

1-12  
328

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Лаборатория ядерных проблем

P - 328

Ж.В. Лаберриг, М.П. Баладин, С.З. Отвиновский

О ПОГЛОЩЕНИИ  $\pi^+$ -МЕЗОНОВ  
С ЭНЕРГИЕЙ ОКОЛО 50 МЭВ  
ЯДРАМИ УГЛЕРОДА

*ЖЭТФ, 1959, т. 37, в. 3, с. 634-638.*

Дубна, 1959 год

P - 328

Ж.В. Лаберриг, М.П. Баландия, С.Э. Отвиновский

О ПОГЛОЩЕНИИ  $p^+$ -МЕЗОНОВ  
С ЭНЕРГИЕЙ ОКОЛО 50 МЭВ  
ЯДРАМИ УГЛЕРОДА

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ  
БИБЛИОТЕКА

### А н н о т а ц и я

С помощью пропановой пузырьковой камеры были исследованы звезды, возникающие при поглощении  $\pi^+$ -мезонов с энергией  $50 \pm 20$  Мэв ядрами углерода. Сечение образования таких звезд оказалось равным  $145 \pm 86$  мб. Получено распределение звезд в зависимости от числа лучей, которое характеризуется средним числом лучей  $2,8 \pm 0,3$ . Наблюдается значительная анизотропия углового распределения лучей относительно направления движения  $\pi^+$ -мезона. Основным источником этой анизотропии является, по-видимому, предшествующее поглощению рассеяние  $\pi^+$ -мезонов на отдельных нуклонах внутри ядра. Приводится распределение двухлучевых звезд в зависимости от угла между лучами.

Во время просмотра фотографий, полученных в работе <sup>/1/</sup> при изучении  $\pi^+ - \mu^+ - e^+$  распада с помощью пропановой пузырьковой камеры <sup>/2/</sup> диаметром 8 см и глубиной 7 см, было найдено значительное число звезд от взаимодействия  $\pi^+$ -мезонов малой энергии с ядрами углерода.

Неупругое взаимодействие  $\pi^+$ -мезонов со сложными ядрами изучалось с помощью сцинтилляционных счетчиков, фотозмульсий и камер Вильсона. Исследования, которые были проведены с помощью сцинтилляционных счетчиков <sup>/3,4,5/</sup>, заключались в измерении ослабления интенсивности пучка  $\pi^+$ -мезонов и не позволяли отличить поглощения  $\pi^+$ -мезонов от других неупругих процессов. В работах <sup>/6,7,8/</sup>, выполненных методом фотопластинок, не представлялось возможным идентифицировать ядра, с которыми произошло взаимодействие. Наконец, работы <sup>/9,10/</sup>, которые были проведены с помощью камер Вильсона, ограничивались исследованием только энергичных лучей звезд /например, в работе <sup>/10/</sup> рассматривались лучи, принадлежащие протонам с энергией 40 Мэв/, поскольку мишень углерода, по необходимости относительно толстая, поглощала заряженные частицы малой энергии. В этих условиях, естественно, фотография события являлась далеко не полной.

Несмотря на такое большое количество работ, представляет интерес исследование неупругого взаимодействия  $\pi^+$ -мезонов со сложными ядрами с применением пузырьковой камеры, так как это позволяет получить дополнительные сведения по данному вопросу вследствие некоторых особенностей этой методики. Так, например, используя пузырьковую камеру при решении подобных задач, представляется возможным одновременно идентифицировать ядро, с которым произошло взаимодействие, отличить поглощение  $\pi^+$ -мезонов от других неупругих процессов и получить более полную, чем в камерах Вильсона, фотографию события, так как удается обнаружить протоны с энергией  $\geq 3$  Мэв, что соответствует длине луча  $\geq 0,5$  мм.

В связи с выше сказанным нам кажется интересным, пользуясь пропановой пузырьковой камерой, исследовать характер звезд, возникающих при поглощении  $\pi^+$ -мезонов малой энергии ядрами углерода. Этот вопрос рассматривался ранее в работе <sup>/11/</sup>, выполненной также с помощью пропановой пузырьковой камеры, но при энергии  $\pi^+$ -мезонов 250-270 Мэв. Так как в нашем случае энергия  $\pi^+$ -мезонов была существенно меньше 250 Мэв,

как с поглощением так и без поглощения  $\pi^+$ -мезона. Считались явно образующимися без поглощения  $\pi^+$ -мезона те звезды, один из лучей которых имел вид, характерный для  $\pi^+ \rightarrow \mu^+ + \nu^+$  распада. Для того, чтобы решить, в которых из оставшихся звезд имеет место поглощение  $\pi^+$ -мезона, определялась длина каждого луча и наиболее длинный луч приписывался  $\pi^+$ -мезону, а остальные - протонам. Если плотность пузырьков следа, приписываемого  $\pi^+$ -мезону, заметно не возрастала к концу, то к его длине прибавлялось 1 - 1,5 см, которые заведомо прошел бы  $\pi^+$ -мезон до полной остановки. Затем находилась энергия всех частиц звезды в предположении, что каждая из них останавливается в камере. Принималось, что образование звезды происходит с поглощением  $\pi^+$ -мезона, если энергия всех частиц в сумме с энергией связи исходного ядра углерода оказывалась больше энергии связи остаточного ядра с добавлением 70 Мэв. При этом из всех возможных остаточных ядер выбиралось такое, энергия связи которого была ближе всего к энергии связи исходного ядра углерода. В том случае, когда это условие не выполнялось, но все частицы звезды останавливались в камере, или когда все лучи, не оканчивающиеся в камере, имели сильное почернение на достаточно большой длине, так что ни один из них не мог быть следом  $\pi^+$ -мезона, мы считали, что имеем дело также с процессом поглощения  $\pi^+$ -мезона, хотя, в действительности, некоторые из таких звезд могли быть образованы при перезарядке  $\pi^+$ -мезона на ядре углерода. Этот метод отбора оправдывался тем, что при таких энергиях  $\pi^+$ -мезона как 50 Мэв, верхняя граница сечения перезарядки составляет всего лишь несколько процентов от сечения поглощения  $^{13}\text{C}$ , так что повлиять это существенно на характер результатов никак не может. Все остальные звезды, не удовлетворяющие ни одному из перечисленных выше условий, были отнесены нами в группу "сомнительных". Типичные фотографии звезд, образующихся с поглощением  $\pi^+$ -мезона, приведены на рис. 1 и рис. 2.

Всего было просмотрено 2360 стереофотографий и обнаружено 180 звезд, удовлетворяющих условиям поглощения  $\pi^+$ -мезона ядром углерода. Из этих 180 звезд 8 звезд были с неопределенным числом лучей. Кроме того было найдено 65 звезд, которые по условиям нашего отбора следует считать "сомнительными".

Считая, что половина "сомнительных" звезд образуется с поглощением  $\pi^+$ -мезона ядрами углерода и учитывая примесь  $\mu^+$ -мезонов в пучке  $\pi^+$ -мезонов, найденную из кривой поглощения  $\pi^+$ -мезонов в меди, было получено сечение поглощения  $\pi^+$ -мезонов с энергией  $50 \pm 20$  Мэв ядрами углерода, которое оказалось равным  $145 \pm 36$  мб.

Распределение звезд, образованных  $\pi^+$ -мезонами при поглощении их ядрами углерода, в зависимости от числа лучей представлено на рис. 3 сплошной линией. При построении этого распределения учитывались только те лучи, длина которых была не меньше 0,5 мм, и предполагалось, что половина "сомнительных" звезд образуется с поглощением  $\pi^+$ -мезона ядром углерода. Экспериментальные точки на рис. 3 указаны с ошибками, при вычислении которых учитывалась статистика и наличие "сомнительных" звезд, которые являются основным источником ошибок для одно- и двухлучевых звезд. На том же рисунке пунктирная линия представляет аналогичное распределение, полученное в работе <sup>11/</sup> для 115 звезд, образованных  $\pi^+$ -мезонами с энергией 250-270 Мэв при поглощении их ядрами углерода. Приведенные на рис. 3 распределения звезд в зависимости от числа лучей оказываются одинаковыми в пределах экспериментальных ошибок, что указывает, по-видимому, на отсутствие сильной зависимости подобных распределений от энергии падающих  $\pi^+$ -мезонов. Отметим еще, что полученное распределение звезд в зависимости от числа лучей характеризуется средним числом лучей, равным  $2,6 \pm 0,3$ . При вычислении ошибки в среднем числе лучей учитывалась статистика и наличие "сомнительных" звезд.

Для 172 звезд, образованных  $\pi^+$ -мезонами при поглощении их ядрами углерода, было построено распределение лучей в зависимости от величины угла  $\vartheta$ , являющегося проекцией угла между направлением движения  $\pi^+$ -мезона и лучом на плоскость, перпендикулярную к оптическим осям стереофотоаппарата. Из этого распределения, представленного на рис.4, видно, что наблюдается сильная анизотропия лучей относительно направления движения  $\pi^+$ -мезона. В самом деле, число лучей  $N_B$ , идущих в переднюю полу-сферу относительно направления движения  $\pi^+$ -мезона, в 1,81 раза больше, чем число лучей  $N_H$ , идущих в заднюю полу-сферу. Если же характеризовать степень наблюдаемой анизотропии отношением  $\frac{N_B - N_H}{N_B + N_H}$ , то ее величина



оказывается равной  $0,29 \pm 0,05$ . При вычислении ошибки в величине анизотропии учитывалась статистика и наличие "сомнительных" звезд. Для того, чтобы проследить, как изменяется анизотропия в зависимости от числа лучей в звездах, была вычислена величина отношения  $\frac{N_B - N_H}{N_B + N_H}$  для звезд с различным числом лучей. Полученные данные сведены в таблицу 1. Из этой таблицы видно, что наблюдается некоторая тенденция увеличения анизотропии с уменьшением числа лучей в звездах,

Наблюденная анизотропия не может быть связана с кинематикой процесса поглощения  $\pi^+$ -мезона парой нуклонов. В этом нетрудно убедиться, если привлечь к рассмотрению кинематические соотношения или воспользоваться опытными данными относительно распределения двухлучевых звезд в зависимости от величины угла  $\alpha$  между двумя лучами. Из этого распределения, представленного на рис. 5, можно видеть, что существует значительная группа звезд в интервале угла  $\alpha$   $120^\circ - 180^\circ$ , которая, по-видимому, соответствует хорошо известному процессу поглощения  $\pi^+$ -мезона парой нуклонов. Распределение протонов этой группы в зависимости от величины угла  $\vartheta$ , как и следовало ожидать из кинематических соотношений, оказалось изотропным, что подтверждает сделанный ранее вывод о невозможности объяснить наблюдаемую анизотропию кинематикой процесса поглощения  $\pi^+$ -мезона парой нуклонов.

Разумно предположить, что главными источниками анизотропии является квазиупругое рассеяние  $\pi^+$ -мезонов на протонах и обменное рассеяние их на нейтронах внутри ядра, так как в этих процессах протоны могут испускаться только в переднюю полусферу относительно направления движения  $\pi^+$ -мезона. При этом предположении, наряду со звездами, образующимися с поглощением  $\pi^+$ -мезона без предварительного рассеяния его на нуклонах внутри ядра, должна существовать, как показывает анализ данных, значительная группа звезд, когда  $\pi^+$ -мезон испытывает квазиупругое или обменное рассеяние на отдельных нуклонах внутри ядра и затем поглощается. Конечно, картина образования звезд, происходящих с поглощением  $\pi^+$ -мезона в две стадии, является крайне схематичной, так как разделение по времени этих двух процессов внутри ядра довольно произвольно.

Если учесть величины сечений процессов  $\pi^+ + p \rightarrow \pi^+ + p$ ,  $\pi^+ + n \rightarrow \pi^0 + p$ ,  $\pi^+ + n \rightarrow \pi^+ + n$  и процессов  $\pi^- + n \rightarrow \pi^- + n$ ,

$\pi^- + p \rightarrow \pi^0 + n$ ,  $\pi^- + p \rightarrow \pi^- + p$ , то на основании представлений, изложенных выше, можно прийти к заключению о том, что в звездах, образующихся с поглощением  $\pi^-$ -мезона, степень анизотропии  $\frac{N_B - N_H}{N_B + N_H}$  должна быть значительно меньше, чем наблюдаемая в настоящей работе.

В заключение мы рады поблагодарить Б.М.Понтекорво за постоянные советы и интерес к работе. Мы благодарны также В.А.Моисеевко, В.Трифонову и Е.Юровой, сделавшим ряд измерений. Один из авторов статьи, Ж.В.Лабриг, желает выразить большую благодарность проф. Д.И.Блохинцеву и проф. В.П.Джелезову за хороший прием в Объединенном институте ядерных исследований.

Т а б л и ц а 1

Величина анизотропии  $\frac{N_B - N_H}{N_B + N_H}$  для звезд с различным числом лучей.

$N_B$  - число лучей, идущих в переднюю полусферу относительно направления движения  $\pi^+$ -мезона.

$N_H$  - число лучей, идущих в заднюю полусферу относительно направления движения  $\pi^+$ -мезона.

Число лучей в звездах	1	2	3	4	5
$\frac{N_B - N_H}{N_B + N_H}$	1,00 $\begin{matrix} +0,29 \\ -0,56 \end{matrix}$	0,36 $\begin{matrix} +0,09 \\ -0,1 \end{matrix}$	0,36 $\pm 0,08$	0,18 $\pm 0,09$	0,20 $\pm 0,16$

Работа поступила в издательский отдел 2 апреля 1958г.



Л и т е р а т у р а

1. М.П.Баландия, В.А.Моисеевко, А.И.Мухив, С.З.Отвиновский, ЖЭТФ /в печати/
2. М.П.Баландия, В.А.Моисеевко. Тезисы докладов на Всесоюзной конференции по физике частиц высоких энергий, Москва, 1958 г.
3. D.H. Stork, Phys. Rev. 93, 868, 1954.
4. P.J. Isaacs, A.M. Sachs, J. Steinberger, Phys.Rev. 85, 803, 1952.
5. А.Е.Игнатьенко, А.И.Мухив, Е.В.Озеров, Б.М.Понтекорво, ЖЭТФ, 31, 545, 1958.
6. G. Bernardini, F. Levy, Phys.Rev. 84, 610, 1951.
7. B. Rankin, H. Bradner, Phys.Rev. 87, 553, 1952.
8. M. Blan, A.R. Oliver, J.E. Smith, Phys.Rev. 91, 949, 1953.
9. A. Shapiro, Phys.Rev. 84, 1063, 1951.
10. H. Byfield, J. Kessler, L.M. Lederman, Phys. Rev. 86, 17, 1952.
11. Ван Ган-чан, Ван Цун-цзэн, Дин Да-пао, Л.Н.Дубровский, Е.Н.Кладницкая, М.И.Соловьев, ЖЭТФ, 35, 898, 1968.
12. А.Т.Василенко, М.С.Козодаев, Р.М.Сульяев, А.И.Филиппов, Ю.А.Шербаков, ПТЭ, 6, 34, 1957.
13. R. Wilson, J.P. Perry, Phys.Rev. 84, 163, 1951.

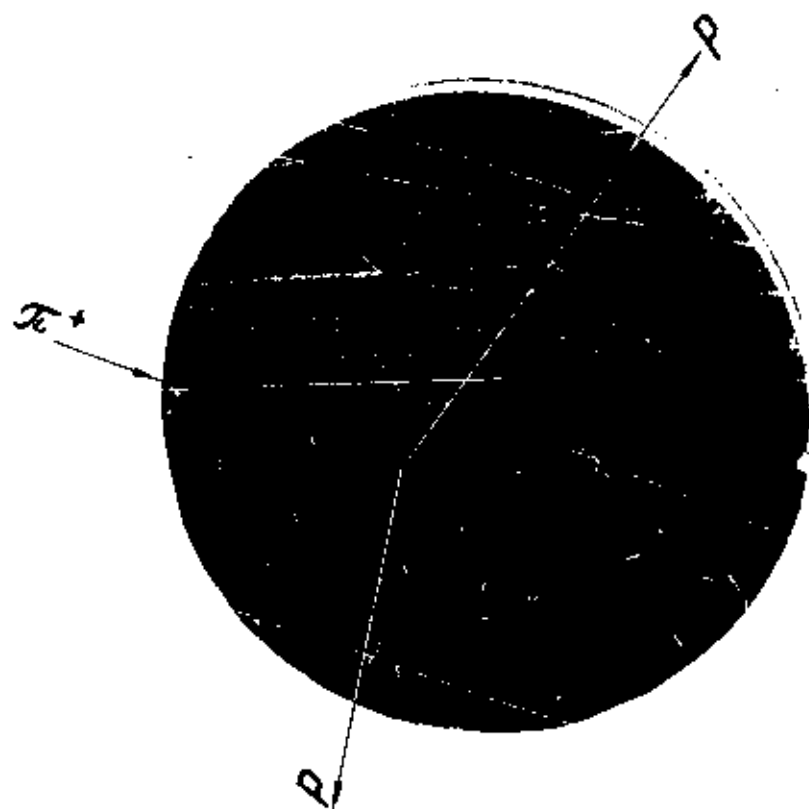


Рис. 1. Двухлучевая звезда образующаяся при поглощении  $\pi^+$ -мезона ядром углерода.

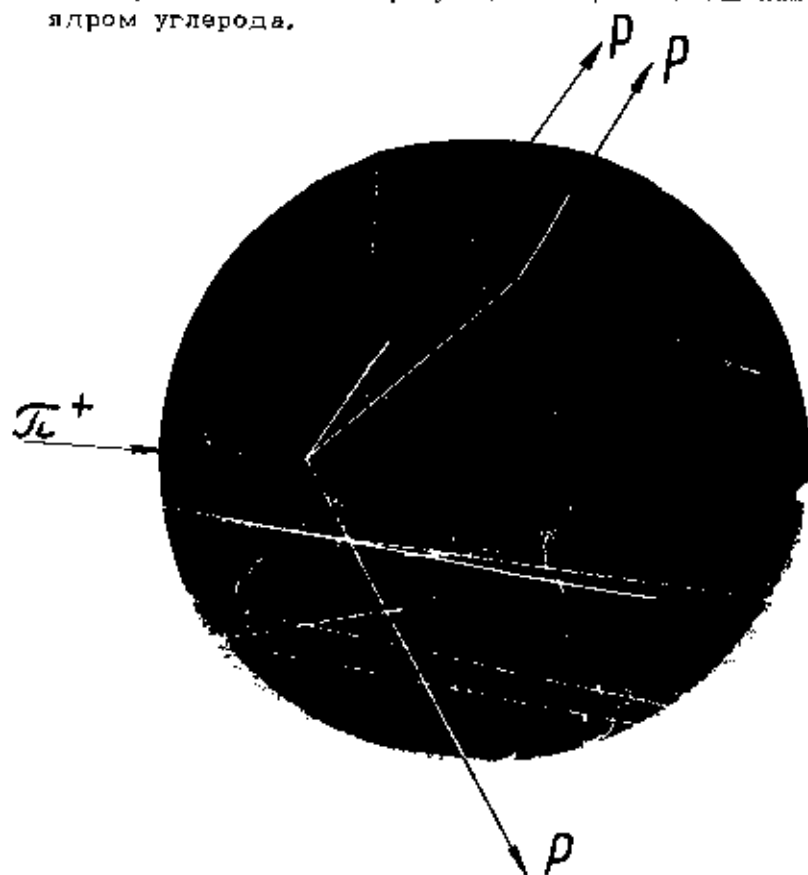


Рис. 2. Трехлучевая звезда образующаяся при поглощении  $\pi^+$ -мезона ядром углерода.

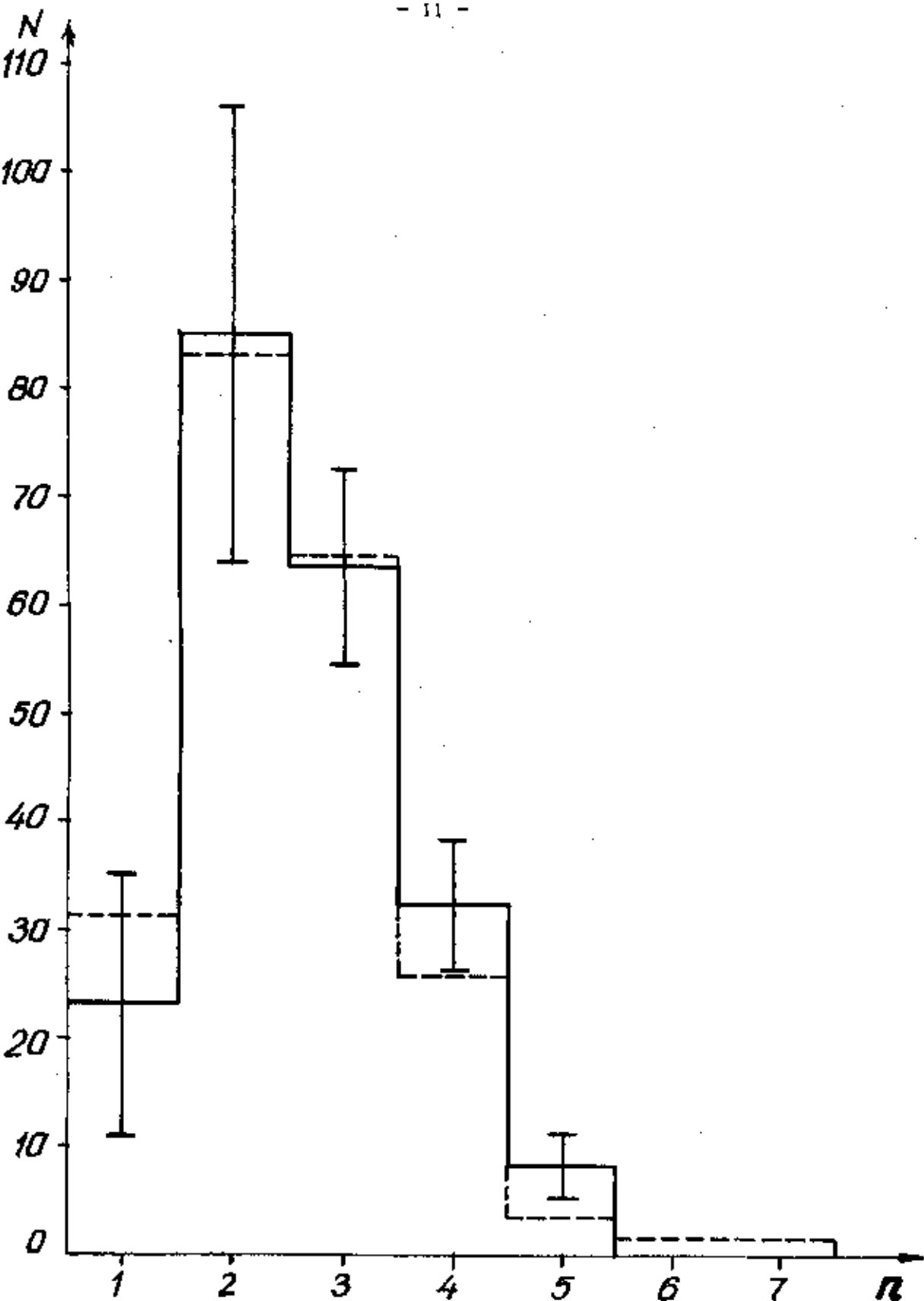


Рис. 8. Распределение звезд в зависимости от числа лучей.  $N$  - число звезд,  $n$  - число лучей в звездах. Сплошная линия - результаты настоящей работы. При вычислении ошибок учитывалась статистика и наличие "сомнительных" звезд. Пунктирная линия - данные, полученные в работе [11] для 115 звезд, возникающих при поглощении  $\pi^+$ -мезонов с энергией  $250 \pm 270$  Мэв ядрами углерода.

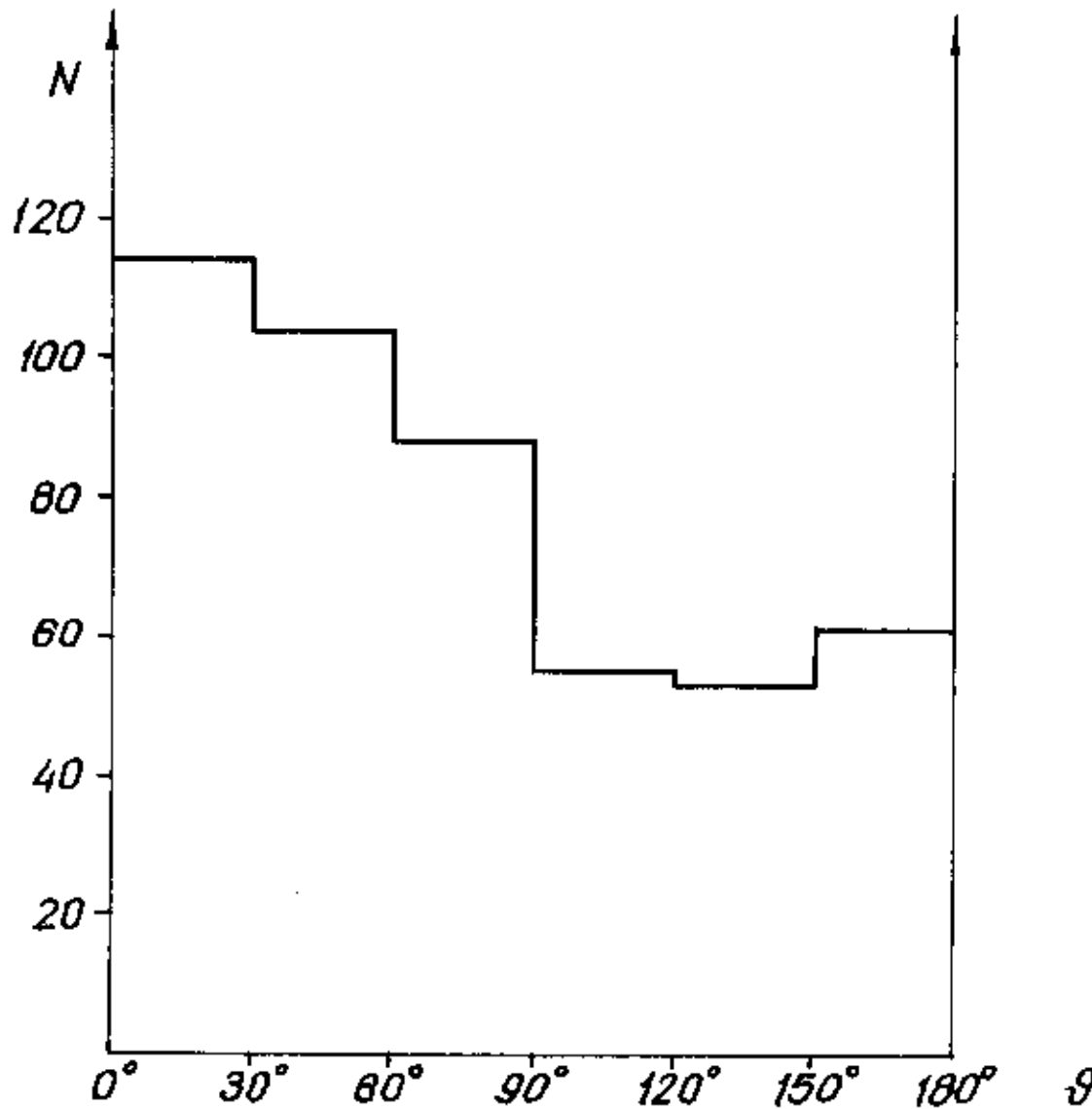


Рис. 4. Угловое распределение лучей относительно направления движения  $\pi^+$ -мезона.  
 $\vartheta$  - проекция угла между направлением движения  $\pi^+$ -мезона и лучом на плоскость, перпендикулярную к оптическим осям стереофотоаппарата,  $N$  - число лучей в интервале угла  $\vartheta$  равном  $30^\circ$ .

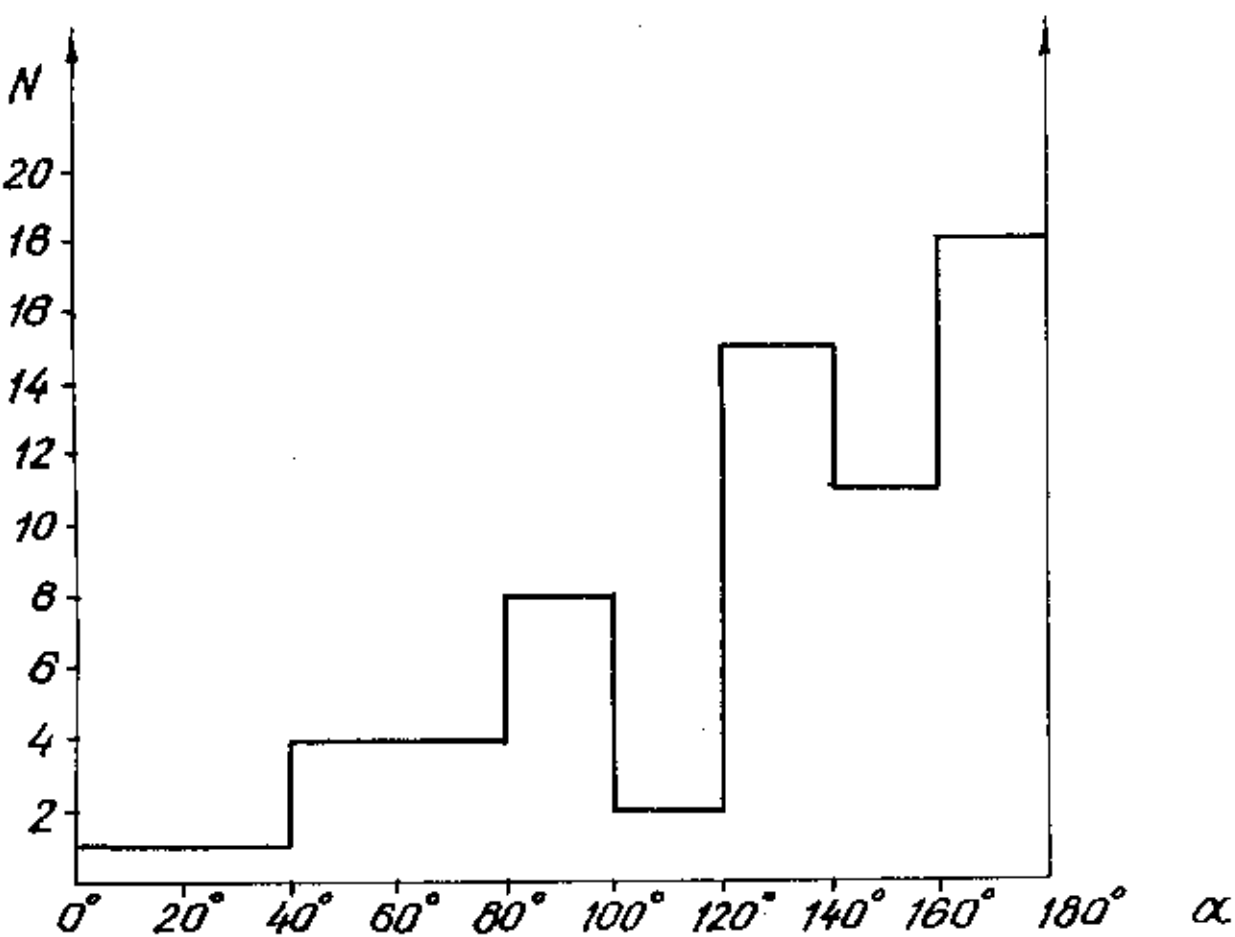


Рис. 5. Распределение двухлучевых звезд в зависимости от угла между двумя лучами.

$\alpha$  - угол между двумя лучами,  $N$  - число двухлучевых звезд в интервале угла  $\alpha$ , равном  $20^\circ$ .