

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Лаборатория ядерных проблем

P-342

Н.И.Петров, В.Г.Иванов, В.А.Русаков

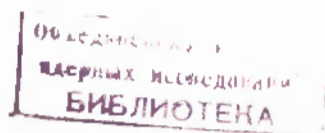
НЕУПРУГОЕ РАССЕЯНИЕ И ПОГЛОЩЕНИЕ
 π^+ -МЕЗОНОВ С ЭНЕРГИЕЙ 195 ± 15 МЭВ
ЯДРАМИ УГЛЕРОДА И ЛИТИЯ

*неЭТФ, 1959, т37, №4,
стр. 957-965*

Дубна 1959 год

Н.И.Петров, В.Г.Иванов, В.А.Русаков

НЕУПРУГОЕ РАССЕЯНИЕ И ПОГЛОЩЕНИЕ
 π^+ -МЕЗОНОВ С ЭНЕРГИЕЙ 105 ± 15 МЭВ
ЯДРАМИ УГЛЕРОДА И ЛИТИЯ



А н н о т а ц и я

Методом камеры Вильсона в магнитном поле исследовано неупругое рассеяние и поглощение Π -мезонов с энергией 195 ± 15 Мэв ядрами углерода и лития. Определены полные и дифференциальные сечения неупругого рассеяния, а также полные сечения всех процессов неупругого взаимодействия. Произведено сопоставление полученных экспериментальных данных с результатами расчета каскада в ядре углерода и показано, что неупругое рассеяние мезонов удовлетворительно описывается на основе гипотезы о парных соударениях. Установлено, что в акте поглощения Π -мезона с энергией 195 ± 15 Мэв принимают участие преимущественно только два ядерных нуклона; при этом вероятность захвата мезонов n, p -парами в 2-3 раза больше, чем вероятность захвата парами одинаковых нуклонов.

Экспериментальные данные, относящиеся к неупругому рассеянию Π -мезонов сложными ядрами, находятся в удовлетворительном соответствии с моделью парного взаимодействия, развитой в работах Сербера и Гольдбергера^{/1,2/}. Особый интерес с точки зрения проверки этой модели представляет наблюдение первичных актов взаимодействия, когда участвующие в нем частицы вылетают из ядра без последующих соударений. Однако вследствие того, что большинство имеющихся опытов выполнено с отрицательными частицами и тяжелыми ядрами, накопленный материал по указанным актам взаимодействия очень мал.

В настоящей работе с положительными Π -мезонами благодаря использованию в качестве мишеней легких ядер углерода и лития акты первичного взаимодействия наблюдались с заметной вероятностью, что позволило определить для них относительные сечения и угловые распределения. Кроме того, наблюдение актов захвата, в которых образующиеся быстрые нуклоны вылетают из ядра без соударений, дало также возможность установить картину процесса поглощения быстрых Π -мезонов легкими ядрами. Экспериментальные данные получены на синхроциклотроне Объединенного института ядерных исследований при облучении камеры Вильсона с установленными в ней пластинками из углерода и лития Π -мезонами с энергией 195 ± 15 Мэв.

Постановка опытов описана нами в отдельном сообщении^{/3/}, в котором изложены данные по упругому рассеянию Π -мезонов ядрами углерода и лития.

С целью сопоставления полученных экспериментальных результатов с предсказаниями гипотезы о парных взаимодействиях нами был выполнен расчет^{x/} каскада в ядре углерода.

В этом расчете ядро углерода рассматривалось как вырожденный Ферми-газ нуклонов с максимальной кинетической энергией $E=25$ Мэв, заключенный в прямоугольную потенциальную яму радиуса $3,2 \cdot 10^{-13}$ см; глубина ямы равнялась 34 Мэв. Предполагалось, что при попадании в ядро Π -мезон испытывает упругие соударения с отдельными ядерными нуклонами;

^{x/} Расчет каскада в ядре выполнен Ю.А.Будаговым, В.Г.Ивановым и Н.И.Петровым.

сечения соударений принимались равными сечениям рассеяния мезонов на свободных нуклонах. Поглощение Π -мезонов учитывалось на основе квазидейтронной модели, при этом впервые использовалась экспериментально установленная энергетическая зависимость сечения поглощения Π -мезонов свободными дейтронами для энергий от 0 до 300 Мэв. Коэффициент пропорциональности Γ , связывающий сечения поглощения мезонов n, p -парам ядерных нуклонов и свободными дейтронами, выбирался таким образом, чтобы расчетное сечение неупругого рассеяния равнялось экспериментально наблюдаемому сечению. Это значение коэффициента равнялось $\Gamma = 5$. Угловое распределение нуклонов, образующихся при захвате Π -мезонов в системе центра масс, задавалось в виде $\frac{d\sigma}{d\omega} = 0,388 + \cos^2\theta$. Оно было установлено^{/4/} для поглощения Π -мезонов с энергией 114 Мэв свободными дейтронами и, как показано в работе^{/5/}, практически не изменяется в интервале энергий мезонов от 100 до 230 Мэв. Начальная энергия Π -мезонов при расчете каскада была взята равной 230 Мэв применительно к данным нашей работы^{/6/} с отрицательными Π -мезонами^{x/}. Расчет содержит 560 отдельных испытаний.

Результаты опыта

При облучении камеры в пучке Π -мезонов было зарегистрировано 693 акта неупругого взаимодействия на углероде и 508 актов - на литии.

Измеренные полные сечения^{xx/} приведены в таблице 1.

x/ Хотя расчетные данные относятся к начальной энергии мезонов 230 Мэв, большинство из них справедливо и для начальной энергии 195 Мэв. В случаях, когда это необходимо, расчетные данные приведены к начальной энергии 195 Мэв.

xx/ Как указывалось уже в нашем сообщении^{/3/}, при определении абсолютных величин сечений, полные сечения неупругого взаимодействия нормировались на геометрическое сечение ядер для $R = 1,4A^{1/3} \cdot 10^{-13}$ см.

Т а б л и ц а 1

Ядро	Знак π -ме- зона	Энергия в Мэв	Полные сечения в ед. 10^{-27} см^2		
			Неупругое рассеяние	Звезды и остановки	Все неупругие процессы
C	+	195	122 \pm 13	203 \pm 22	325 \pm 26
Li	+	195	62 \pm 9	164 \pm 16	226 \pm 18

Данные по неупругому рассеянию относятся к угловому интервалу $10^\circ - 180^\circ$. Ошибки измерений включают только статистические отклонения и ошибки разделения упругого и неупругого рассеяния.

А. Неупругое рассеяние

На рис. 1 и 2 приведены экспериментальные угловые распределения неупругого рассеяния для обоих ядер, а также расчетное распределение для ядер углерода и угловое распределение упругого рассеяния π -мезонов с энергией 200 Мэв на свободных протонах /7/; при этом последние два распределения пронормированы на полное сечение неупругого рассеяния π -мезонов на ядре углерода. Сравнивая эти рисунки, мы видим, что при переходе от свободных нуклонов к связанным, происходит определенная деформация углового распределения, заключающаяся в увеличении сечения рассеяния в заднем направлении. Характер этой деформации правильно описывается расчетным распределением и может быть понят из следующего качественного рассмотрения. Из-за малости пробега в ядерном веществе падающие π -мезоны первое взаимодействие испытывают в поверхностном слое ядра. Благодаря этому средняя длина пути, который рассеянной частице надо проделать чтобы выйти из ядра, в случае рассеяния назад будет в несколько раз меньше, чем в случае рассеяния в переднем направлении. Если при этом учесть, что средний пробег в ядерном веществе мезонов, рассеянных назад, будет значительно больше, чем для падающих частиц, а также частиц рассеянных вперед, то очевидно, что вероятность выхода мезонов из ядра после первого рассеяния в угловой интервал $90-180^\circ$ будет в несколько раз больше, чем для интервала

0-90°. Поэтому большая часть Π -мезонов, рассеянных при первом взаимодействии назад, выйдет из ядра, в то время как большинство Π -мезонов рассеянных вперед, испытывает второе взаимодействие с ядерными нуклонами. Очевидно, что по мере увеличения пробега Π -мезонов в веществе, то есть с ростом их энергии, относительное увеличение сечения рассеяния в заднем направлении должно становиться все слабее. Это и наблюдается в действительности. Например, по данным работы^{18/} для Π -мезонов с энергией 250-270 Мэв, угловое распределение неупругого рассеяния на углероде уже мало отличается от соответствующего распределения упругого рассеяния на свободных нуклонах. Однако следует отметить, что правильно передавая характер деформации углового распределения, расчет дает по сравнению с экспериментом заниженные значения сечений в переднем и заднем направлениях. Это обстоятельство /как указывается в работе^{19/} может быть связано с различием угловых распределений для рассеяния Π -мезонов свободными и связанными нуклонами.

Наблюденные и расчетные энергетические распределения мезонов, неупруго рассеянных в интервалы углов 0-60° и 120°-180° представлены на рис. 3 и 4. Так как средние энергии /см. таб.111/ рассеянных частиц для ядер углерода и лития практически совпадают, при построении гистограмм использованы суммарные данные.

Т а б л и ц а 11

Ядро	Начальная энергия и знак мезона	Средняя энергия в Мэв			
		$\Delta \theta = 0-60^\circ$		$\Delta \theta = 120^\circ-180^\circ$	
		экспериментальная	расчетная	экспериментальная	расчетная
C	195 /+/	107	-	74	84
	195 /+/	104	-	78	-
C ^{x/}	230 /-/	107	128	88	94

Как видно из рис. 3 и 4 и таблицы 11, между распределения и соответствующими значениями средних энергий имеется удовлетворительное согласие,

^{x/} Эти данные заимствованы из работы^{16/}.

которое несомненно свидетельствует о том, что главным механизмом передачи энергии налетающими Π -мезонами ядерным нуклонам является механизм квазиупругих соударений частиц с отдельными ядерными нуклонами. Наблюдаемая разница между экспериментальными и расчетными значениями величин средних энергий обуславливается влиянием на сброс энергий при неупругом рассеянии связи нуклонов в ядре, а также потенциала взаимодействия Π -мезонов с ядром, как целым ^{/10/}.

Однако, более непосредственное доказательство гипотезы о парных соударениях дают, как уже указывалось ниже, те акты неупругого рассеяния, в которых одновременно наблюдаются рассеянный Π -мезон и нуклон отдачи, вылетающие из ядра без последующих соударений. Благодаря тому, что вероятность таких событий в случае легких ядер не очень мала, нам удалось наблюдать их в количестве 25 актов на углероде и 19 актов на литии. В качестве критерия отбора при этом служило требование, чтобы суммарная энергия рассеянного Π -мезона и протона отдачи была бы не более, чем на 30-35 Мэв меньше энергии падающего Π -мезона. На рис. 5, 6 и 7 приведены распределения указанных случаев взаимодействия по углу рассеяния, углу разлета рассеянного Π -мезона и протона отдачи и разности азимутальных углов протона и мезона, исправленные на эффективность наблюдения, а также соответствующие расчетные распределения, характеризующие кинематику первичных актов соударения. Средние значения угла некомпланарности, наблюдаемое и расчетное, соответственно равны 15° и 13° . Согласие экспериментальных и расчетных данных в пределах сравнительно небольшой статистики удовлетворительное. Оно, очевидно, наглядно свидетельствует о том, что соударение Π -мезона с ядерным нуклоном происходит приблизительно так же, как и со свободным нуклоном. На этой основе, в частности, находит объяснение и тот факт, что угловое распределение для отобранных актов неупругого рассеяния спадает, начиная с угла 180° , быстрее, чем угловое распределение для всех неупругих рассеяний. Действительно, вместе с уменьшением угла рассеяния Π -мезона уменьшается энергия и соответственно пробег протона отдачи в ядерном веществе. Это приводит к падению вероятности выхода протона из ядра без соударений и, таким образом, к дополнительному уменьшению сечения первичных актов неупругого рассеяния, сопровождающихся вылетом энергичных протонов.

В таблице 111 указаны величины расчетных и экспериментально найденных вероятностей^{х/} для отобранных случаев неупругого рассеяния, отнесенные к полному числу неупругих взаимодействий, а также к полному числу неупругих рассеяний.

Т а б л и ц а 111

Ядро	Вероятность в %			
	по отношению к сечению неупругого рассеяния		по отношению к полному сечению неупругого взаимодействия	
	Эксперимент	Расчет	Эксперимент	Расчет
C	16	21	5,5	7,5
Li	2	-	7	-

Факт удовлетворительного соответствия экспериментальных и расчетных вероятностей при условии, что при расчете каскада правильно учитывается поглощение Π -мезонов, говорит в пользу не только гипотезы о квазиупругих соударениях, но также и о том, что сечения рассеяния Π -мезонов связанными нуклонами не отличаются очень сильно от сечений рассеяния этих частиц свободными нуклонами.

В этой связи интересно сопоставление данных по неупругому рассеянию на углероде для положительных и отрицательных Π -мезонов. Ввиду того, что при исследовании взаимодействия Π -мезонов с ядрами углерода при энергии 230 Мэв^{/8/}, нами найдено только четыре случая рассеяния, в которых сумма энергий рассеянного Π -мезона и протона отдачи близка к начальной энергии Π -мезона, сравниваются количества / N_1 / актов неупругого рассеяния, сопровождающиеся вылетом протона по отношению ко всем неупругим рассеяниям / N_2 / для интервала углов 120-180° /см.табл.1У/^{хх/}

^{х/} Расчетные вероятности исправлены на остановки протонов отдачи в мишени.

^{хх/} Геометрия опыта в обоих случаях одинакова, поэтому количества актов неупругого рассеяния даются без поправки на эффективность наблюдения.

Т а б л и ц а 1У

Энергия в Мэв	N_1	N_2	Отношение N_1/N_2 в %	
			Эксперимент.	Расчетное
230 /-/	64	10	16	13
195 /+/	91	50	55	50

Принимая во внимание, что расчетное отношение при переходе от энергии 230 Мэв к энергии 195 Мэв изменяется мало, мы видим, что между данными для π^+ и π^- -мезонов наблюдается хорошее соответствие. Оно также подтверждается качественным согласием экспериментальных и расчетных данных, полученных в работах /11,12/, для актов первичного квазиупругого рассеяния отрицательных π^- -мезонов с энергией 220 Мэв ядрами фотоэмульсии.

Величины импульсов остаточных ядер, образующихся в реакции первичного квазиупругого рассеяния мезонов /определенные для каждого акта, как разность векторов начального импульса и суммарного импульса рассеянного π^- -мезона и протона отдачи/ заключены в области от 0 до 400 Мэв/с и направлены преимущественно в переднюю полусферу.

Для сравнения следует отметить, что в упомянутой ниже работе /11/ с отрицательными π^- -мезонами область распределения импульсов остаточных ядер для 17 случаев первичного квазиупругого рассеяния сверху ограничена значением 450 Мэв/с.

При отборе случаев первичного квазиупругого рассеяния π^- -мезонов ядерными протонами обращалось особое внимание на поиски актов рассеяния этих частиц ядерными квазидейтронными образованиями. Однако среди всех актов неупругого рассеяния, для которых были произведены измерения импульсов рассеянного π^- -мезона и частицы отдачи, был найден один акт для ядер лития, который можно интерпретировать как прямое выбивание дейтрона налетающим π^- -мезоном. Этот результат свидетельствует в пользу того, что соударения π^- -мезонов с квазидейтронными группами ядерных нукло-

нов как целым являются довольно редкими событиями^{х/} и поэтому не могут оказывать заметного влияния на величину среднего сброса энергии мезонами при неупругом рассеянии.

С точки зрения гипотезы о парных соударениях можно понять также и наблюдаемое на опыте различие относительных сечений неупругого рассеяния для ядер углерода и лития. Как можно видеть из таблицы 1, отношения полных сечений неупругого рассеяния к полным сечениям неупругого взаимодействия для ядер углерода и лития равны соответственно $37,5 \pm 4\%$ и $27,5 \pm 4\%$. Хотя это различие и лежит на границах ошибок измерения, уменьшение сечения в случае ядра лития может быть обусловлено увеличением роли обменного рассеяния за счет избытка нейтронов, влияние которого особенно заметно проявляется во втором и последующих соударениях мезона в ядре.

Для углерода расчетное относительное сечение обменного рассеяния, равное $15 \pm 3\%$, находится в согласии с экспериментальным сечением, найденным в работе^{/14/} для среднего ядра фреона, которое в широком интервале энергий Π -мезонов составляет в среднем $10 \pm 3\%$. Оно также находится в соответствии с оценкой доли обменного рассеяния отрицательных Π -мезонов с энергией 125 Мэв ядрами углерода, сделанной в работе^{/15/}. Согласно расчету среднее число соударений Π -мезона в ядре углерода составляет 1,5, соответственно этому более половины всех неупруго рассеянных мезонов испытывают в ядре только одно соударение. Полуэмпирическая оценка относительной доли однократного рассеяния для интервала углов $120^\circ - 180^\circ$, сделанная по наблюдаемым актам первичного квазиупругого рассеяния / в которых выполняется баланс энергии / равна 60%. Как видно, она согласуется с расчетной оценкой и подтверждает сделанное в нашей работе^{/6/} заключение о том, что неупругое рассеяние Π -мезонов с энергией 230 Мэв на ядрах углерода в области больших углов рассеяния происходит преимущественно в результате однократных столкновений с ядерными нуклонами.

^{х/} Указанный вывод согласуется с результатами работы^{/13/} по прямому выбиванию дейтронов из легких ядер протонами с энергией 670 Мэв.

Поглощение Π -мезонов

При исследовании механизма поглощения Π -мезонов в области низких энергий от 0 до 60 Мэв было найдено, что в акте поглощения участвуют небольшие комплексы ядерных нуклонов, состоящие преимущественно из одного нейтрона и одного протона. Например, по данным работ ^{/16,17/} на долю захвата мезонов n, p -парами ядерных нуклонов приходится 60-70% всего поглощения.

Недавно появились две работы ^{/8,14/}, в которых процесс поглощения Π -мезонов изучался для области энергий от 80 до 300 Мэв; однако, в них о механизме реакции захвата сделаны разноречивые выводы. В частности, авторы работы ^{/8/} для объяснения наблюдаемого распределения звезд по числу лучей привлекают предположение о том, что в захвате Π^+ -мезонов с энергией 250-270 Мэв в углероде участвует все ядро как целое.

В настоящем опыте зарегистрировано 432 звезды на углероде и 344 звезды - на литии ^{x/}. Благодаря измерению энергии звездных протонов и использованию данных, полученных нами при исследованиях ^{/5/} с отрицательными частицами, нам удалось более полно, чем в работах ^{/8,14/} произвести анализ процесса поглощения и наряду с установлением относительной доли захватов Π -мезонов парами разноименных нуклонов, сделать независимую оценку этой величины для пар одноименных нуклонов, а также найти относительное сечение поглощения налетающих Π -мезонов в первом взаимодействии с ядерными нуклонами.

Одной из физических характеристик звезд, чувствительной к механизму поглощения Π -мезонов, является угловое распределение энергичных звездных протонов. Например, если в акте поглощения Π -мезонов участвует все ядро как целое /или большие комплексы ядерных нуклонов/, указанное распределение должно быть близко к изотропному, так как в этом случае система центра масс налетающего Π -мезона и ядра практически совпада-

^{x/} Здесь для анализа используются все наблюдаемые звезды независимо от высоты следа падающего Π -мезона в освещенной области.

ют с лабораторной системой^{x/}.

Т а б л и ц а У

Реакция	Энергия π -мезонов	Количество протонов			Количество протонов		
		$\Delta\theta = 0-60^\circ$		100 Мэв	$\Delta\theta = 120-180^\circ$		$E > 100$ Мэв
		Всего	С измер. энергией		Всего	С измер. энергией	
$\pi^+ + C$	195	365	213	67	96	63	3
$\pi^+ + Li$	195	254	180	48	40	27	5
$\pi^- + C$	230	71	54	17	11	8	5

Как видно из таблицы У, в которой приведены количества быстрых протонов в интервале углов вылета $0-60^\circ$ и $120^\circ-180^\circ$, включая неопубликованные ранее данные из наших опытов с отрицательными частицами, в угловом распределении быстрых протонов наблюдается резкая анизотропия. Поскольку эта анизотропия не может быть объяснена вкладом в энергичные звездные протоны от быстрых протонов отдачи при квазиупругом рассеянии мезонов непосредственно перед актом захвата, очевидно, она говорит в пользу того, что многонуклонный механизм захвата не играет заметной роли как при поглощении положительных мезонов с энергией 195 Мэв, так и при поглощении отрицательных мезонов с энергией 230 Мэв^{xx/}. Этот вывод согласуется с прямой количественной оценкой относительной доли поглощения π -мезонов n, p -парами ядерных нуклонов. Когда захват π -мезона производится протоном и нейтроном, образующиеся быстрые протоны разлетаются под углом, близким к 180° ; при этом разность их азимутальных углов также близка к 180° , а угол некомпланарности направлений движения мезона и протонов будет около нуля градусов.

На рис. 8 и 9 изображены распределения по углу разлета протонов и разности их азимутальных углов для 97 двухлучевых звезд, наблюдаемых на углероде^{xxx/}. Они показывают, что среди всех звезд немало звезд /называет-

x/ Скорость системы центра масс равна 2,6% от скорости света для ядер углерода и 4,3% - для ядер лития.

xx/ Таким образом, предположение авторов^{/8/} о преобладании многонуклонного механизма поглощения не согласуется с нашими данными.

xxx/ Для ядер лития распределения аналогичны.

мых нами далее первичными/, у которых оба протона вылетают из ядра, не испытав соударений с другими ядерными нуклонами. Из распределений также видно, что вклад первичных двухлучевых звезд начинается с углов разлета $\gamma > 120^\circ$ и разности азимутальных углов $\Delta\varphi > 120^\circ$, где среднее значение угла некомпланарности составляет 12° . /Расчет при учете внутриядерного движения пар нуклонов дает для указанных углов те же области распределения/.

Для определения количества первичных звезд, в распределении рис. 9 все звезды с $\Delta\varphi \leq 120^\circ$ можно рассматривать как своеобразный фон, который необходимо вычесть из числа двухлучевых звезд с $\Delta\varphi > 120^\circ$. Проведя указанную операцию, мы найдем, что число первичных звезд^{х/}, в которых один из протонов попадает в интервал углов вылета $120-180^\circ$, составляет 37 для ядер углерода и 20-для ядер лития. Теперь, учитывая вероятность наблюдения первичных двухлучевых звезд и поправку на звезды с лучами вне интервала углов $120-180^\circ$ /равные для ядер углерода согласно расчету 32% и 49% соответственно/, получаем полное число актов поглощения Π -мезонов n, p -парами нуклонов. Оно равно 279 в случае углерода и 152-в случае лития. Принимая во внимание, что по данным работы^{/14/} 15% всех наблюдаемых звезд должно быть отнесено к обменному рассеянию Π -мезонов, приходим к следующему результату: 65% всех звезд на углероде и 44% всех звезд на литии обуславливаются поглощением Π -мезонов n, p -парами нуклонов. Величина полученного отношения для ядер лития, вероятно, занижена вследствие того, что для него вклад обменного рассеяния в звезды, как уже указывалось в первой части работы, может быть больше, чем для ядра углерода. При этом, однако, не исключена возможность, что некоторое уменьшение величины сечения поглощения мезонов n, p -парами для лития связано с увеличением относительной доли поглощения мезонов n, n -парами /особенно, когда захват частиц происходит не в первом взаимодействии с нуклонами ядра, а в одном из последующих/ и более сложными комплексами нуклонов. В качестве некоторого указания на последнее обстоятельство может служить наблюдение

^{х/} Интервал углов вылета $120^\circ-180^\circ$ исключается из рассмотрения ввиду того, что в нем истинный спектр звездных протонов искажается вследствие ионизационного торможения частиц в мишени.

для ядра лития одного акта захвата Π -мезона дейтроном и нейтроном. Для углерода из 27 двухлучевых звезд, для которых измерены импульсы обоих протонов, в 10 случаях суммарная энергия отличается в среднем на 60 Мэв от полной энергии падающего Π -мезона. Принимая во внимание, что на выбивание из ядра углерода нейтрона и протона необходимо затратить не менее 30 Мэв энергии, можно считать, что эти акты относятся к поглощению Π -мезонов в первом взаимодействии с ядерными нуклонами. Согласно расчету, отношение между количествами актов поглощения в первом и последующих взаимодействиях для звезд, у которых один из протонов попадает в интервал углов вылета $120-180^\circ$, равно 50%; экспериментальное отношение, равное 37%, по-видимому, находится с ним в согласии. Такой же результат дает сравнение абсолютных количеств энергичных протонов /экспериментального и расчетного/ для интервала углов вылета $0-60^\circ$, приведенных к одинаковому числу звезд. Например, количество протонов с энергией $E \geq 150$ Мэв, относящихся в подавляющем числе случаев к захвату в первом взаимодействии, наблюденное на опыте, равно 64, а расчетное количество - 82.

Из сравнения экспериментальных данных по спектрам звездных протонов, получающихся при поглощении отрицательных и положительных Π -мезонов в углероде, можно сделать оценку доли захвата этих частиц парами одинаковых ядерных нуклонов. В таблице У1 представлены наблюденное и расчетное отношения количеств быстрых протонов в интервале $\Delta\theta = 0^\circ-60^\circ$.

Т а б л и ц а У1

Энергия протона	70 Мэв	100 Мэв	120 Мэв	150 Мэв
Экспериментальное отношение	24%	25%	22%	19%
Расчетное отношение для 100% поглощения n,p -парами	14%	12%	11%	5%
Расчетное отношение для 70% поглощения n,p -парами и 30% поглощения n,n и pp -парами	29%	28%	27%	26%

Из таблицы видно, что поглощение Π -мезонов парами одинаковых нуклонов в углероде имеет место, однако оно происходит с вероятностью

в 2-3 раза меньшей, чем захват парами разноименных нуклонов. Очевидно, на величину этой оценки окажет влияние наличие многонуклонного механизма поглощения особенно в том случае, когда реализуемая при захвате Π -мезона энергия между нуклонами делится очень неравномерно. Однако, если бы этот механизм был ответственен за 30-40% всего поглощения, в энергетическом спектре должна была бы выделяться группа очень быстрых одиночных протонов, в то время как на опыте не обнаружено разницы между энергиями быстрых частиц, имеющих в составе однолучевых и двухлучевых звезд. Кроме того, в интервале углов вылета 120° - 180° среди 65 протонов, у которых измерены импульсы, найдены всего две частицы с энергией больше 120 Мэв. Таким образом, вклад многонуклонного механизма поглощения, очевидно, невелик и не может очень сильно изменить в сторону уменьшения величину сделанной оценки. В качестве косвенного подтверждения этого заключения можно рассматривать результат работы ^{18/}, в которой было установлено, что при поглощении медленных отрицательных мезонов ядрами гелия и углерода идут реакции захвата парами разноименных и одноименных нуклонов и не идет с заметной вероятностью реакция захвата, в которой участвует более чем два нуклона.

З а к л ю ч е н и е

1. Сравнение полученных экспериментальных данных с результатами расчета каскада в ядре углерода показывает, что неупругое рассеяние Π -мезонов с энергией 195 ± 15 Мэв на ядрах углерода в пределах ошибок опыта удовлетворительно объясняется на основе гипотезы о парных соударениях. Это выражается в следующем:

а/ расчет правильно передает общий характер деформации углового распределения упругого рассеяния Π -мезонов свободными нуклонами при переходе к неупругому рассеянию этих частиц атомными ядрами;

б/ экспериментальные энергетические распределения неупругого рассеяния и величины средних энергий неупруго рассеянных Π -мезонов находятся в удовлетворительном согласии с соответствующими расчетными данными;

в/ относительные сечения первичных неупругих рассеяний, сопровождающихся вылетом быстрых протонов отдачи, в пределах ошибок опыта равны относительным сечениям, найденным в расчете;

г/ кинематика для экспериментально наблюдаемых актов первичного неупругого рассеяния /угловое распределение, а также распределение по углу разлета и разности азимутальных углов рассеянных мезонов и протонов отдачи/ согласуется с расчетной кинематикой для квазиупругого рассеяния Π -мезона движущимися нуклонами.

2. Основным механизмом поглощения Π -мезонов при энергии 195 Мэв является их захват n, p -парами нуклонов. Для ядра углерода на долю этого механизма приходится 60-70%. Вклад в сечение поглощения от захвата мезонов парами одинаковых нуклонов в 2-3 раза меньше, чем от захвата парами разноименных нуклонов.

3. Доля захватов налетающих Π -мезонов в первом взаимодействии составляет 35% - 40% всего поглощения.

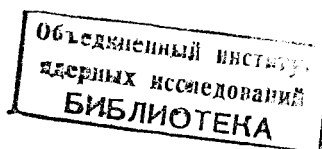
Авторы выражают свою благодарность В.П.Джелепову за постоянный интерес к работе и обсуждение ее результатов, М.С.Козодаеву за содействие при постановке работы; А.М.Розановой, И.М.Рудневской и П.И.Жабину за помощь при обработке снимков; Ю.А.Будагову и Г.П.Доле за помощь при расчете ядерного каскада и Б.А.Никольскому за ознакомление с техникой номограммирования расчетов. Авторы также выражают искреннюю благодарность В.Т.Осипенкову, оказавшему большую помощь на первом этапе работы.

Цитированная литература

1. Serber R. Phys.Rev. 72, III4, 1947.
2. Goldberger. Phys.Rev. 74, 1269, 1948.
3. В.Г.Иванов, В.Т.Осипенков, Н.И.Петров, В.А.Русаков. ЖЭТФ, в печати.
4. H.L.Stadler. Phys.Rev. 96, 496, 1954.
5. Б.С.Неганов, Л.Б.Парфенов. ЖЭТФ 34, 767, 1958.
6. В.П.Джелепов, В.Г.Иванов, М.С.Козодаев, В.Т.Осипенков, Н.И.Петров, В.А.Русаков. ЖЭТФ, 31, 923, 1956г.
7. А.И.Мухин, Е.Б.Озеров, Б.М.Понтекорво. ЖЭТФ, 31, 31, 371, 1956 г.

8. Ван Ган-чан, Ван Цу-цзен, Дин Да-пао, Л.Н.Дубровский, Е.Н.Кладницкая, М.И.Соловьев. ЖЭТФ, 35, 819, 1958 г.
9. K.M.Watson and C.Zemach Nuovo Cimento, X, 452, 1958.
10. Б.А.Никольский, Л.П.Кудрин, С.А.Али-заде. ЖЭТФ, 32, 48, 1957 г.
11. W.F.Fry. Phys.Rev. 93, 845, 1954.
12. Gyo Takeda. Phys.Rev. 93, 848, 1954.
13. Л.С.Ажгирей, И.К.Взоров, В.П.Зрелов, М.Г.Мещеряков, Б.С.Неганов, А.Ф.Шабудин. ЖЭТФ, 1185, 1957 г.
14. Г.А.Блинов, М.Ф.Ломанов, Я.Я.Шаламов, В.А.Шебанов, В.А.Щеголев. ЖЭТФ, 35, 880, 1958 г.
15. I.O.Kessler, L.M.Lederman, Phys.Rev. 94, 689, 1954.
16. H.Byfield, J.Kessler, L.M.Lederman, Phys.Rev. 86, 17, 1952.
17. F.N.Tenney, J.Tinlot, Phys.Rev. 92, 974, 1953.
18. P.Ammiraiju, L.M.Lederman, Nuovo Cimento, IV, 283, 1956.

Работа поступила в издательский отдел
18 апреля 1959 года.



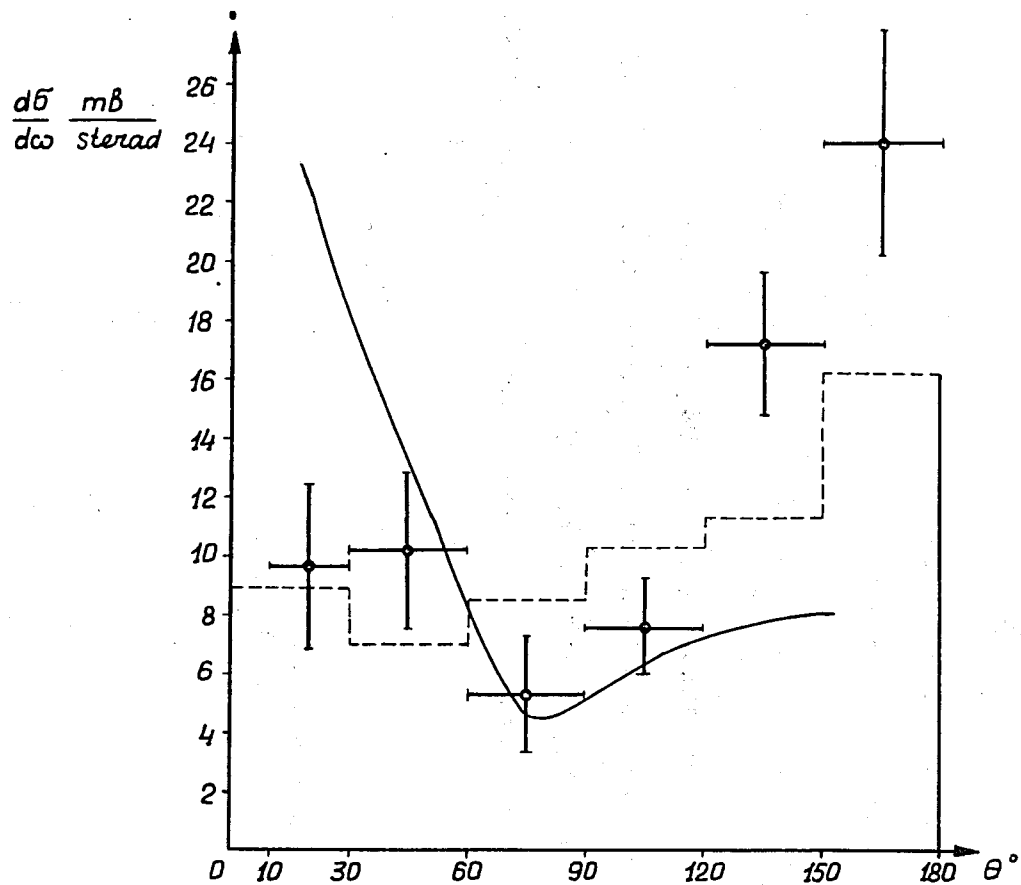


Рис 1. Угловое распределение неупругого рассеяния π^+ -мезонов на ядрах углерода.

Пунктиром показано расчетное угловое распределение неупругого рассеяния π^+ -мезонов с энергией $E=230$ мэв на ядрах углерода.

Сплошной кривой показано угловое распределение упругого рассеяния π^+ -мезонов с энергией $E=200$ мэв свободными протонами.

$\frac{d\sigma}{d\omega} \frac{mb}{sterad}$

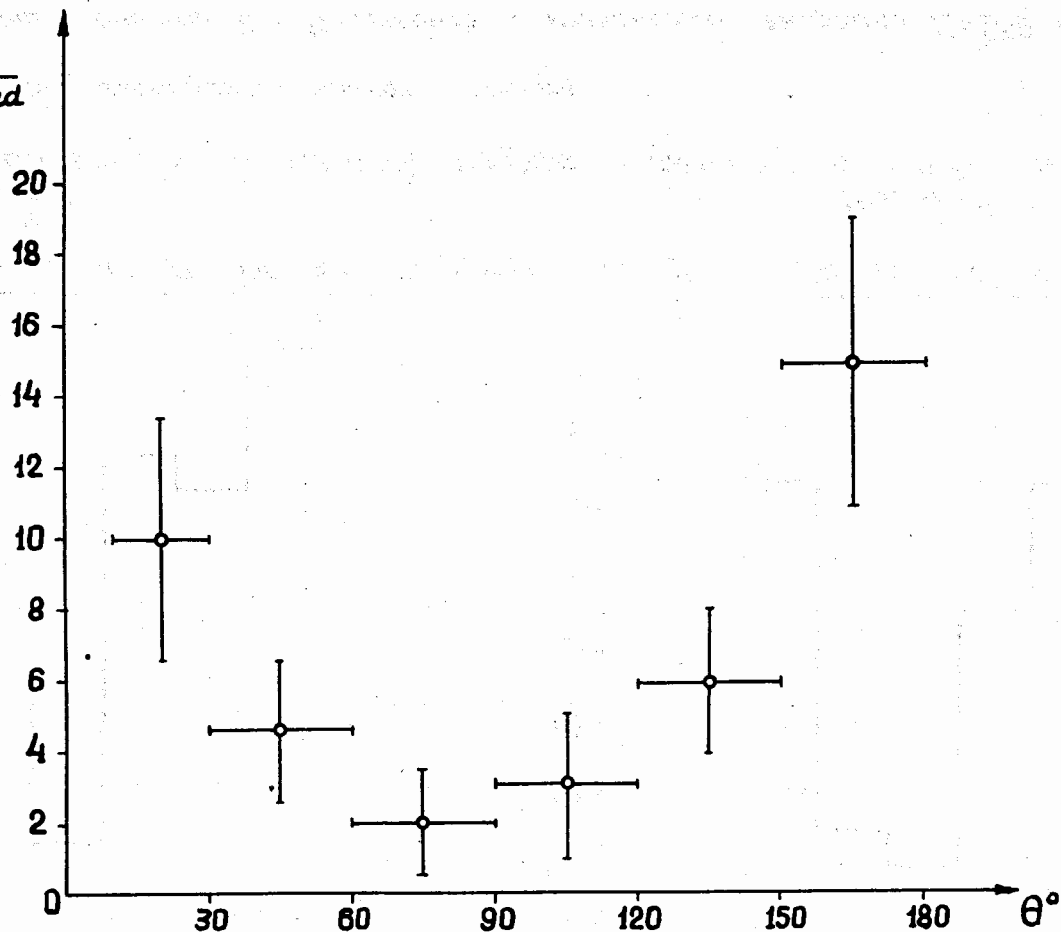


Рис 2 Угловое распределение неупругого рассеяния π^+ -мезонов на ядрах лития

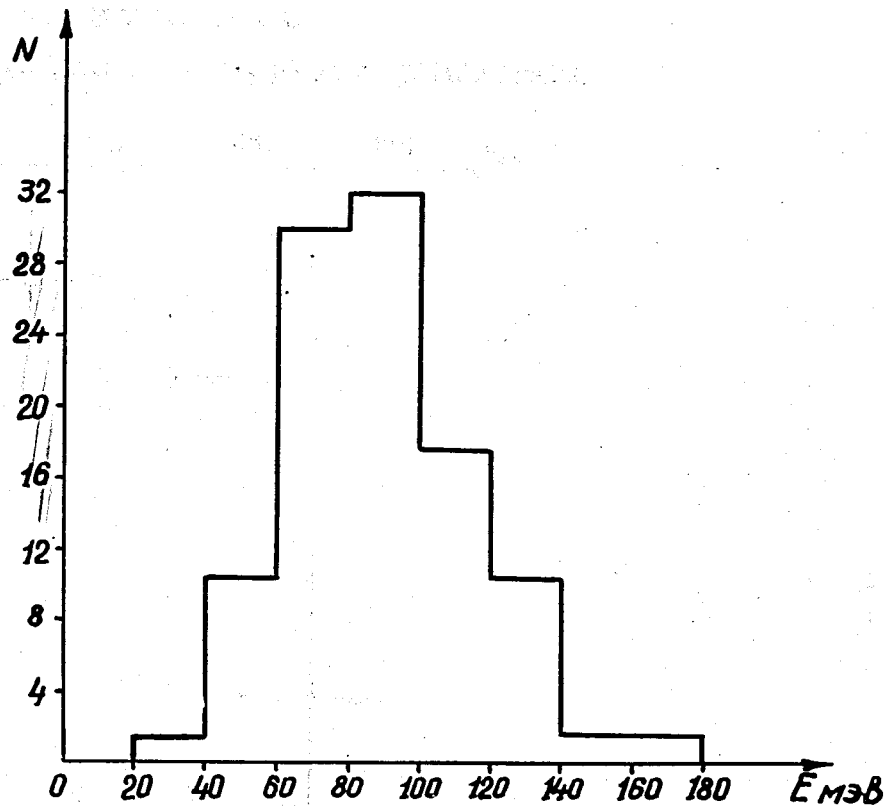
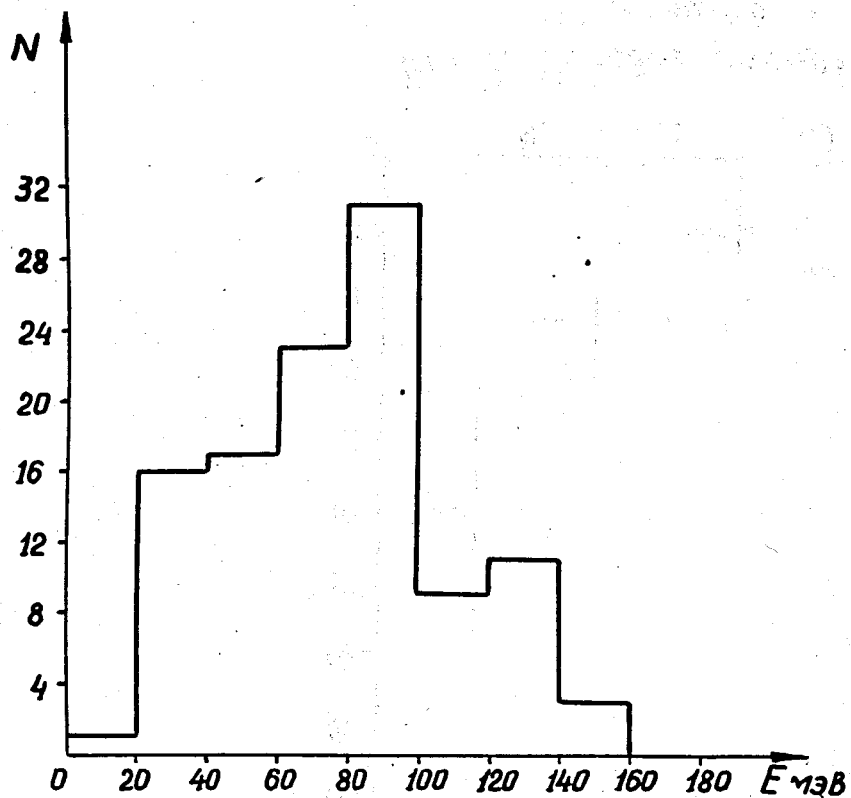


Рис 3 а

Энергетический спектр π^+ -мезонов, неупруго рассеянных в угловом интервал $\Delta\theta=120^\circ-180^\circ$

Рис 3 б

а) Суммарный экспериментальный спектр.

б) Расчетный спектр для π^+ -мезонов с начальной энергией $E=230$ мэв.

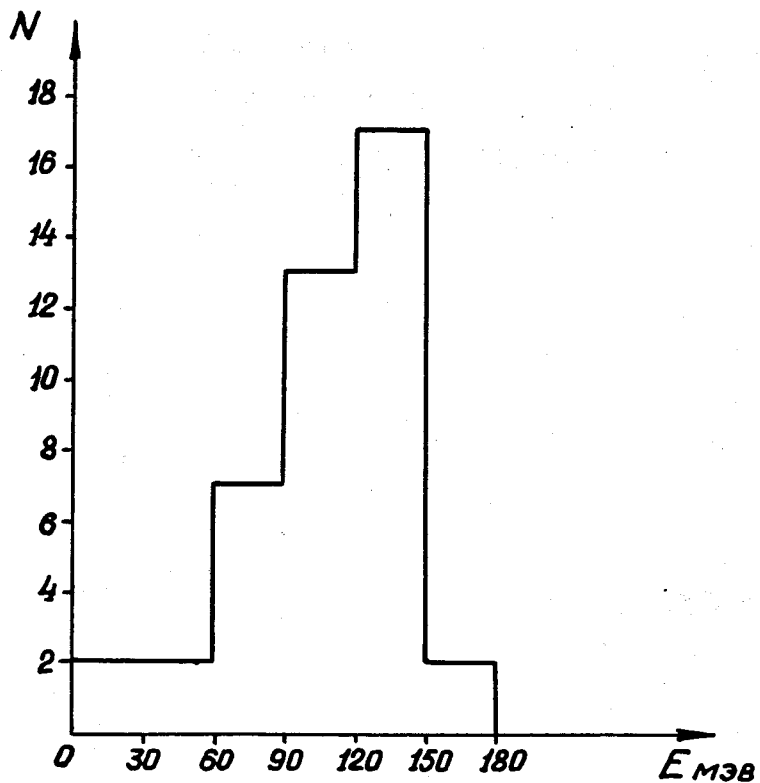


Рис 4 а

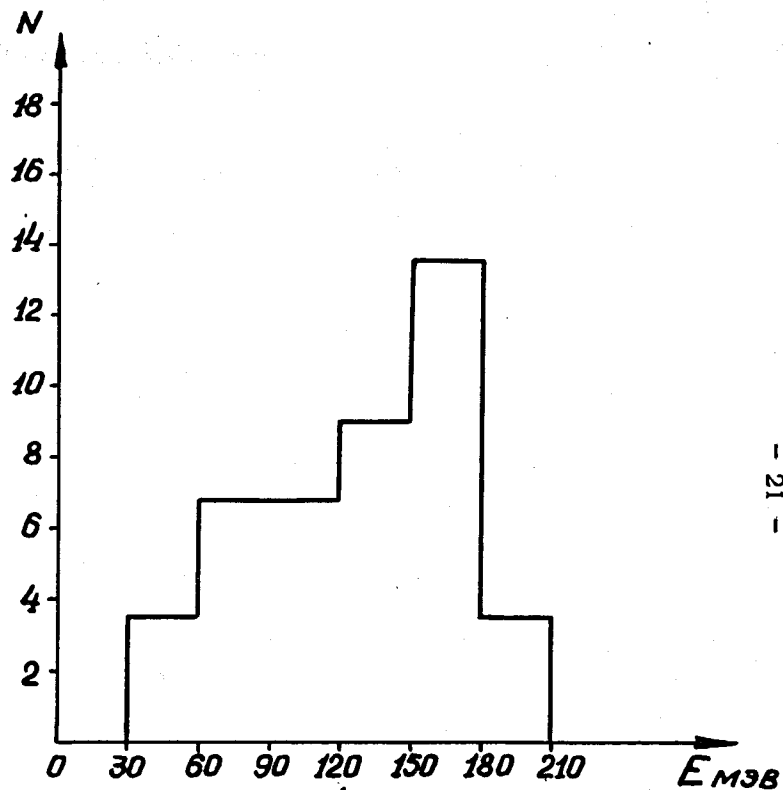


Рис 4 б

Энергетический спектр π^+ -мезонов, неупруго рассеянных
в угловой интервал $\Delta\theta = 0-60^\circ$

а) Суммарный экспериментальный спектр.

б) Расчетный спектр для π^+ -мезонов с начальной энергией $E=230$ мэВ.

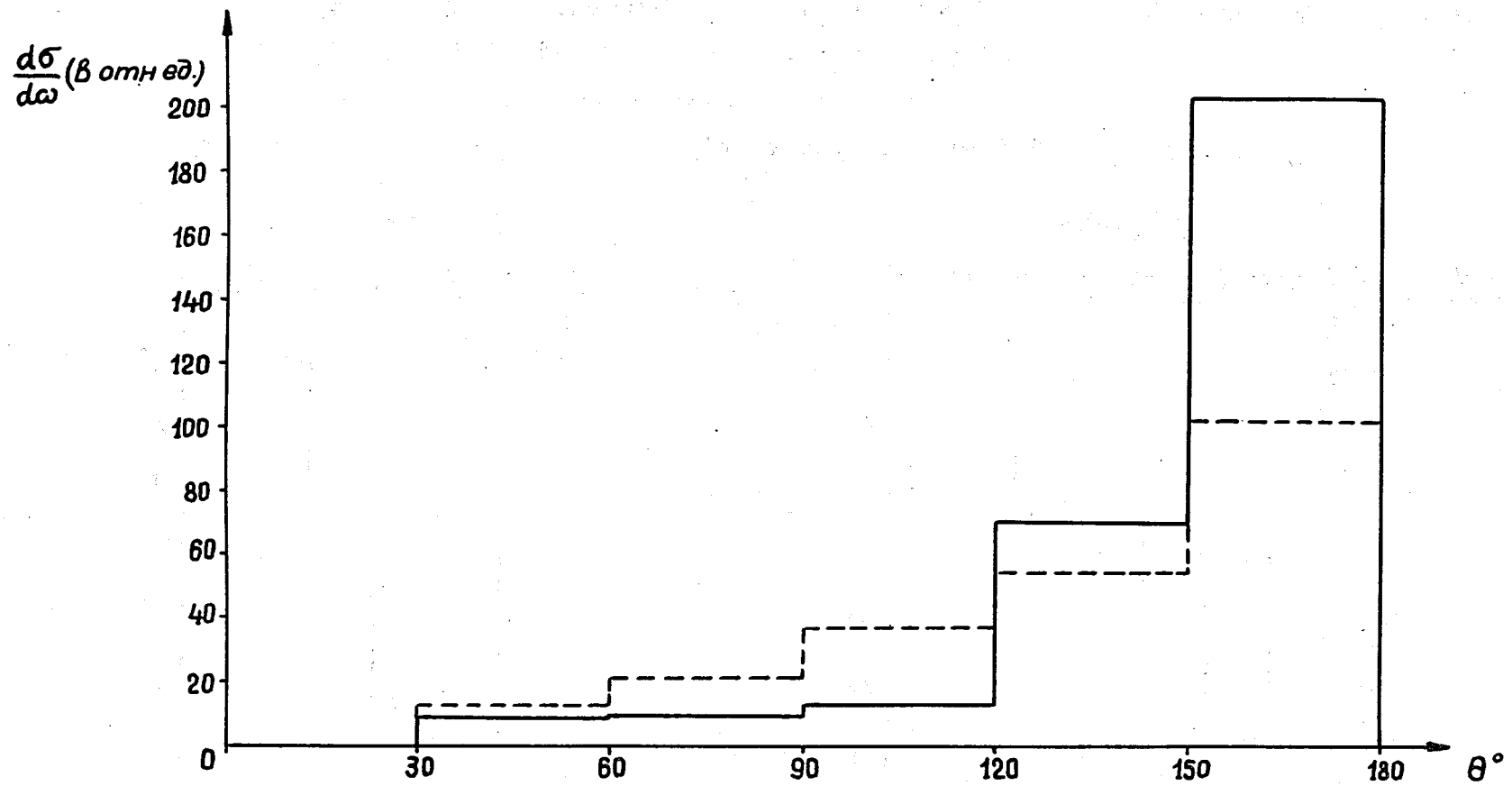


Рис 5 Угловое распределение π -мезонов для актов первичного квазиупругого рассеяния.

Пунктиром показано расчетное распределение.

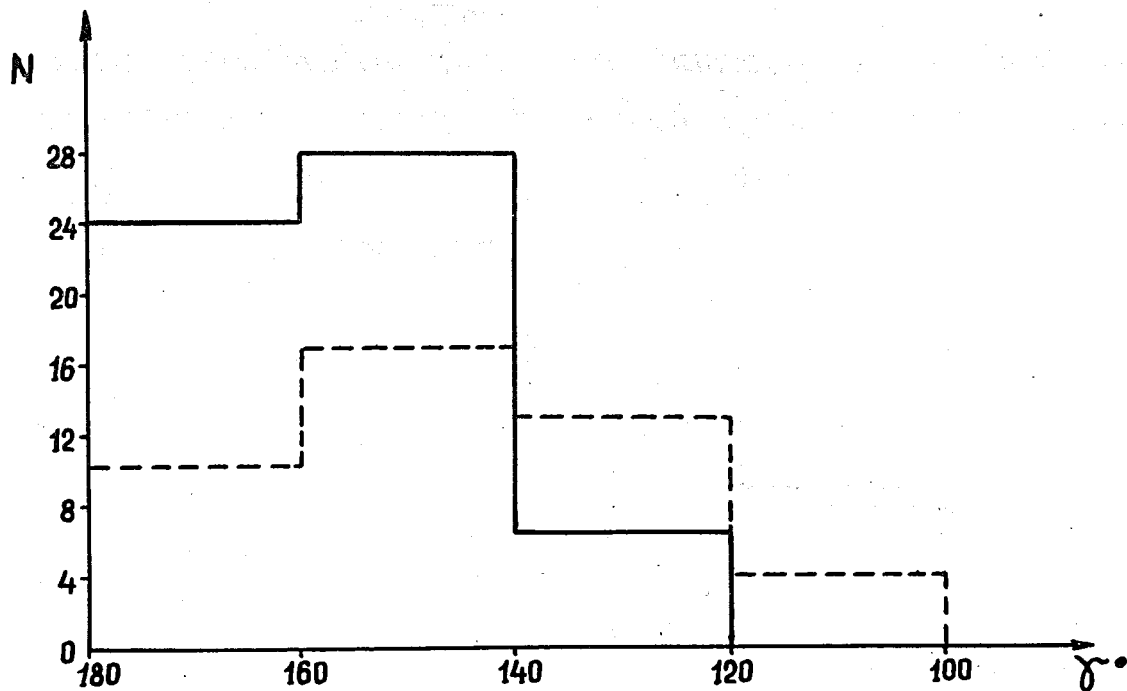


Рис 6 Распределение актов первичного квазиупругого рассеяния по углу разлета рассеянного Π -мезона и протона отдачи.

Пунктиром показано расчетное распределение.

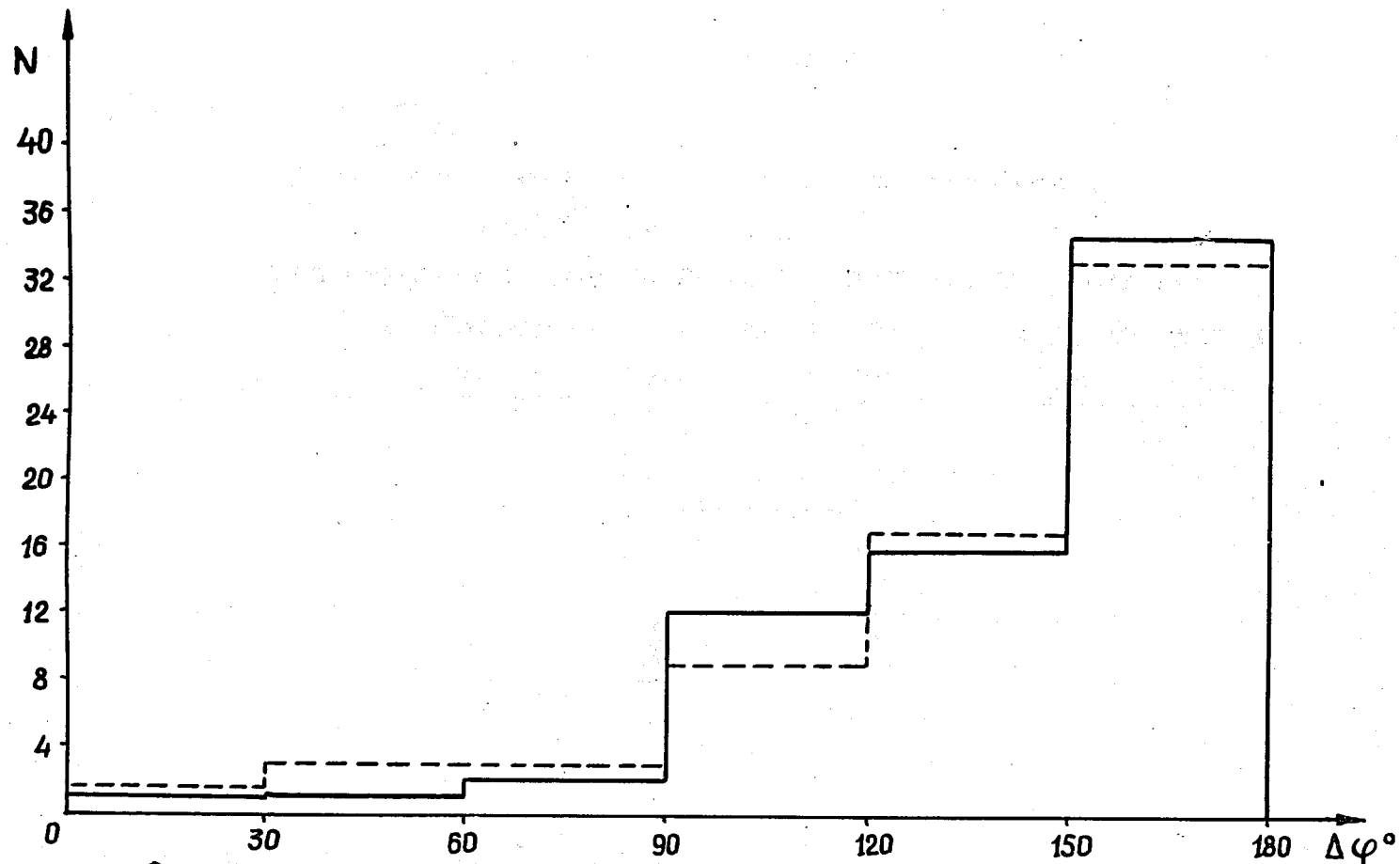


Рис 7. Распределение актов первичного квазиупругого рассеяния по разности азимутальных углов рассеянного мезона и протона отдачи.

Пунктиром показано расчетное распределение.



Рис 8 Распределение двухлучевых звезд по углу разлета протонов для ядер углерода.

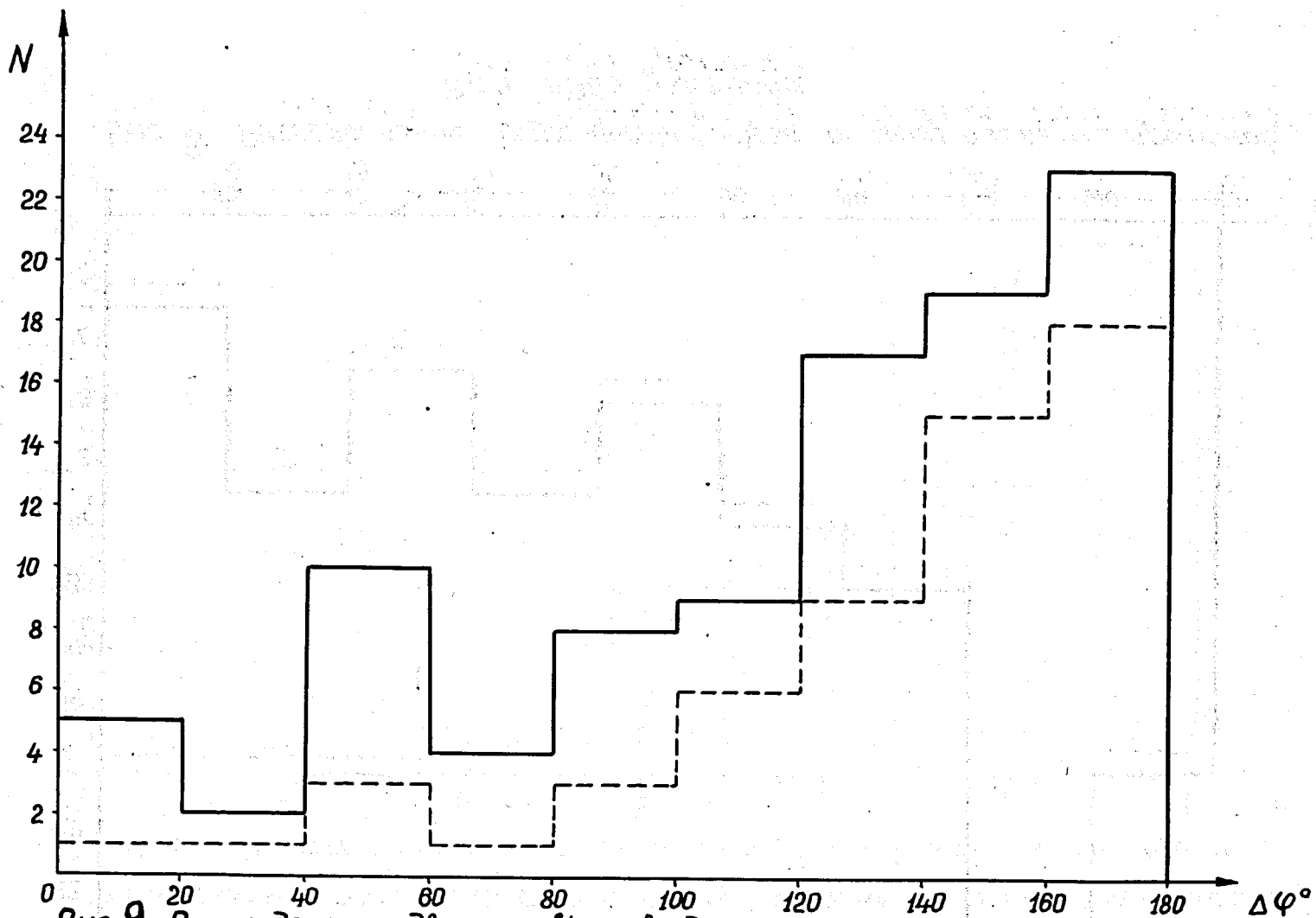


Рис 9 Распределение двухлучевых звезд по разности азимутальных углов протонов для ядер углерода.

Пунктиром показано распределение для звезд с $\delta > 120^\circ$