

ФИЗИКА

Н. М. Кочарян, М. Т. Айвазян, З. А. Киракосян и А. С. Алексанян

Импульсный спектр μ -мезонов на высоте 3200 метров над
 уровнем моря

(Представлено А. Л. Шагиняном 25 I 1955)

Применяя магнитный спектрометр, описание которого приводится в работе ⁽¹⁾, мы имели возможность одновременно с частицами, остановившимися в поглотителях, регистрировать также частицы, прошедшие через всю систему поглотителей. В отличие от первых, последние частицы мы будем называть „жесткой“ компонентой. Жесткая компонента в основном состоит из μ -мезонов с импульсами, большими $370 \frac{\text{MeV}}{c}$ (т. е. с кинетической энергией $E \geq 260 \text{ MeV}$) и из некоторого числа протонов (здесь мы имеем в виду состав жесткой компоненты до ее входа в систему поглотителей, т. е. в воздухе. После прохождения через поглотители состав жесткой компоненты изменяется: в потоке этих частиц появляются π -мезоны, ядерные осколки и электроны). Большая общая толщина поглотителей (около 21 радиационной единицы длины) позволяет сделать заключение, что электроны в жесткой компоненте практически отсутствуют. Относительное число протонов в жесткой компоненте не очень мало, и при определении дифференциального спектра μ -мезонов необходимо это учесть. Протоны с импульсами $p \geq 1,11 \frac{\text{BeV}}{c}$ ($E \geq 500 \text{ MeV}$) имеют ионизационные пробеги больше общей толщины поглотителей и могут выйти из них. Исходя из данных работы ⁽¹⁾, можно определить число протонов в жесткой компоненте. Так, за 267 часов наблюдений через магнитное поле установки прошло 680 протонов с импульсами $1,11 \leq p \leq 2,33 \frac{\text{BeV}}{c}$, остановившихся в поглотителях или ушедших в жесткую компоненту. Число же протонов с $p > 2,33 \frac{\text{BeV}}{c}$ можно определить исходя из найденного в работе ⁽¹⁾ степенного закона:

$$n(p) = \frac{1,46 \cdot 10^{-3}}{1,65 p^{1,65}} \quad (1)$$

для интегрального спектра. Из (1) находим, что число протонов с $p > 2,33 \frac{\text{BeV}}{c}$ равно 300.

Таким образом, число протонов с импульсами $p \geq 1,11 \frac{\text{BeV}}{c}$ равно 970. Из этого числа протонов 450 были зарегистрированы как остановившиеся в поглотителях. За это же время было зарегистрировано 19150 частиц жесткой компоненты. Следовательно, число протонов составляет $\frac{970-450}{19150} = 2,7\%$ от общего числа частиц, входящих в жесткую компоненту. Таким образом, жесткая компонента в основном состоит из μ -мезонов. Мы сравнивали относительное число протонов с $p \geq 1,1 \frac{\text{BeV}}{c}$ и μ -мезонов с $p \geq 0,37 \frac{\text{BeV}}{c}$ в жесткой компоненте. Если же сравнивать числа протонов и мезонов с импульсами, большими $p > 1,1 \frac{\text{BeV}}{c}$ в жесткой компоненте, то относительное число протонов будет больше, составляя около 8% от числа μ -мезонов.

На рис. 1 в двойном логарифмическом масштабе изображен дифференциальный импульсный спектр μ -мезонов. По оси абсцисс отложены логарифмы импульсов в $\frac{\text{BeV}}{c}$, а по оси ординат логарифмы чисел мезонов.

В табл. 1 вычислены интенсивности мезонов с импульсами, большими заданного.

Таблица 1

Интенсивность вертикального потока μ -мезонов с импульсами, большими p

p $\frac{\text{BeV}}{c}$	$10^3 n(p)$ см^{-2} сек^{-1} стер^{-1}	p $\frac{\text{BeV}}{c}$	$10^3 n(p)$ см^{-2} сек^{-1} стер^{-1}	p $\frac{\text{BeV}}{c}$	$10^3 n(p)$ см^{-2} сек^{-1} стер^{-1}
0,370	13,8	0,875	10,32	2,33	5,1
0,466	13,09	1,00	9,65	3,50	3,15
0,539	12,53	1,165	8,90	7,00	1,25
0,636	11,80	1,40	7,87		
0,777	10,90	1,75	6,67		

Росси (2) для интенсивности мезонов с ионизационными пробегами, большими 167 г/см^2 свинца (т. е. с импульсами $p > 0,305 \frac{\text{BeV}}{c}$)

Для той же высоты дает $n(0,300) = 15,2 \cdot 10^{-3}$ частиц $\text{см}^{-2}\text{сек}^{-1}\text{стерад}^{-1}$. Это значение интенсивности мезонов хорошо согласуется со значением для соответствующего импульса, приведенного в табл. 1.

Как видно из рис. 1, дифференциальный импульсный спектр μ -мезонов определен до импульса $p = 14 \frac{\text{BeV}}{c}$. В других работах (?) спектр

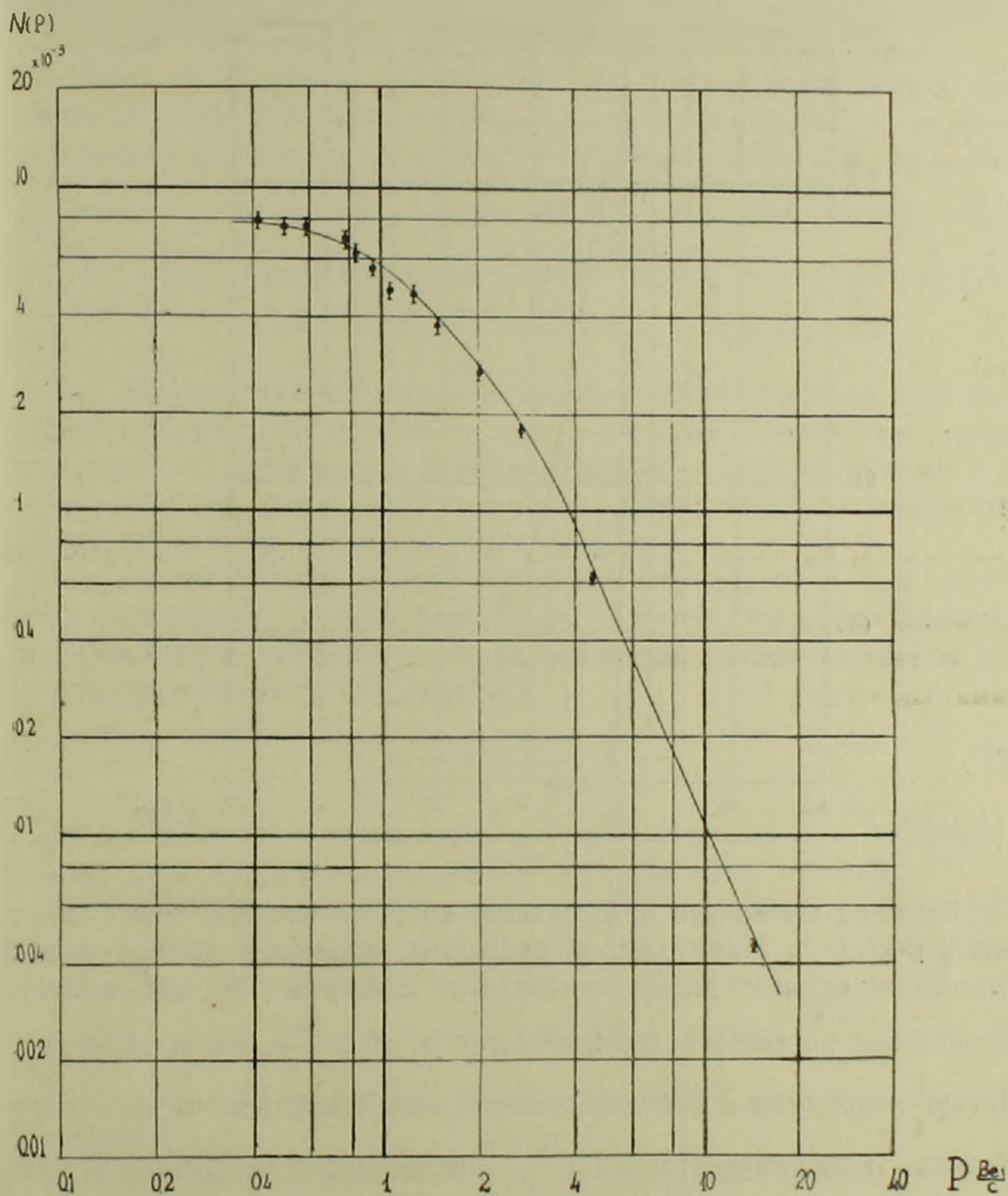


Рис. 1.

μ -мезонов на высотах гор определялся до значения импульса $p = 7 \frac{\text{BeV}}{c}$. В этой области импульсов в пределах ошибок эксперимента наши результаты совпадают с результатами, приведенными в цитированных работах.

Теперь произведем сравнение интенсивности вертикального потока протонов и μ -мезонов. Результаты этого сравнения представлены на рис. 2. Верхняя кривая на этом рисунке представляет собою отношение числа протонов и мезонов определенного импульса.

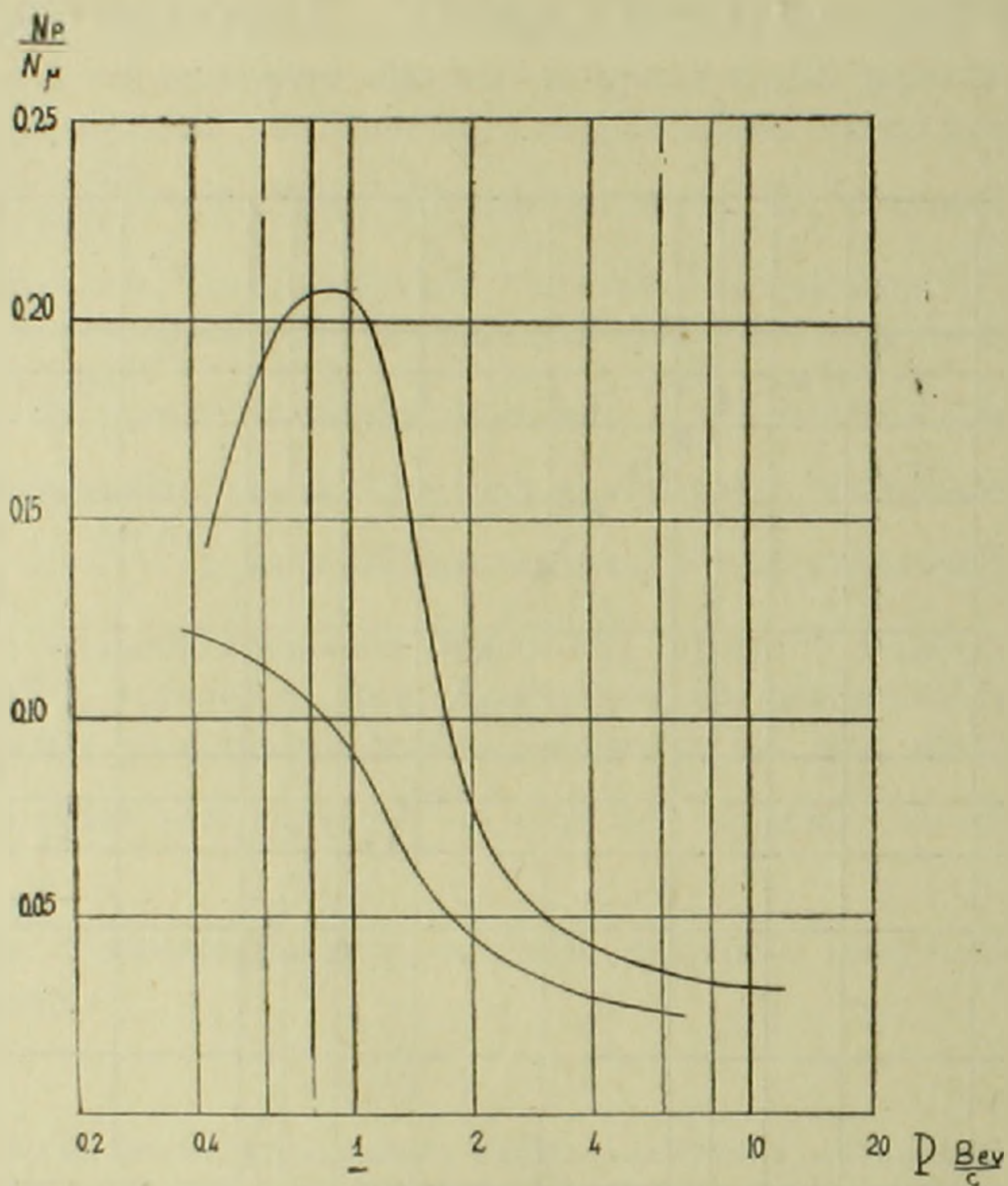


Рис. 2.

Нижняя же кривая представляет собою отношение чисел протонов и μ -мезонов с импульсами, большими указанных на оси абсцисс. Отношение ординат дифференциальных спектров с ростом импульса сначала быстро растёт. При импульсах $p \approx 0,9 \frac{\text{BeV}}{c}$ это отношение достигает максимума и при дальнейшем росте импульса частиц быстро убывает. В максимуме $\left(p \approx 0,9 \frac{\text{BeV}}{c}\right)$ число протонов составляет около 20% от числа мезонов тех же импульсов.

Отношение ординат интегральных спектров протонов и μ -мезонов с ростом импульсов частиц монотонно убывает. При $p > 0,4 \frac{\text{BeV}}{c}$ протоны составляют 12% от числа мезонов, при $p > 1,0 \frac{\text{BeV}}{c}$ — около 9%, а при $p > 8 \frac{\text{BeV}}{c}$ — 2,7%.

Уитмор и Шатт (⁴) находят, что на высоте 3400 м над уровнем моря число протонов с импульсами $p > 0,3 \frac{\text{BeV}}{c}$ составляет $(19 \pm 2)\%$ от числа μ -мезонов с теми же импульсами. Если учесть разницу в высотах и пересчитать для высоты 3200 м, то получим цифру 17%. Этот результат не согласуется с нашим, так как для тех же импульсов число протонов у нас составляет около 12% от числа μ -мезонов. Расхождение находится вне пределов экспериментальных ошибок.

Имеется еще другое, более серьезное расхождение между цитированной работой и нашей. Отношение чисел протонов и мезонов с импульсами в заданном интервале у Уитмора и Шатта с уменьшением импульса частиц вплоть до $p = 0,3 \frac{\text{BeV}}{c}$ монотонно растет, тогда как у нас кривая этого отношения имеет резкий максимум при $p = 0,9 \frac{\text{BeV}}{c}$.

Это расхождение объясняется тем, что в работе (⁴) авторы спектр протонов получили не прямым путем, а косвенным, сравнивая отношение чисел положительных и отрицательных μ -мезонов. Таким путем они получили импульсный спектр протонов, который заметно отличается от спектра, приведенного в работе (¹).

Магнитный масспектрометр позволяет определить также заряд частиц, входящих в жесткую компоненту. Поэтому мы имеем возможность определить зависимость отношения чисел положительных и отрицательных мезонов от их импульса

$$k(p) = \frac{N^+(p)}{N^-(p)}, \quad (2)$$

где $N^+(p)$ и $N^-(p)$ — соответственно ординаты кривых дифференциальных спектров положительных и отрицательных мезонов.

На рис. 3 приводится функция $k(p)$. По оси абсцисс отложены логарифмы импульсов, а по оси ординат отношение чисел положительных и отрицательных мезонов заданного импульса. Из этого рисунка видно, что в области малых импульсов $p \approx 0,2 \frac{\text{BeV}}{c}$ числа мезонов обоих знаков равны [эта точка на кривой 3 получена из данных работы (⁵)].

С возрастанием импульса отношение $k(p)$ растет, причем вначале, до значения $p \approx 1 \frac{\text{BeV}}{c}$, происходит относительно быстрый рост, затем этот рост замедляется и, повидимому, при очень больших импульсах отношение $k(p)$ начинает убывать.

Причина положительного избытка, как уже отмечалось в литературе, тесно связана с природой первичных частиц космического излучения. Действительно, исходя из известных спектров рождения

μ -мезонов на разных глубинах в воздухе (^{6, 7}). нетрудно показать, что мезоны с $p \approx 200 \frac{\text{MeV}}{c}$ в среднем рождаются на глубине 400 г/см^2 , причем 50% от их числа рождается на глубине от 400 до 700 г/см^2 , то есть недалеко от места наблюдения. На этих глубинах числа протонов и нейтронов, способных родить быстрые мезоны, приблизительно равны, и поэтому в среднем рождаются одинаковые числа μ -мезонов обоих знаков. При импульсах же $1000 \frac{\text{MeV}}{c}$ мезоны рождаются в среднем на глубине 260 г/см^2 , причем около 25% от их общего числа рождается на глубине от нуля до 100 г/см^2 , где число протонов значительно превосходит число нейтронов. Поэтому в этой части спектра μ -мезонов может наблюдаться положительный избыток.

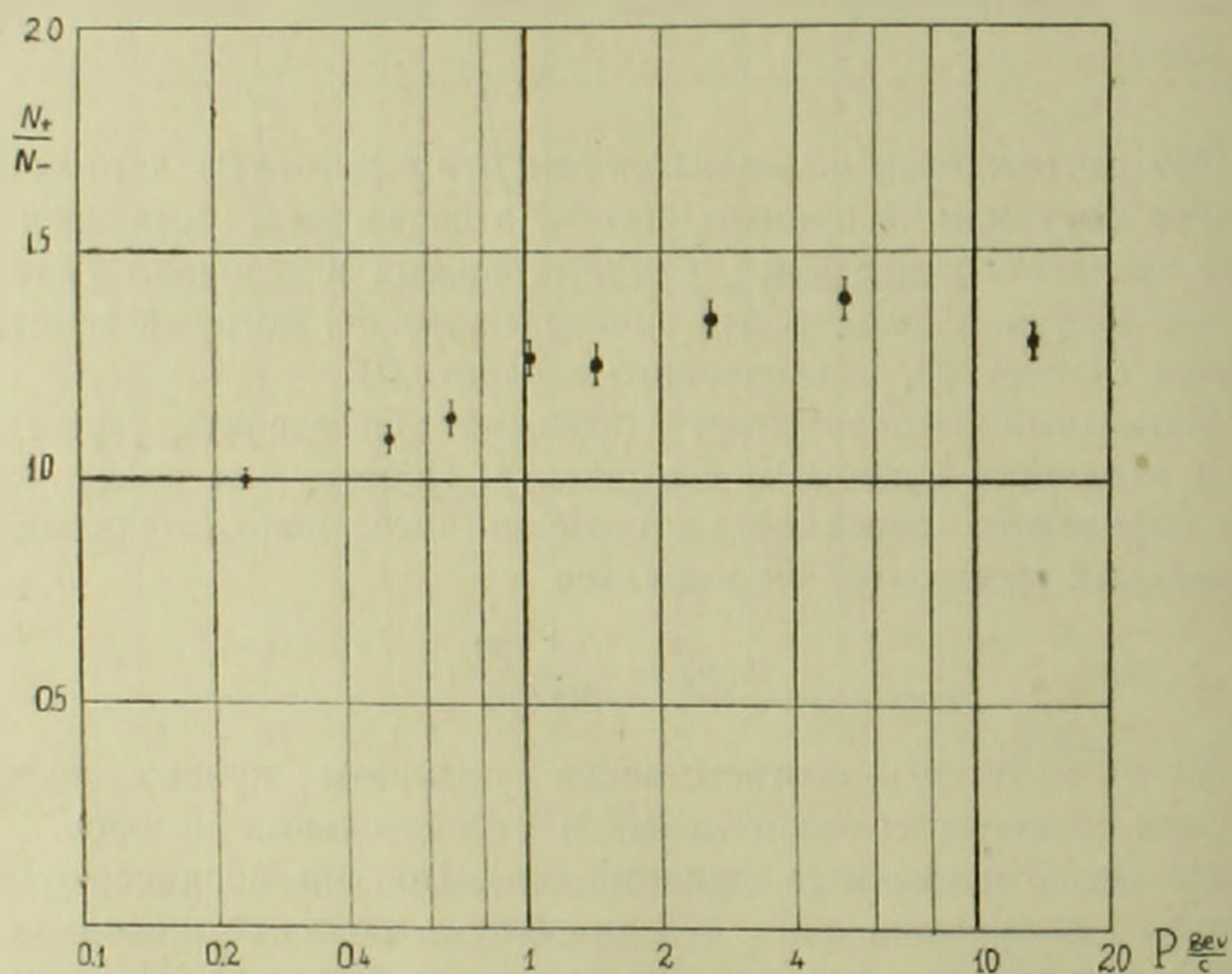


Рис. 3.

Сравнение наших данных о положительном избытке с данными других авторов, производивших свои наблюдения на уровне моря (^{8, 9}), повидимому, показывает, что величина $k(p)$ на уровне моря меньше, чем на высоте Арагаца (700 г/см^2). Это обстоятельство находит свое объяснение в том, что мезоны на уровне моря рождаются в среднем на большей глубине в атмосфере, чем мезоны, наблюдаемые на высотах гор.

Как видно из рис. 3, при $p = 14 \frac{\text{BeV}}{c}$ отношение чисел положительных и отрицательных мезонов равно $1,30 \pm 0,04$. Понятно, что эти мезоны образовались за счет нуклонов с энергией, значительно превышающей $14 \frac{\text{BeV}}{c}$. Как известно, при таких энергиях имеет место

множественное образование мезонов (¹⁰, ¹¹). Однако при множественном образовании частиц мезоны обоих знаков родились бы почти в одинаковом количестве и $k(p) = 1$. Отсюда, конечно, не следует, что наш эксперимент отвергает механизмы множественного образования мезонов. Большое значение $k(p)$ качественно можно объяснить, если допустить, что основная часть μ -мезонов с $E = 14 \frac{\text{BeV}}{c}$ образовалась в ядерных столкновениях, при которых число

рожденных вторичных частиц было сравнительно мало. Что касается тех μ -мезонов, которые являются продуктами от ядерных столкновений с большим числом вторичных частиц, то основная часть их является малоэнергичными, поэтому распадается в верхних слоях атмосферы и не доходит до нас.

Авторы выражают свою благодарность А. И. Алиханяну за предоставление возможности для выполнения настоящих измерений.

Институт физики
Академии наук Армянской ССР

Ն. Մ. ՔՈՉԱՐՅԱՆ, Մ. Տ. ՍՅՎԱԶՅԱՆ, Զ. Ա. ԿԻՐԱՎՈՍՅԱՆ ԵՎ Զ. Ս. ԱԼԵՔՍԱՆՅԱՆ

μ -մեզոնների իմպուլսային սպեկտրը 3200 մ բարձրության վրա

Կիրառելով զգալիորեն կատարելագործված մադնիսական սպեկտրոմետր 3200 մ բարձրության վրա չափվել է μ -մեզոնների սպեկտրը: Նկ. 1 վրա բերված է սպեկտրի աճսրը, Գիտենայով նաև սլրոտոնների հոսքը նույն բարձրության վրա⁽¹⁾ Նկ. 2 վրա բերվում է սլրոտոնների և մեզոնների թվերի հարաբերությունը տարբեր իմպուլսների համար:

Ուսումնասիրված է դրական և բացասական μ -մեզոնների հարաբերությունը որպես ֆունկցիա նրանց իմպուլսի: Քննարկվում են ստացած արդյունքները և մասնավորապես բացատրություն է տրվում այն մեծ դրական ափելցուկի, որ դիտվում է մեզոնների մեծ իմպուլսների տիրույթում:

ЛИТЕРАТУРА — ԿՐԱՎԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

- ¹ Н. М. Кочарян, ЖЭТФ, в печати. ² В. Росси, Rev. Mod. Phys., 20, 537, 1948.
- ³ Вильсон и др., Физика космических лучей, И. Л., 1954. ⁴ В. Л. Уитмор, и Р. П. Шатт, Phys. Rev., 86, 940, 1952. ⁵ Кочарян, Айвазян, Киракосян, Кайтмазов, ЖЭТФ, 25, 364, 1953. ⁶ Г. М. Гарибян и И. И. Гольдман, ЖЭТФ, 26, 257, 1954.
- ⁷ М. Сандс, Phys. Rev., 77, 180, 1950. ⁸ Б. Оуэн и Дж. Вильсон, Proc. Phys. Soc., 64A, 417, 1951. ⁹ Д. Е. Каро, Дж. К. Парри и Н. Д. Ратгебер, Nature, Lond., 165, 688, 1950. ¹⁰ Е. Ферми, Progr. Theor. Phys., 5, 570, 1950. ¹¹ Л. Д. Ландау, Изв. АН СССР, серия физическая, 17, 51, 1953.