена установка, с помощью которой можно было бы измерить массу частиц, входящих в состав космического излучения. В настоящей работе приводятся результаты, полученные в 1950, 1951 гг., когда измерения проводились уже после внесения ряда усовершенствований и уточнений, благодаря чему значительно повысилась точность измерений массы частиц.

Описание установки. Главной частью установки является электромагнит, между полюсами которого создавалось достаточно однородное магнитное поле напряженностью до 6000 эрстед. Протяженность магнитного поля по вертикали равнялась 80 см при ширине поля 20 см и длине зазора 10 см. Для питания магнита применялись селеновые выпрямители, ток от которых строго стабилизировался.

Измерение импульса частиц в магнитном поле и одновременное определение их пробега в медных фильтрах позволяло определить массу частиц. На рис. 1 приводится схема установки. Четыре группы координатных счетчиков, расположенных вдоль магнитного поля (1, 2, 3, 4), и четыре группы координатных счетчиков, расположенных перпендикулярно магнитному полю (I, II, III, IV), позволяли проследить путь частиц в пространстве. Ниже магнитного поля были расположены медные фильтры. Толщина первого фильтра 22 г/см², второго—6,3 г/см², третьего—8,4 г/см² и четвертого—10,1 г/см². Под первым фильтром были помещены накрест два слоя счетчиков (V, 5), позволяющие проследить частицу сразу же после выхода из самого толстого фильтра и уточнить пройденную в нем толщину. Между каждой парой нижних фильтров были расположены два ряда счетчиков (VI, VI) и (VII, VII) в плоскости, перпендикулярной маг-



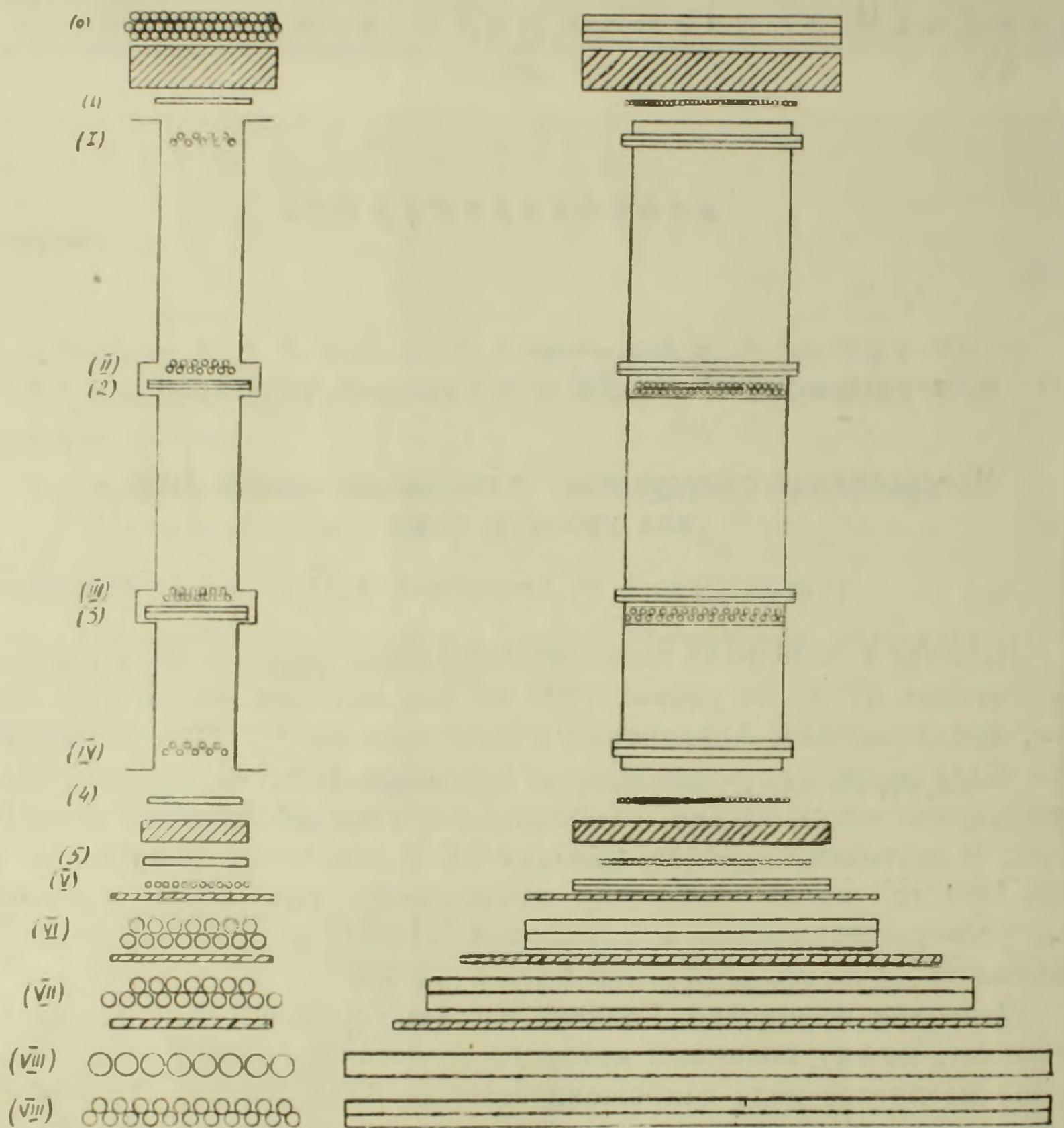


Рис. 1.

нитному полю. Снизу три ряда счетчиков (VIII, VIII, VIII) с избытком закрывали телесный угол для частиц, выходящих из магнитного поля. Все счетчики, за исключением VIII группы, в отдельности были соединены с неоновыми лампочками. VIII группа счетчиков тремя неоновыми лампочками отмечала прохождение частиц через все фильтры. Счетчики (V, 5) позволяли отмечать рассеяние частицы в двух плоскостях, а группы (VI, VI) и (VII, VII) — рассеяние в плоскости, перпендикулярной магнитному полю. Мы могли, при желании, VIII группу счетчиков включить в ветвь антисовпадения и, тем самым, регистрировать отдельные мягкие частицы.

В нашей установке применялись самогасящие счетчики с алюминиевыми катодами, наполненные аргоном и парами метилала. Для

срабатывания установки необходимо было тройное совпадение счетчиков групп (1), (2) и (4). Кривизна траектории частицы измерялась по отметкам (1), (2) и (4) групп счетчиков. Группа (5) счетчиков являлась контрольной. (1) и (4) группы состояли из одного слоя медных счетчиков, каждая в количестве 35 штук, диаметром 0,48 см, толщиной стенок 0,12 мм и длиной 10 см. Группа (2) состояла из двух слоев алюминиевых счетчиков диаметром 6 мм в количестве 43 штук, расположенных на расстоянии 2 мм друг от друга. Такое расположение счетчиков увеличивало точность определения координаты средней точки траектории в три раза по сравнению со случаем расположения счетчиков в один слой. Такое уточнение применялось нами также и в группе (3) алюминиевых счетчиков, количество которых доходило до 31. Длина указанных алюминиевых счетчиков была 10 см, толщина стенок—0,16 мм.

В зазоре магнита, перпендикулярно магнитному полю, помещались группы счетчиков I, II, III, IV. Группы I и IV состояли из одного слоя медных счетчиков диаметром 10 мм, длиной 20 см. Группы II и III содержали по 13 алюминиевых счетчиков длиной 20 см и диаметром 7,8 мм, расположенных в два слоя с уточнением.

Таким образом по пути частиц, проходящих через магнитное поле между (1, I) и (4, IV) группами счетчиков, находились только алюминиевые счетчики, что значительно уменьшало рассеяние частиц в стенках счетчиков.

Группы VI, VII, VIII состояли из счетчиков диаметром 2 см и длиной соответственно 45, 70 и 80 см. Расположение и число их указано на рис. 1.

Над всей установкой, на высоте 4 см от 1-й группы счетчиков, помещался свинцовый экран толщиной 5 см. Непосредственно над экраном была расположена группа (0) из трех слоев счетчиков длиной 40 см, диаметром 1 см, закрывающая полностью телесный угол частиц, входящих в поле магнита. Если зарегистрированная нашей системой частица не вызывала зажигания в (0) группе счетчиков, то это указывало на то, что она генерирована в свинце нейтральной частицей.

Таким образом наша система давала возможность зарегистрировать частицы, генерированные в свинце нейтральной компонентой.

Отбор и обработка траекторий. Мы имели возможность при отсутствии поля провести точную юстировку нашей системы, пользуясь проникающими частицами. Нами была получена симметричная кривая распределения частиц по отклонениям для 320 частиц. Из результатов обработки следует, что возможная ошибка в определении импульса мезона из-за неточной юстировки системы составляет менее 0,25%.

В настоящей работе были использованы только такие траектории, которые давали отметки в группах счетчиков (1), (2), (3), (4) и (I), (II), (III), (IV). Из этих траекторий отбирались те, которые удов-

летворяли четырем „точкам“, отмеченным счетчиками групп (I), (II), (III), (IV), лежащим на одной прямой, и четырьмя „точками“ групп (1), (2), (3), (4), лежащими на окружности. Мы имели возможность группами счетчиков (5, V), (VI, VI) и (VII, VII) проследить дальнейший ход частицы и отбрасывали частицы, которые задевали крайние счетчики и могли выйти, не давая отметки в нижних рядах счетчиков. Группами счетчиков (4, IV) и (V, 5) мы имели возможность проследить за направлением частицы и ввести поправку на удлинение пути частицы при прохождении через первый фильтр. При определении пробега частицы нами учитывалась также толщина стенок счетчиков.

Для определения радиуса кривизны частицы мы воспользовались точным и очень удобным методом, предложенным одним из авторов (3).

Масса частиц определялась по импульсу и пробегу с помощью точной таблицы, составленной научным сотрудником Н. П. Гамбарян.

Погрешности измерений. Радиус кривизны или импульс частицы определялся с неточностью, обусловленной конечными геометрическими размерами счетчиков и многократным рассеянием частиц в стенках счетчиков. Относительная квадратичная погрешность в измерении импульса из-за конечных размеров счетчиков для нашего

случая дается выражением $\sigma_c = \frac{P}{10^{10}}$, где, как и везде в дальнейшем, P выражается в $\frac{ev}{c}$. Относительная средняя квадратичная ошибка в определении импульса из-за многократного рассеяния частиц в стенках счетчиков приводит к выражению

$$\sigma_p = \frac{0,031}{\beta}, \quad \text{где } \beta = \frac{v}{c}.$$

Среднее значение импульсов мезонов, которые застревали в наших фильтрах, $p \sim 1,8 \cdot 10^8 \frac{ev}{c}$, $\beta = 0,8$.

Таким образом, относительная погрешность при определении импульса для мезонов составляла 4,2%.

Неточность в определении пробега допускалась из-за конечной толщины фильтров. Средняя квадратичная ошибка из-за конечной толщины фильтра составляла $\sigma_\phi = \frac{\Delta R}{2\sqrt{3}R}$ или же 6,4%, где ΔR

толщина фильтра, а R пробег частицы. Флуктуация в пробеге из-за многократного рассеяния и из-за флуктуации потерь энергии в меди составляет 5%. Для мезонов рассматриваемой нами области импульсов довольно хорошо выполняется соотношение $m = K \frac{p^{1,8}}{R^{0,8}}$, где K

постоянная. Следовательно, для мезонов средняя квадратичная ошибка при определении массы $\sigma = 10\%$.

Результаты. На рис. 2 приводится спектр масс мезонов для трех пробегов. Общее количество частиц для мезонов двух знаков составляет 125. Пунктиром приводится кривая распределения Гаусса.

Благодаря применению алюминиевых счетчиков и фильтров небольшой толщины, мы добились достаточной разрешающей способности прибора, чтобы судить о существовании в спектре масс π -мезонов в условиях нашего опыта.

Максимум в области масс π -мезонов нами не обнаружено. Возможно, что в спектре мезонов имеется некоторая „примесь“ π -мезонов. Однако в условиях нашего опыта количество их должно быть менее 5%.

Следует отметить, что в работе, выполненной на уровне моря, авторы (4) наблюдали π -мезоны в количестве 20—30% от количества наблюдаемых μ -мезонов. Возможно, что несогласие в результатах, полученных нами и авторами указанной статьи, объясняется разницей в условиях эксперимента. В указанной выше работе блок свинца толщиной в 10 см помещался высоко над установкой, в то время,

как в нашей установке он находился на расстоянии всего 4 см от верхнего ряда счетчиков.

Указанные различия могут сказываться на результатах в случае, если π -мезоны генерируются в блоке одновременно с другими заряженными частицами. При попадании одновременно двух или большего числа частиц в нашу систему мы лишены возможности определения импульса частиц.

Нами отдельно вычислено среднее значение масс для положительных и отрицательных частиц. При этом получается:

$$\mu^- = (211 \pm 3) m_e; \mu^+ = (212 \pm 3) m_e.$$

Среднее значение массы для двух знаков мезонов получается $(211 \pm 2) m_e$. Если все же учесть, что до 5% частиц являются π -мезонами, то тогда для массы мезона получаем значение не менее чем $(208 \pm 2) m_e$.

Принимая во внимание возможную ошибку в определении абсолютного значения магнитного поля, получаем для массы мезона значение:

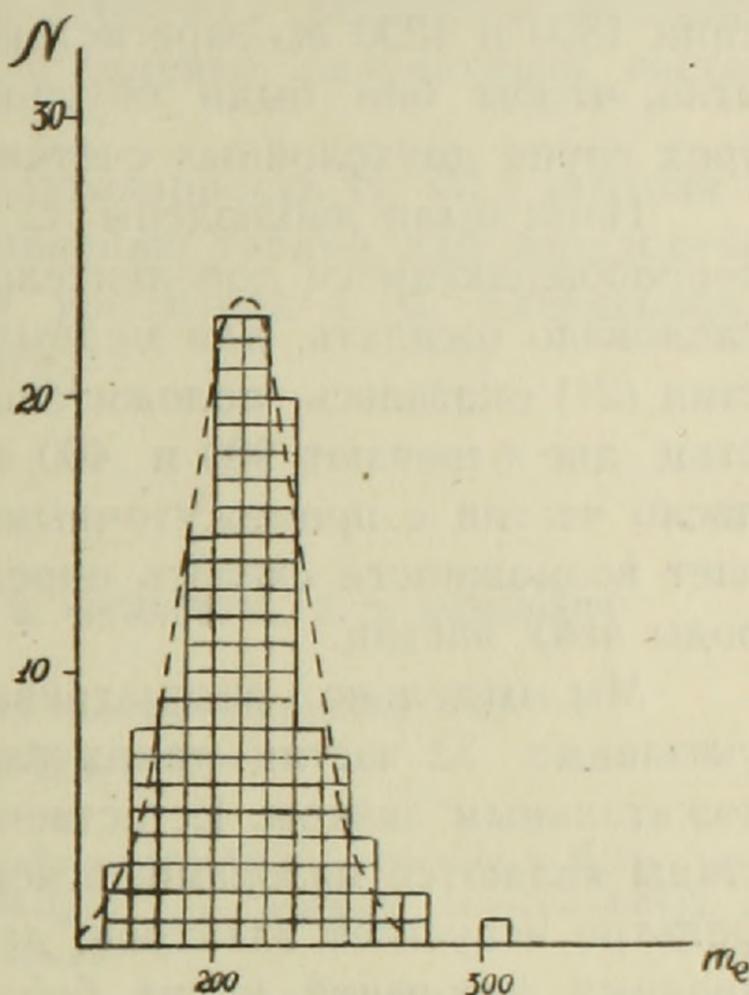


Рис. 2.

$$\mu = (211 \pm 4) m_e \text{ и не менее } (208 \pm 4) m_e.$$

Нами не было зарегистрировано ни одной положительной частицы с массой, промежуточной между $(290-1400) m_e$.

Среди одиночных частиц, не размножившихся в фильтрах, нами зарегистрированы три отрицательные частицы с кажущимися массами 7000, 1800 и 1200 m_e . Первая частица остановилась в последнем фильтре. Появление такой частицы можно объяснить пропуском в последней группе счетчиков; частицы с кажущимися массами 1800 и 1200 m_e зарегистрированы в первом фильтре, и вероятно, чтобы они были обусловлены одновременными пропусками трех групп двухслойных счетчиков.

Нами были наблюдаены 32 частицы, застрявшие в фильтрах и сопровождающиеся дополнительными вспышками счетчиков. Как и следовало ожидать, для медных фильтров основная доля этих частиц (24) оказалась положительной. Из восьми отрицательных частиц две отвечают 900 и 400 электронным массам. Однако малое число частиц с промежуточными массами (400, 900, 1200, 1800) не дает возможности сделать определенного вывода относительно природы этих частиц.

Мы отдельно рассматривали случаи двойных загораний. Из указанных 32 частиц таких случаев оказалось 28, причем 21 с положительным знаком. Естественно было предполагать, что эти частицы являются мезонами, основная доля которых после распада в фильтре испускает электрон, давший зажигание счетчиков. Случаи двойных загораний могут быть объяснены испусканием электронов распада, движущихся снизу вверх.

При таком предположении для среднего значения массы положительных частиц получаем $(203 \pm 6) m_e$.

Нами были зарегистрированы 50 частиц, генерированных нейтронами в верхнем слое свинца. Все они имели импульс больше $5 \cdot 10^8 \frac{e\upsilon}{c}$, т. е. нами не наблюдалось ни одного случая генерации мезонов.

Таблица 1

Интервалы импульсов (импульсы в $10^8 \frac{e\upsilon}{c}$)	$\frac{N^+}{N^-}$
35,0—111	$1,24 \pm 0,09$
11 — 6,6	$1,11 \pm 0,1$
6,6 — 3,0	$0,9 \pm 0,1$
3,0 — 2,0	$0,9 \pm 0,2$

Нами было промерено 4982 частицы, пробег которых превышал 5 см меди. Из них 2672 частицы положительных и 2310 отрицатель-

ных. Для отношения числа положительных и отрицательных частиц нами получено $1,12 \pm 0,04$. Зависимость этой величины от импульса приводится в таблице 1.

Интересно отметить, что для еще меньших значений импульсов мезонов получается уже значительный избыток отрицательных частиц. Из 155 мезонов, поглощенных в фильтрах, включая и частицы, давшие зажигание более чем одного счетчика, 92 оказались отрицательными и 63 положительными.

Авторы считают своим долгом выразить глубокую благодарность А. И. Алиханяну за ценное обсуждение результатов настоящей работы.

Авторы выражают глубокую благодарность Н. П. Гамбарян за ценный труд по вычислению и составлению таблиц для определения масс частиц, а также сотрудникам Института А. С. Алексаняну и Х. Б. Пачаджяну за участие в работе.

Институт физики
Академии наук Армянской ССР

Ն. Մ. ՔՈՉԱՐՅԱՆ, Մ. Տ. ԱՅՎԱԶՅԱՆ, Զ. Ա. ԿԻՐԱՎՈՍՅԱՆ, Ս. Դ. ԿԱՅՏՄԱԶՈՎ

**Մեզոնների մասսաների սպեկտրի հետազոտությունը 1000 մ
ծովի մակարդակից բարձր**

Կատարելով մի շարք մեթոդական կատարելագործումներ, հաջողվել է Ալիխանյանի և Ալիխանովի մասսայեկտրոմետրի մեջ իրականացնել կոսմիկական ճառագայթների մեջ մտնող մասնիկների մասսաների բացարձակ չափում:

Ցույց է տրված, որ մեզոնների մասսաների տիրույթում π -մեզոնները կարող են կազմել μ -մեզոնների թվի ոչ ավելի քան 50%:

Նոր մեթոդով չափված է մեզոնի մասսան, որի համար ստացվել է $(211 \pm 4)m_e$:

Առանձին քննություն է անվում կոշտ կոմպոնենտի դրական մասնիկների թվի հարաբերությունը բացասական մասնիկների թվին: Ցույց է տրվում, որ այդ հարաբերությունը մոնոտոն կերպով նվազում է 1,2-ից մինչև 0,7, երբ իմպուլսը նվազում է $35 \cdot 10^8 \frac{eV}{c}$ -ից մինչև $1,8 \cdot 10^8 \frac{eV}{c}$:

Л И Т Е Р А Т У Р А — Գ Ր Ա Վ Ա Ն Ո Ւ Ք Յ Ո Ւ Ն

¹ А. Алиханян, А. Алиханов и А. Вайсенберг, ДАН Арм. ССР, 5, 129, 1946.
² А. Алиханян, А. Алиханов и А. Вайсенберг, ЖЭТФ, 18, 3, 301, 1948. ³ С. Кайтмазов, Нахождение радиуса кривизны траектории методом отображения ДАН Арм. ССР, XIV, № 5, 1951. ⁴ А. Алиханов и Г. Елисеев, ЖЭТФ, 21, 9, 1951.