

ԵՐԵՎԱՆԻ ԳՐԱԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ԿԵՆՏՐԱԼԻ  
ԵՐԵՎԱՆՍԻ ԲՈՒԿՄԱՆՈՒԹՅԱՆ ԿԵՆՏՐԱԼԻ

ԵՓԻ-ԿԼ-1(70)

*Ա. Ի. Ալիսյան, Վ. Վ. Ասատրյան,*

*Ջ. Ա. Մամիջյան*

ՍՐՈՒՑ ԷՔՍՔԵՐԻՄԵՆՏԻ ՍԵՐ ԲՈՒՑԻՄ  
ՉԱՍԻՑՆԵՐ Կ ԴՐՈՒՄ ԷԼԵԿՏՐԻՉԵՍԿԻՄ  
ՉԱՐՅՈՄ ՆԱ ՎԻՍՈՒԹԵ 3250 Մ. ՆԱԴ  
ՍՐՈՒՄԵՆ ՄՈՐՅԱ

Չափ 1210

Կրիչ 300

Կրիչ-կոփրովալնայա սթանցիա Երևանսկոյ ֆիզիչեսկոյ  
ինստիտուտա, Երևան-36, Մարկարյան 2

ԱՐՍ



ԵՐԵՎԱՆ

1970

ԵՐԵՎԱՆ

...ионизируется пролетом ... по поискам частиц с дробным электрическим зарядом ... ствола широкого атмосферного ливня. Установка состоит из камеры Вильсона, стримерной камеры, ... ионного калориметра, ... ционного годоскопа. Измерения будут проводиться на высоте 3250 м над уровнем ...

### Введение

Одним из основных результатов теории SU - симметрии (SU-3, SU -6) явилась классификация известных адронов. Теоретический анализ классификации привел к выводу о возможности существования фундаментальных частиц [1-6], из которых, в частности, могут состоять адроны. Так, согласно работам [1,2], эти частицы составляют триплет. Каждый из элементов триплета - кварк - имеет дробный электрический заряд ( $\frac{1}{3}e$ ,  $\frac{2}{3}e$ ). В работе [5] оценивается нижний предел величин массы этих частиц - порядка  $6-10 \frac{Bev}{c^2}$ .

К настоящему времени выполнено значительное число экспериментальных работ по поиску кварков с дробным зарядом, как на ускорителях [7-11], так и в космических лучах [12-36]. Проводились также эксперименты по поиску тяжелых частиц и с единичным зарядом [25-36].

В таблице I даны результаты этих работ (приводятся лишь данные с наибольшей статистической обеспеченностью).

Таблица I

Тип частицы	Уровень наблюдения	Верхний предел абсолютного потока частиц $(\text{см}^2 \text{сек. ст.})^{-1}$	Литература
Кварки с зарядом $\frac{1}{3}e$	уровень моря	$1,7 \cdot 10^{-10}$	36
Кварки с зарядом $\frac{2}{3}e$	уровень моря	$3,4 \cdot 10^{-10}$	36
Тапские частицы с дробным или единичным зарядом	3200м над уровнем моря	$5,0 \cdot 10^{-10}$	26
"Мюонные" кварки с зарядом $\frac{1}{3}e$	60м водного эквивалента	$1,5 \cdot 10^{-10}$	22
"Мюонные" кварки с зарядом $\frac{2}{3}e$	2200м водного эквивалента	$1,5 \cdot 10^{-10}$	35

Во всех цитируемых работах требовалось, чтобы через детекторы проходила одна частица, т.е. частицы с ливневым сопровождением автоматически исключались с помощью той или иной экспериментальной методики.

Фактически все вышеперечисленные эксперименты дали отрицательный ответ на вопрос о существовании частиц с дробным зарядом.

Однако теоретические оценки сечения образования кварков очень малы, чтобы утверждать, что полученные экспериментально значения верхнего предела потока кварков указывают на то, что кварков не может быть.

Так, согласно [26, 37, 38] сечение образования кварков при нуклон-нуклонных взаимодействиях составляет  $< 1 \frac{\mu\text{б}}{\text{нукл}}$  для мезон

кварков в  $6 \frac{\mu\text{б}}{\text{ст}}$ , а согласно [39] оно порядка  $0,03 \frac{\mu\text{б}}{\text{нукл}}$  для массы кварка в  $10 \frac{\mu\text{б}}{\text{ст}}$ .

Совсем недавно  $M_c - C_{\text{мезон}}$  и др. [40] сообщили о новом эксперименте по обнаружению частиц с  $z = \frac{2}{3}e$ . Они утверждают, что при изучении центральных областей широких атмосферных ливней высоких энергий ( $E_0 > 10^{15} \text{эВ}$ ) в камере Вильсона среди  $5 \cdot 10^4$  треков наблюдалось 5 случаев с ионизацией  $(0,48 \pm 0,05) I_{\text{гем}}$ , которые можно идентифицировать как кварки с  $z = \frac{2}{3}e$ .

Работа эта вызвала большой интерес и вот почему:

1. Если масса кварков  $\sim 10-50 \frac{\mu\text{б}}{\text{ст}}$ , что вытекает из оценки  $M-G$ , то они могут рождаться лишь при столкновении нуклонов сверхвысокой энергии ( $> 10^{15} \text{эВ}$ ). Между тем единственным источником информации о сверхвысоких энергиях остаются широкие атмосферные ливни.

2. При изучении нуклонной (ядерно-активной) компоненты Ш.А.Л. наблюдается значительное увеличение поперечного импульса вторичных частиц при первичной энергии  $> 10^{15} \text{эВ}$  [40-42]. Указанную аномалию можно объяснить, допустив существование омально-взаимодействующих полей, возникших в частности при взаимодействиях типа кварк-антикварк.

Поскольку указанная работа представляет для нас особый интерес, остановимся на ней подробнее.

Установка для поиска кварков вблизи стволков Ш.А.Л. состояла из камеры Вильсона (КВ) высотой в 25 см и системы сантиметрических очетчиков, служащей для отбора ливней по числу частиц.

"Странные" треки, т.е. треки с малой ионизацией имели длину в освещенной зоне КВ  $\sim 10$  см (в одном случае даже  $\sim 20$  см).

Авторы считают, что указанные треки не могут быть объяснены ни флуктуационными эффектами (частота появления треков с малой ионизацией намного превышает ожидаемую флуктуацию), ни эффектом Чудакова (по всей длине треков ионизация равна половине нормальной ионизации), ни конструктивными особенностями данной КВ (соседние параллельные треки хорошо видны, диффузионная ширина "кварковых" следов одного порядка с диффузионной шириной остальных параллельных треков и т.д.).

После опубликования работы [40] весьма скоро появились и первые комментарии к ней [43], указавшие на ряд факторов, которые могли бы привести к ложной идентификации треков в КВ. На наш взгляд, единственным серьезным аргументом [43], подвергавшим сомнению результаты работы [40], является незнание экспериментальной кривой флуктуации ионизации в КВ, что приводит к неоднозначной интерпретации "странных" кваркоподобных треков. Так например, исходя из работ ряда авторов [44-48], которые измеряли ионизирующую способность релятивистских частиц в КВ с помощью подсчетов капель в треке, следует, что флуктуация числа капель в КВ при режимах, сходных с [40], может составлять 9%, 11% и 13%. Тогда ожидаемые числа треков с ионизацией, имитирующей кваркоподобные треки ( $\frac{I}{I_{мин}} = 0,45 + 0,50$ ) из общего числа в  $5 \cdot 10^4$  случаев, составляет 0,006; 0,4 и 5 частиц, соответственно. Иными словами, 5 странных треков в работе [40] вполне могут быть объяснены прохождением "нормальных" частиц.

Т.о. комментарии [43] показывают, что к выводам эксперимента [40] надо подойти с известной осторожностью. С другой стороны, мы не можем утверждать, что результаты эти просто ошибочны.

В связи с этим, оставаясь в рамках экспериментальной идеи (поиски кварков в Ш.А.Л.), мы намерены провести указанный эксперимент, существенно изменив его методику.

При этом возможны два подхода: 1) предварительно измерить дисперсию распределения ионизации в КВ; 2) измерять первичную ионизацию, учитывая её чисто пуассоновское распределение [49]. Как известно, можно создать условия, когда в стримерной камере удастся определить первичную ионизацию (число первичных столкновений), которая подчиняется именно пуассоновскому распределению (а не распределению Ландау, в частности).

Предлагаемый ниже проект основан на развитии изложенных выше замечаний.

## I

### Необходимые данные по Ш.А.Л.

а) Зависимость между числом частиц в Ш.А.Л. и энергией ливня и первичной частицы, генерирующей ливень.

Измерив достаточно аккуратно полное число электронов  $N_e$  в широком атмосферном ливне, на данном уровне наблюдения, можно перейти к энергии ливня  $E_{N_e}$  и затем, используя эту оценку, вычислить энергию  $E_0$  первичного нуклона (ядра), генерирующего ливень с числом частиц  $N_e$  на уровне наблюдения.

Величину  $E_{N_e}$  можно вычислить сравнительно точно в рамках электромагнитной теории. Так, согласно [49],  $E_{N_e} = (2,7 \pm 0,2) N_e \beta$ , где  $\beta$  - критическая энергия воздуха и  $E_{N_e}$  измеряется в эВ. Более поздние данные [50] дают  $E_{N_e} = (3,1 \pm 0,1) \beta N_e$ .

Однако развитие и прохождение широких ливней нельзя описать только с помощью электромагнитной теории: необходимо привлечь

данные по ядерно-каскадному процессу. Многие же характеристики этого процесса неизвестны. Поэтому, чтобы от  $E_{N_e}$  перейти к  $E_o$  (или же от  $N_e$  к  $E_o$ ), допускаются различные приближения. Так например, в работах [41, 51] зависимость  $N_e$  от  $E_o$  рассчитывалась методом Монте-Карло для разных первичных частиц с учетом разных моделей ядерного взаимодействия.

Пользуясь данными работ [51 - 56], можно показать, что для энергий  $10^{15} - 10^{16}$  эв

$$E_o = (3 \div 12) \cdot 10^3 N_e \text{ (1a) для первичного протона}$$

и

$$E_o = (3 \div 20) \cdot 10^3 N_e \text{ (1б) для первичного ядра типа } F_e$$

б) Функция пространственного распределения Ш.А.Л. вблизи ствола ливня.

При анализе пространственного распределения электронов в ливне следует отметить, что кулоновское рассеяние электронов является единственным механизмом пространственного (углового) расширения, который учитывается в имеющихся теоретически сочитанных распределениях. Нишимура и Камата [57, 58] посчитали полное число частиц в ливне на любой глубине и при разных значениях параметра возраста  $S$ .

На рис.1 и 2 приводятся экспериментальные данные по функциям пространственного распределения для индивидуальных ливней с числом частиц  $N_e \sim 10^5$  и  $N_e \sim 10^7$  на уровне моря [59] и теоретические кривые Нишимуры и Каматы.

На рис.3 приведена кривая зависимости плотности частиц от расстояния для центральных областей Ш.А.Л. с  $N_e = 10^5 - 10^8$

на высоте 3260м над уровнем моря [60]. Согласно [57, 58] функция распределения электронов вблизи оси дается выражением

$$f(r) \sim r^{3-2}$$

Ядерно-активная компонента ( $N$  - компонента) Ш.А.Л. и ее функция пространственного распределения экспериментально исследовалась во многих работах (в частности [61 - 63]). Анализ этих работ приводит к следующим выводам:

1) Для Ш.А.Л. с  $E_o \geq 10^{15}$  эв  $\gamma$ -а частицы с энергией  $E_o \geq 50$  Гэв в основном сосредоточены вблизи ствола ( $r < 3$  м). Так, при  $r = 1,5$  м плотность  $\gamma$ -а частиц составляет  $\sim 2$  част/м<sup>2</sup>, а при  $r = 14$  м -  $\sim 0,3$  част/м<sup>2</sup>.  $\sim 80\%$  адронов с  $E > 100$  Гэв сосредоточено вблизи ствола ливня с  $r \sim 2,5$  м.

2) На глубине атмосферы 800 г/см<sup>2</sup> интенсивность  $\gamma$ -а частиц с  $E > 100$  Гэв в ливнях с  $N = 10^5$  и  $10^6$  частиц составляет  $\sim 100$  и 600 частиц.

с) Интенсивность Ш.А.Л., как функция глубины атмосферы и числа частиц.

Зависимость числа Ш.А.Л. от высоты наблюдения исследовалась во многих работах [64 - 67]. На рис.4 приводится результат этих исследований - интенсивность Ш.А.Л., как функция глубины атмосферы. Как следует из рис. на высоте 3250 м (700 г/см<sup>2</sup>) частота ливней с числом частиц  $> 10^5$  в 10-12 раз превышает частоту Ш.А.Л. на уровне моря и в 2,5-3 раз - частоту на высоте 2000 м (800 г/см<sup>2</sup>).

В работе [68] приведен спектр Ш.А.Л. по числу частиц на высотах гор. Полное число частиц на высоте 3330 м над уровнем моря

$$S(> N_e) = (1,1 \pm 0,1) \cdot 10^{-2} \left( \frac{N}{3,5 \cdot 10^3} \right)^{-1,5} \text{ час}^{-1} \text{ м}^{-2} \quad (2)$$

при  $N_e > 3,5 \cdot 10^5$  частиц.

д) Доля чистых э.-ф ливней (без Я -а компоненты) в абсолютном потоке Ш.А.Л.

Представляет определенный интерес оценить вклад широких атмосферных ливней, у которых отсутствует Я -а компонента

( $E_{д.а.} < 0,1 E_{э.ф.}$ ), в общем потоке Ш.А.Л.

Оценки эти выполнены в работе [69].

Для ливней с  $N_e > 10^4$  част доля чистых ливней составляет 40-50%; для Ш.А.Л. с  $N_e > 10^5$  част величина эта - 35 - 45%.

## II. Описание предлагаемой установки

### а) методика измерений

План экспериментальной установки приводится на рис. 5 и 6.

Она собрана на базе аппаратуры для измерения характеристик ядерных взаимодействий положительных и отрицательных Я -а частиц с разными веществами [70].

Детектором отбора событий (отбираются Ш.А.Л. с  $N_e > 10^5$  частиц) служит система сцинтилляционных счетчиков, включенных в годоскоп. Счетчики 1-4 расположены вблизи геометрического центра установки ( $r = 1\text{м}$ ), счетчики 5-8 и 9-12 удалены от центра ( $r = 4\text{м}$  и  $r = 10\text{м}$ ). Каждый счетчик имеет площадь  $0,2 \text{ м}^2$  ( $45 \times 45 \text{ см}$ ).

Детектором частиц с дробным зарядом являются камера Вильсона и стримерная камера. Поиск частиц осуществляется измерением ионизационных потерь в обеих камерах.

10

КВ с размерами  $914 \times 820 \times 400 \text{ мм}^3$  ( $\sim 300\text{л}$ ) освещается 4 мм лампами типа ИФП-400 с обеих сторон (параллельный лучок света), что обеспечивает освещение всего объема камеры Вильсона. Она расположена в теплоизоляционной будке, в которой поддерживается теплостабилизация (точность  $0,1^\circ\text{C}$ ). Градиент температуры  $-0,03^\circ\text{C}$  на 1 см. КВ фотографируется послойно и стерео 7 объективами. (Все объективы собраны в особом аппарате, изготовленном специально для измерения ионизации треков). Разрешающая способность фотообъективов по X и Y  $0,1 \text{ мм}$  и по Z  $-1,3-1,5 \text{ мм}$ , что позволяет измерить ионизацию по числу капель с плотностью  $10 \frac{\text{капель}}{\text{см}}$ . Ширина фотоплёнки 80 мм, размер кадра  $72 \times 64 \text{ мм}$ .

Камера работает по принципу медленного расширения с циклом длительности 5 мин. КВ в данном эксперименте выгодно отличается от камер М. - Г рядом параметров:

- 1) размерами (длина трека 80-90 см вместо 20 см);
- 2) равномерностью освещения;
- 3) точной системой фотографирования (резкое изображение всех треков по глубине камеры).

Стримерная камера может быть расположена над или под КВ. Было бы весьма желательным использовать СК для измерения первичной ионизации (пуассоновское распределение - см. введение). Долгошеину и др. [71] удалось измерить первичную ионизацию релятивистских частиц с точностью  $\sim 2\%$  в СК малых размеров. В СК больших размеров, нужных в предлагаемом эксперименте, точность определения первичной ионизации будет  $\sim 5-10\%$ .

СК находится в стадии изготовления и вопрос ее применения остается открытым.

Калориметр расположен под камерами и предназначен для контрольного определения стопа ливня и измерения энергии Я -а-

II

-компоненты Ш.А.Л. В случае необходимости ионизационные камеры можно заменить сцинтилляционными счетчиками. Калориметр позволяет измерять энергии вплоть до  $5 \cdot 10^{12}$  эВ.

в) "Мастерный" импульс установки.

Мастерный импульс установки должен обеспечивать:

1) точный отбор ливней с размерами  $N_L = 10^5 - 10^6$  частиц, что соответствует  $E_0 = 10^{15} - 10^{16}$  эВ,

2) прохождение оси Ш.А.Л. через центр установки (через детекторы частиц).

На нашей установке предусмотрено два варианта "мастерного" импульса.

В первом варианте ливни отбираются по 4-х кратным совпадениям счетчиков I-IV, V-VIII с одновременным 4-х кратным антисовпадением в IX-XII. Такой "мастер" обеспечивает регистрацию ливней с  $N_L > 10^5$  с обязательным прохождением ствола Ш.А.Л. через камеры и калориметр.

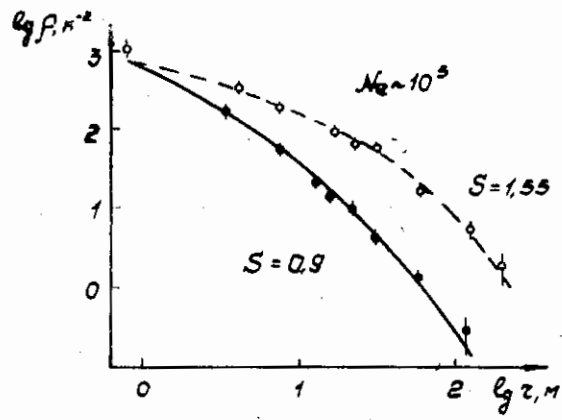
Во втором варианте измерений отбор идет по 4-х кратным совпадениям I-IV, двукратным совпадениям V-VIII и импульсе от калориметра. Такой вариант измерений обеспечивает регистрацию Ш.А.Л. с обязательным требованием наличия  $\gamma$ -а компоненты у Ш.А.Л. Если учесть, что  $\gamma$ -а частицы высокой энергии идут вблизи оси Ш.А.Л., то в этом варианте гарантируется прохождение оси через детектор частиц.

Требуется регистрация следующих плотностей ливневых частиц с помощью счетчиков I+I2. В счетчиках I-IV порог срабатывания - 20 частиц ( $100$  частиц/ $m^2$ ) с возможностью установления порогов  $> 30$ ,  $> 50$  и  $> 100$  частиц. В счетчиках V-VIII порог срабатывания 10 частиц с возможностью порогов  $> 15$ ,  $> 20$ ,  $> 30$  и  $> 50$  частиц.

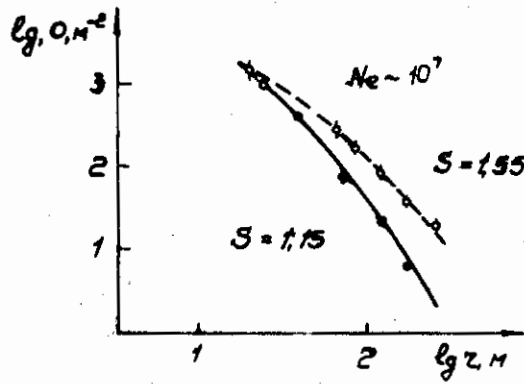
В счетчиках IX-XII, соответственно  $> 5$ ,  $> 10$ ,  $> 15$  и  $> 20$  частиц. Пороги срабатывания счетчиков выбирались, исходя из данных по Ш.А.Л. (см. I).

### С. Геометрический фактор аппаратуры

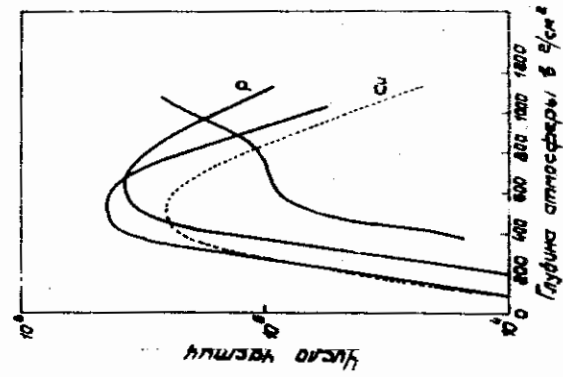
Количество Ш.А.Л. с  $N_L > 10^5$  частиц на высоте 3250 м над уровнем моря составляет  $\sim 5$  случаев/ $m^2$  в сутки. Для нашей установки частота Ш.А.Л. составит  $\sim 1$  част./сутки. Используя  $\phi$ -тип пространственного распределения частиц в Ш.А.Л., можно показать, что за год через камеру Вильсона пройдет  $\sim 80$  тыс. частиц и статистический материал будет близок к  $5 \cdot 10^4$  (при к.п.д. установки по времени  $\sim 0,6$ ).



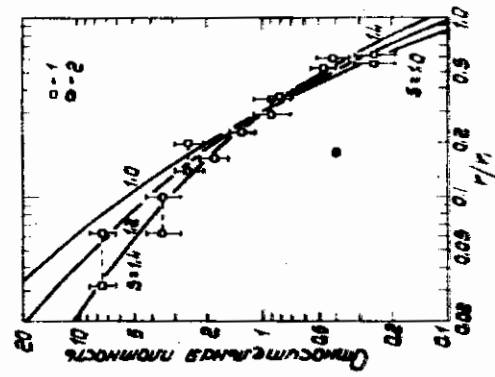
ш. 1.



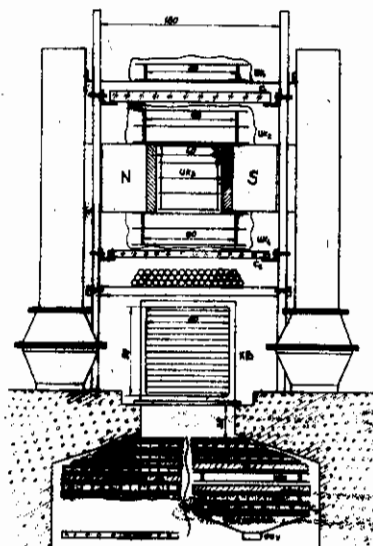
ш. 2.



ш. 4.



ш. 3



№ 5

Подпись к рисункам

- Рис.1 Функция пространственного распределения для Ш.А.Л. с числом частиц  $\sim 10^5$  на уровне моря.
- Рис.2 Функция пространственного распределения для Ш.А.Л. с числом частиц  $\sim 10^7$  на уровне моря.
- Рис.3 Плотность частиц в Ш.А.Л., как функция расстояния для центральных областей.
- Рис.4 Ионизированность Ш.А.Л. как функция глубины атмосферы.
- Рис.5 Схематический разрез установки (фронтальный вид).
- Рис.6 Схематический разрез установки (вид сверху).

ЦИТИРУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

111

1. M.Gell-Mann Phys. Letters 8, 214 (1964)
2. S.Zweig CERN Preprint 8182/TH 401 (1964)
3. Z.Łukasi Prog.Theor.Phys. 31, 331, 333 (1964)
4. H.Bacry et al Phys. Letters II, 255 (1964)
5. T.D.Lee et al Phys. Rev. I35, B 467 (1964)
6. M.Y.Han and Y.Nambu Phys. Rev. I39, B 1006 (1965)
7. K.Morrison Phys. Letters 9, 199 (1964)
8. L.E.Leinuner et al Phys. Rev. Letters I2, 423 (1964)
9. F.Blum et al Phys. Rev. Letters I3, 353a (1964)
10. V.Hagopian et al Phys. Rev. Letters I3, 280 (1964)
11. H.H.Bingham et al Phys. Letters 9, 201 (1964)
12. A.M.Sunyar et al Phys. Rev. I36, B II57 (1964)
13. T.Bowen et al Phys. Rev. Letters I3, 728 (1964)
14. D.A.Devis and T.Bowen Phys. Rev. I40, 458 (1965)
15. T.Kassan et al Nuovo Cimento 40A, 589 (1965)
16. H.Kasha et al Phys. Rev. I50, II40 (1965)
17. H.Kasha et al Phys. Rev. I54, I273 (1967)
18. K.C.Lamb et al Phys. Rev. Letters I7, I068 (1966)
19. P.Franzini et al Phys. Rev. Letters I4, I96 (1965)
20. A.Buhler-Broglin et al Nuovo Cimento 45A, 520 (1966)
21. A.Buhler-Broglin et al Nuovo Cimento 49A, 209 (1966)
22. J.C.Barton et al Phys. Letters 2I, 360 (1966)
23. R.Gomes et al Phys. Rev. Letters I8, I022 (1967)
24. H.Kasha et al Phys. Rev. Letters 20, 217 (1968)
25. R.T.F. Chen et al Phys. Rev. Letters I4, 999 (1965)
26. R. De Vries Private communication
27. А.В.Хримиц, В.В.Аввакун и др. Изв.АН.СССР, сер.Физ. 30,1648, (1966)

28. P.Franzini and S.Shulman, Phys.Rev. Letters 2I, IOI3 (1968)
29. P.Franzini et al Preprint (1965)
30. F.Ashson et al Phys. Rev. Letters 2I, 303 (1968)
31. H.Kasha & K.Stefanski Phys. Rev. Letters 20, I256 (1968)
32. B.K.Chatterjee et al Proc.Intern. Conf. on Cosmic Rays London (1965)
33. B.Dayton et al Preprint Bombay (1966)
34. A.Subramanian MURA Report No 7I8 (1966)
35. J.C.Barton Proc.Phys.Soc. 90, 87 (1967)
36. R.Gomes et al Phys.Rev.Letters I8, IO22 (1967)
37. G.Domokos & T.Fulton Phys. Letters 22, 546 (1966)
38. F.Chilton et al Phys. Letters I7, I52 (1965)
39. H.Kasha et al Preprint Coneticut, US (1969)
40. C.B.A.Mc Cusker & I.Cairns, Phys.Rev.Letters 23, 658 (1969)
41. C.B.A.Mc Cusker et al Phys. Rev. I77, I902 (1969)
42. B.K.Chatterjee et al Preprint Bombay (1968)
43. H.Frauenfelder et al Preprint Illinois, 000-II95-I73 (1968)
44. G.Gmsisen Annual Review Palo Alto, Calif. IO, 63 (1963)
45. S.K.Ghosh et al Proc.Phys.Soc. A67, 33I (1954)
46. Y.B.Fretter et al Suppl. Nuovo Cim. 4, 569 (1956)
47. L.F.Hansen & W.B.Fretter Phys. Rev. II8, 8I2 (1960)
48. K.I.Louttit Thesis, Washington Univ. (1958)
49. А.И.Алиханян Частное сообщение
50. R.I.Louttit Preprint, Washington Univ. (1960)
51. V.Bradt Hale & S.A.Rappoport Phys.Rev.
52. K.Greisen et al Preprint California (196I)
53. G.B.Mc Cusker Proc.Intern.Conf.on Cosmic Rays,Jaipure India 9, p.5I (1963)

54. G.T.Zatsepin et al Proc.Intern.Conf. on Cosmic Rays, Jaipur India 4, p.100 (1963)
55. B.K.Chatterjee et al Proc.Intern.Conf. on Cosmic Rays, Jaipur India 4, p.287 (1963)
56. G.Clark et al Proc.Intern.Conf. on Cosmic Rays, Jaipur India 4, p.65 (1963)
57. J.Nishimura & K.Kamata Prog.Theor.Phys. 5, 399 (1950)
58. J.Nishimura & K.Kamata Prog.Theor.Phys. 6, 628 (1951)
59. Г.Б.Христенко и др. Труды конференции Ташкент, 1968 I,2, 96, Москва (1969)
60. G.Cocconi et al Phys. Rev. 75, 1063 (1949)
61. B.K.Chatterjee et al Canadian J.Phys. 46, 3 130 (1968)
62. B.K.Chatterjee et al Preprint Bombay (1969)
63. Х.П.Бабаян и др. ИЭТО 45,3 (9), 419,(1963)
64. A.L.Nadson Proc. Phys. Soc. 65A, 49 (1953)
65. A.L.Nadson Proc. Phys. Soc. 66A, 65 (1963)
66. O.Piccioni & R.L.Cool Phys. Rev. 91, 433 (1953)
67. E.P.George & A.C.Jamon Proc. Phys. Soc. 63A, 1081 (1950)
68. W.E.Fretter Phys. Rev. 76, 511 (1949)
69. Э.А.Мамиджанин Диссертация Ереван,(1961)
70. В.В.Авакян и др. Труды Всесоюзной конференции по космическим лучам, Ташкент, (1968).
71. В.А.Давиденко, Б.А.Долгошеин и др. ИЭТО 55,426, (1968)
- Б.А.Долгошеин и др. Препринт