

Б-24
540



В.С.Барашенков

P-540

НЕУПРУГИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ
P-МЕЗОНОВ С НУКЛОНАМИ
ПРИ ЭНЕРГИИ $E=6,8$ БЭВ

Искл. Ряз., 1961, в 22, м 1, р 71.

P-540

В.С.Барашенков

НЕУПРУГИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ
П-МЕЗОНОВ С НУКЛОНАМИ
ПРИ ЭНЕРГИИ $E=6,8$ БЭВ

403/7 мр.

Направлено в журнал
'Nuclear Physics'

Объединенный институт
ядерных исследований
БИБЛИОТЕКА

А н н о т а ц и я

Результаты опытов с π -мезонами сравниваются с расчетами по статистической теории. Наблюдается хорошее согласие в распределениях звезд по числу лучей и по импульсам рождающихся частиц.

Для объяснения угловых распределений учтены периферические столкновения. Экспериментальные данные возможно согласовать с теорией, если допустить, что сечение периферических столкновений составляет более половины от полного сечения всех неупругих процессов.

Обсуждается резонансное взаимодействие π -мезонов.

1. В в е д е н и е

В работах ^{1/} для объяснения экспериментальных данных по неупругому взаимодействию быстрых π^- -мезонов с нуклонами была предложена модель центральных и периферических ($\pi\pi$) и (πN) - взаимодействий. Для сечения неупругих периферических взаимодействий была получена нижняя оценка:

$$\sigma_p > (0,2 \div 0,3) \sigma_{in},$$

где $\sigma_{in} \approx 20 \cdot 10^{-27} \text{ см}^2$ - полное сечение всех неупругих (πN) - взаимодействий. Неоднозначность в значениях σ_p обусловлена в основном тем, что в работе ^{2/} часть положительно заряженных частиц не была идентифицирована как протоны или π^+ -мезоны. Поэтому экспериментальные значения угловой асимметрии заряженных π^- -мезонов и протонов могли меняться в широких пределах:

$$A_{\pi} \equiv \vec{n}_{\pi} / \overleftarrow{n}_{\pi} = (1,1 \div 1,9) ; A_p \equiv \vec{n}_p / \overleftarrow{n}_p = (0 \div 0,5)^{1/}$$

Недавно в Дубне была закончена часть опытов по взаимодействию π^- -мезонов с фотоэмульсией при энергии $E=6,8$ Бэв. На основе строгих критериев отбора было выделено и проанализировано 530 случаев взаимодействия π^- -мезонов с нуклонами. Значения угловой асимметрии $A = \vec{n} / \overleftarrow{n}$ для протонов и заряженных π^- -мезонов удалось при этом определить с большей точностью, чем это было ранее сделано в работе ^{2/}.

В следующих разделах мы подробно рассмотрим результаты, полученные в работе ^{3/}.

2. Сравнение со статистической теорией множественного рождения

На рис. 1 приведены значения отношения среднего числа наблюдаемых на опыте звезд с различным числом лучей к теоретически рассчитанному:

^{1/} Далее мы будем использовать те же обозначения, что и в работах ^{1/}. В частности, \vec{n}_p и \overleftarrow{n}_p - числа протонов, вылетающих в системе центра масс сталкивающихся π^- -мезона и нуклона соответственно в переднюю и заднюю полусферы /по отношению к вектору скорости первичного π^- -мезона/; \vec{n}_{π} и \overleftarrow{n}_{π} - то же для заряженных π^- -мезонов. Систему центра масс сталкивающихся первичного π^- -мезона и протона для краткости будет обозначать далее как "система (πp)".

$N(n)_{\text{expt.}} / N(n)_{\text{theor.}}$. Как видно, эксперимент и теория согласуются лучше, чем в случае (\sqrt{N})-столкновений (ср. ^{/4/}).

Экспериментальные значения среднего числа заряженных частиц, рождающихся в одном акте (π^-p)- и (π^-n) - столкновений при $E=6,8$ Бэв

$$\bar{n}(\pi^-p) = 2,98 \pm 0,02; \quad \bar{n}(\pi^-n) = 2,98 \pm 0,02$$

хорошо согласуются с теоретическими значениями

$$\bar{n}(\pi^-p) \approx \bar{n}(\pi^-n) \approx 3^{2/}$$

Для среднего числа заряженных π^- -мезонов, рождающихся в одном акте (π^-N) - взаимодействия при $E = 6,8$ Бэв в пузырьковой пропановой камере, получено значение $\bar{n}_{\pi^-} = 2,5^{/6/}$, что также хорошо согласуется с значением, рассчитанным по статистической теории.

На рис. 2 и 3 приведены импульсные спектры заряженных π^- -мезонов и протонов, рождающихся в (π^-p) - столкновениях. Как экспериментальные, так и теоретические спектры частиц, рождающихся в (π^-n) - столкновениях, практически не отличаются от соответствующих спектров для (π^-p)-столкновений.

Из приведенных данных видно, что в пределах ошибок опыта экспериментальные и теоретические импульсные спектры π^- -мезонов очень близки. Теоретическое значение среднего импульса $\bar{P}_{\pi^-} = 0,55$ Бэв/с хорошо согласуется с экспериментальным значением $\bar{P}_{\pi^-} = (0,53 \pm 0,03)$ Бэв/с.

Экспериментальный импульсный спектр протонов, рождающихся в неупругих (π^-N)-столкновениях, как видно из рис. 3, оказывается несколько более жестким, чем теоретический. Экспериментальное значение среднего импульса протонов

$$\bar{P}_p = (0,89 \pm 0,035) \text{ Бэв/с, соответствующее теоретическое значение равно } 0,8 \text{ Бэв/с}$$

Как показали расчеты, импульсы частиц в звездах с двумя лучами в среднем всего лишь на 15% больше импульсов частиц в четырехлучевых звездах, что согласуется с экспериментальными данными работы ^{/3/}.

^{2/} Это значение $\bar{n}(\pi^-p)$ приблизительно на 2% выше, чем значение, указанное на графике в работе ^{/5/}, что обусловлено тем, что в ^{/5/} учтены (π^-p)-события лишь с двумя и четырьмя лучами.

Однако, если наблюдаемые на опыте распределения звезд по числу лучей и импульсам рождающихся частиц близки к рассчитанным по статистической теории множественного рождения, угловые распределения рождающихся частиц резко противоречат этой теории.

Так же, как и при меньших энергиях, угловые распределения вторичных частиц при энергии $E=6,8$ Бэв оказываются асимметричными относительно угла $\theta = \pi/2$ в системе (πp). При этом экспериментальные значения угловой асимметрии заряженных π -мезонов и протонов равны:

$$A_{\pi} \equiv \vec{n}_{\pi} / \overleftarrow{n}_{\pi} = 1,56 \pm 0,1;$$

$$A_p \equiv \vec{n}_p / \overleftarrow{n}_p = 0,1 \pm 0,1$$

(эти значения близки к средним значениям, полученным при энергии 5 Бэв: $A = 1,47$; $A_p = 0,23$).

Учитывая закон сохранения момента количества движения, в статистической теории Ферми можно получить анизотропные угловые распределения рождающихся частиц; однако, неизвестно, каким образом в рамках этой теории можно объяснить асимметрию угловых распределений.

3. Учет периферических столкновений

Как и в работе ^{1/}, для объяснения угловых распределений рождающихся частиц рассмотрим периферические ($\pi\pi$) и (πN) - столкновения.

На рис. 4 приведены значения угловой асимметрии протонов A_p , вычисленные для различных значений параметра $\xi = \sigma_p / \sigma_{in}$ (σ_{in} - полное сечение всех неупругих (πp)-взаимодействий). Для каждого значения ξ возможен целый интервал значений A_p в зависимости от выбора значений коэффициентов ξ_1 и ξ_2 , определяющих соответственно сечения периферических ($\pi\pi$) и (πN)-взаимодействий (см. ^{1/}). Заштрихованные области соответствуют всем возможным значениям коэффициентов ξ_1 и ξ_2 . Для фиксированного значения ξ величина A_p возрастает с ростом ξ_1 для варианта без изобары и уменьшается - для варианта с изобарой. (При $\xi_1 = 0$ оба варианта совпадают).

Из сравнения с экспериментальным значением A_p следует, что $\sigma_p > 0,55\sigma_{in}$ или $\sigma_p > 0,65\sigma_{in}$ в зависимости от того, рассматривается вариант с изобарой или вариант без изобары.

Следует отметить, что авторы^{/3/} считают значение 0,2 крайним верхним значением A_p . Истинное значение A_p , по их мнению, не превышает 0,1^{3/}. Вычисление угловой асимметрии π -мезонов A_{π} является значительно более сложной задачей, так как величина этой асимметрии определяется параметрами, точная величина которых в настоящее время неизвестна. Расчеты показали, что, выбирая соответствующим образом значения этих параметров, экспериментальную величину A_{π} можно объяснить при тех же значениях сечения σ_p , что и для нуклонов. При этом множественность рождающихся частиц и их энергетические распределения оказываются близкими к экспериментальным, а использованные при расчетах значения параметров остаются в области разумных значений (ср. ^{/1/}). Для более определенных заключений необходимо значительно более детальное рассмотрение.

В связи с большой величиной сечения периферических взаимодействий при (πN)-столкновениях можно думать, что и в случае (NN)-столкновений сечение σ_p в действительности окажется выше нижней оценки $\sigma_p > 0,2\sigma_{in}$ ^{(4), (7)}, которая следует из экспериментальных данных^{/8/}. В этом случае требуется уточнение экспериментальных данных.

4. О резонансном ($\pi\pi$)-взаимодействии

В ряде работ (см., например, ^{/9/ - /12/}) обсуждается влияние на расчеты по статистической теории возможного резонансного ($\pi\pi$)-взаимодействия. С теоретической точки зрения идея такого взаимодействия представляется очень привлекательной и весьма правдоподобной. Однако, вплоть до $E = 7$ Бэв все известные в настоящее время экспериментальные данные по множественности рождающихся частиц и их энергетическим спектрам возможно объяснить и без учета резонансного ($\pi\pi$)-взаимодействия^{/13/}. В рамках статистической теории Ферми

^{3/} Я благодарен В.В.Глаголеву и К.Д.Толстову за многократные обсуждения экспериментальных данных работы ^{/3/}.

учет такого взаимодействия значительно усложняет расчеты и не дает лучшего согласия с опытом. Например, в (πp) -столкновении при $E = 5$ Бэв в среднем рождается $4,3 \pm 0,1$ частиц^{/2/} (заряженных и нейтральных), что хорошо согласуется с рассчитанным по статистической теории значением 4,2. Учет резонансного $(\pi\pi)$ -взаимодействия дает значения 4,7 и 5,1 соответственно для вариантов Дайсона и Такеда. (Масса π -мезонной изобары в обоих случаях считалась равной 0,47 массы нуклона). Аналогичная ситуация имеет место при $E=7$ Бэв.

Не улучшает согласия с опытом учет резонансного $(\pi\pi)$ -взаимодействия и в случае (πN) -столкновений.

В работе^{/11/} высказывается предположение, что такие выводы обусловлены грубостью статистической теории. Но это как раз и означает, что в пределах точности современной теории нет необходимости учитывать резонансное $(\pi\pi)$ -взаимодействие при анализе (πN) - и $(\pi\pi)$ -столкновений. Это относится особенно к области энергий вблизи 1 Бэв, где статистическая теория применима с большими оговорками.

Однако, по-новому ставит вопрос о роли резонансного взаимодействия π -мезонов учет периферических взаимодействий. При периферических столкновениях рождается несколько меньше число частиц, чем при центральных столкновениях (ср. таблицу 11 из^{/1/}). Возможно, это скомпенсирует увеличение множественности вызванное учетом резонансного $(\pi\pi)$ -взаимодействия. Ответ можно получить после того как будут закончены подробные численные расчеты.

Рукопись поступила в издательский отдел
17 мая 1960 года.

Л и т е р а т у р а

1. V.S. Barashenkov, Nucl. Phys. 15, 486 /1960/.
ЖЭТФ, 37, 1484 (1959).
 2. G. Maenchen, W.B. Fowler, W.H. Powell, R.W. Wright, Phys.Rev. 108, 850 (1957).
 3. В.А.Беляков, Ван Шу-фень, В.В.Глаголев, Н.Далхажав, Р.М.Лебедев,
Н.Н.Мельникова, В.А.Никитин, В.Петржилка, В.А.Свиридов, М.Сук, К.Д.Тол-
стов. ЖЭТФ (будет опубликовано).
 4. V.S. Barashenkov, V.M. Maltsev, E.K. Mihul, Nucl. Phys. 13, 583 (1959).
 5. V.S. Barashenkov, Nuovo Cimento 14, 657 (1959).
 6. Ван Ган-чан и др. (будет опубликовано).
 7. Н.П.Богачев, С.А.Бунятов, И.М.Граменицкий, Ю.П.Мереков, В.М.Свиридов,
В.А.Ярба. ЖЭТФ (в печати).
 8. Н.П.Богачев, С.А.Бунятов, И.М.Граменицкий, В.Б.Любимов, Ю.П.Мереков,
М.И.Подгорейский, В.М.Свиридов, Д.Тувдендорж. ЖЭТФ, 37, 1225 (1959).
 9. E. Eborle, Nuovo Cimento, 8, 610 (1958).
 10. В.С.Барашенков, В.М.Мальцев. ЖЭТФ, 37, 884 (1959).
 11. В.И.Рускин, П.А.Усик. ЖЭТФ, 38, 929 (1960).
 12. R. Nagendorn, Nuovo Cimento, 15, 246 (1960).
 13. V.S. Barashenkov, Nuovo Cimento, 14, 656 (1959).
- В.С.Барашенков. "Неупругие взаимодействия быстрых частиц", доклад
на 2-й всесоюзной конференции по теории поля и элементарным частицам
в Ужгороде, май 1960 г. /будет опубликовано в материалах конференции/.

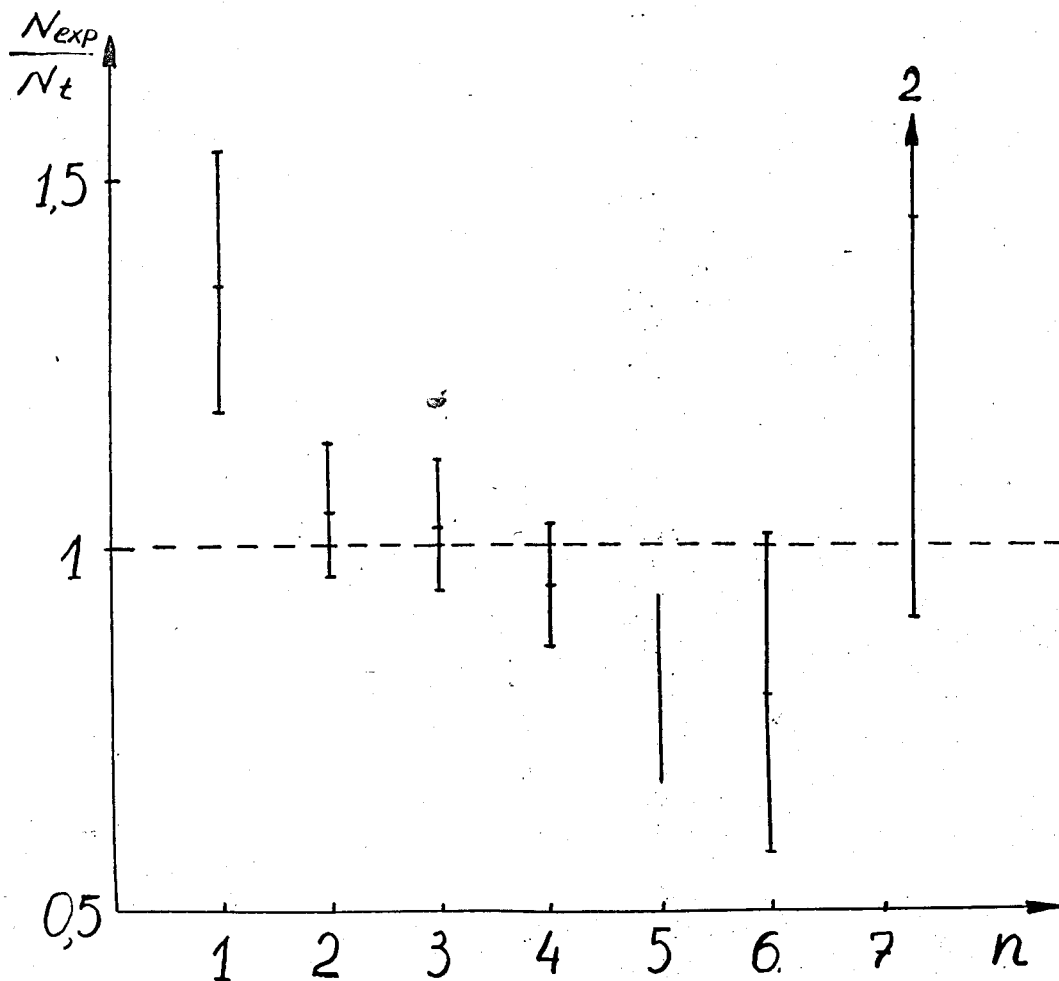


Рис. 1. Отношение наблюдаемого на опыте числа звезд с n -лучами к рассчитанному по статистической теории. Нечетное число лучей - (π - p)-столкновение; четное число лучей - (π - n)-столкновение. Приведены ошибки экспериментальных данных.

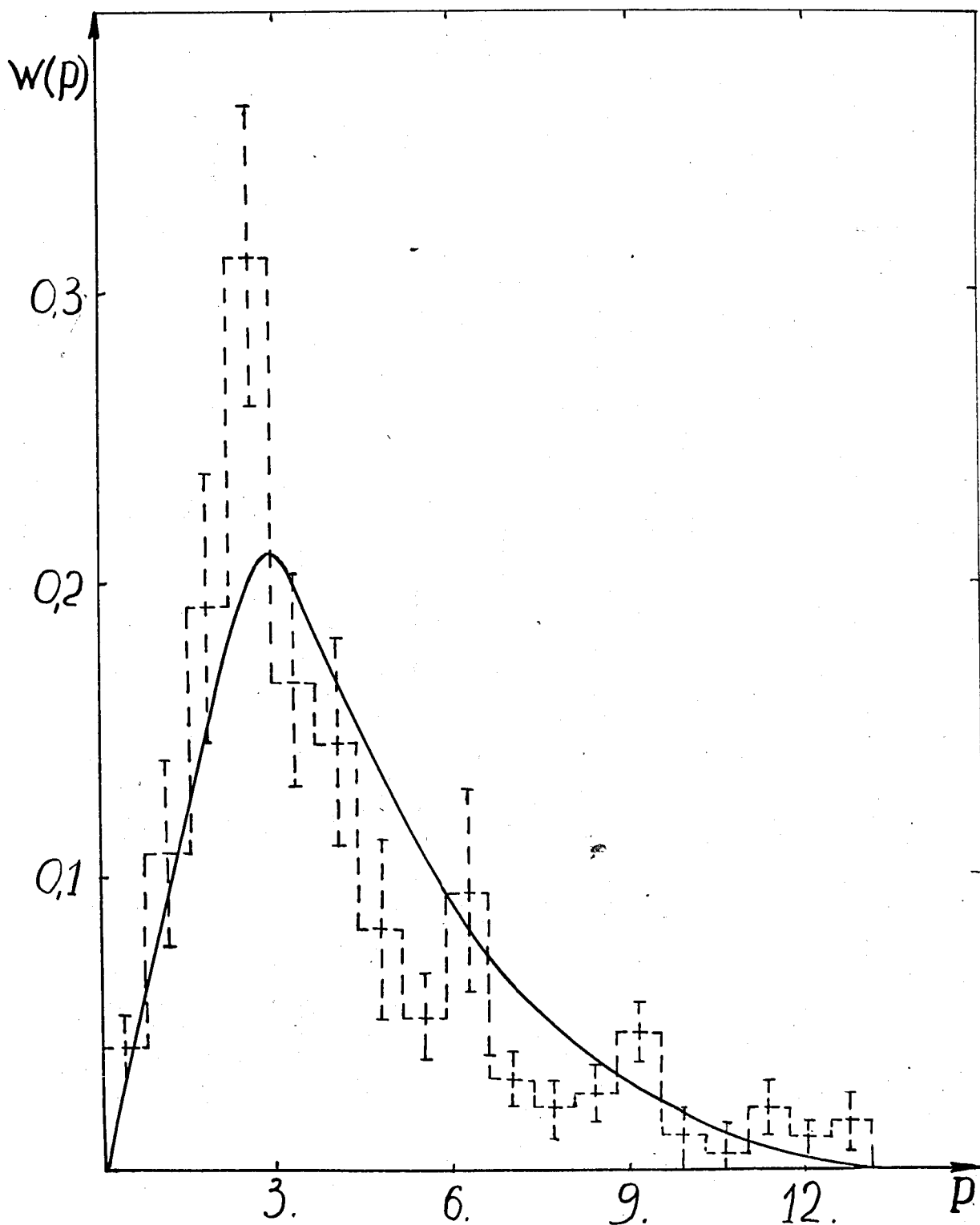


Рис. 2. Импульсный спектр π^- -мезонов в системе центра масс сталкивающихся π^- -мезона и протона. Пунктирная кривая - экспериментальная гистограмма для π^- -мезонов. Импульсы p приведены в единицах $m c$, где m - масса π^- -мезона.

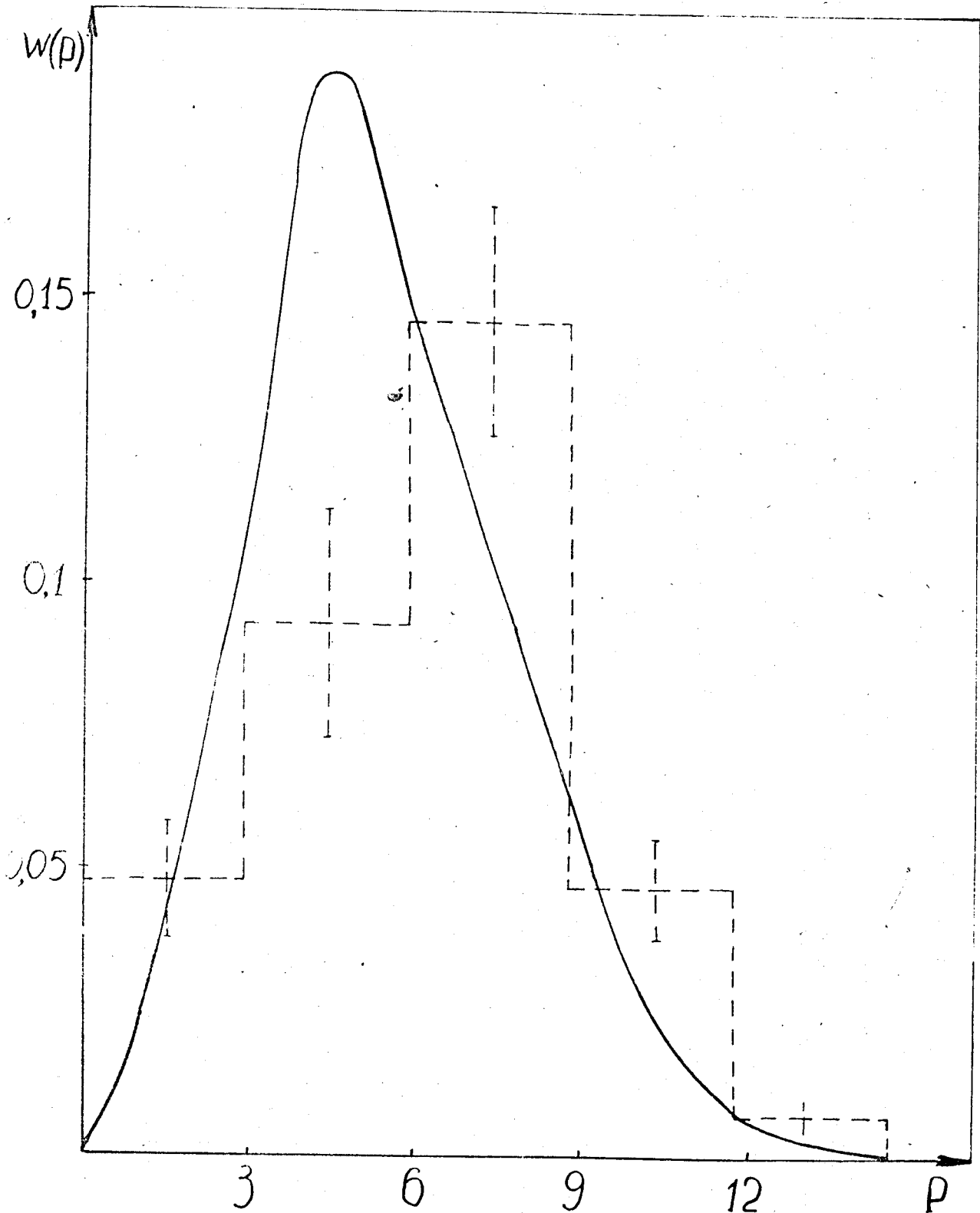


Рис. 3. Импульсный спектр протонов в системе центра масс сталкивающихся π^- -мезона и протона. Пунктирная кривая - экспериментальная гистограмма для протонов. Импульсы p приведены в единицах μc , где μ - масса π^- -мезона.

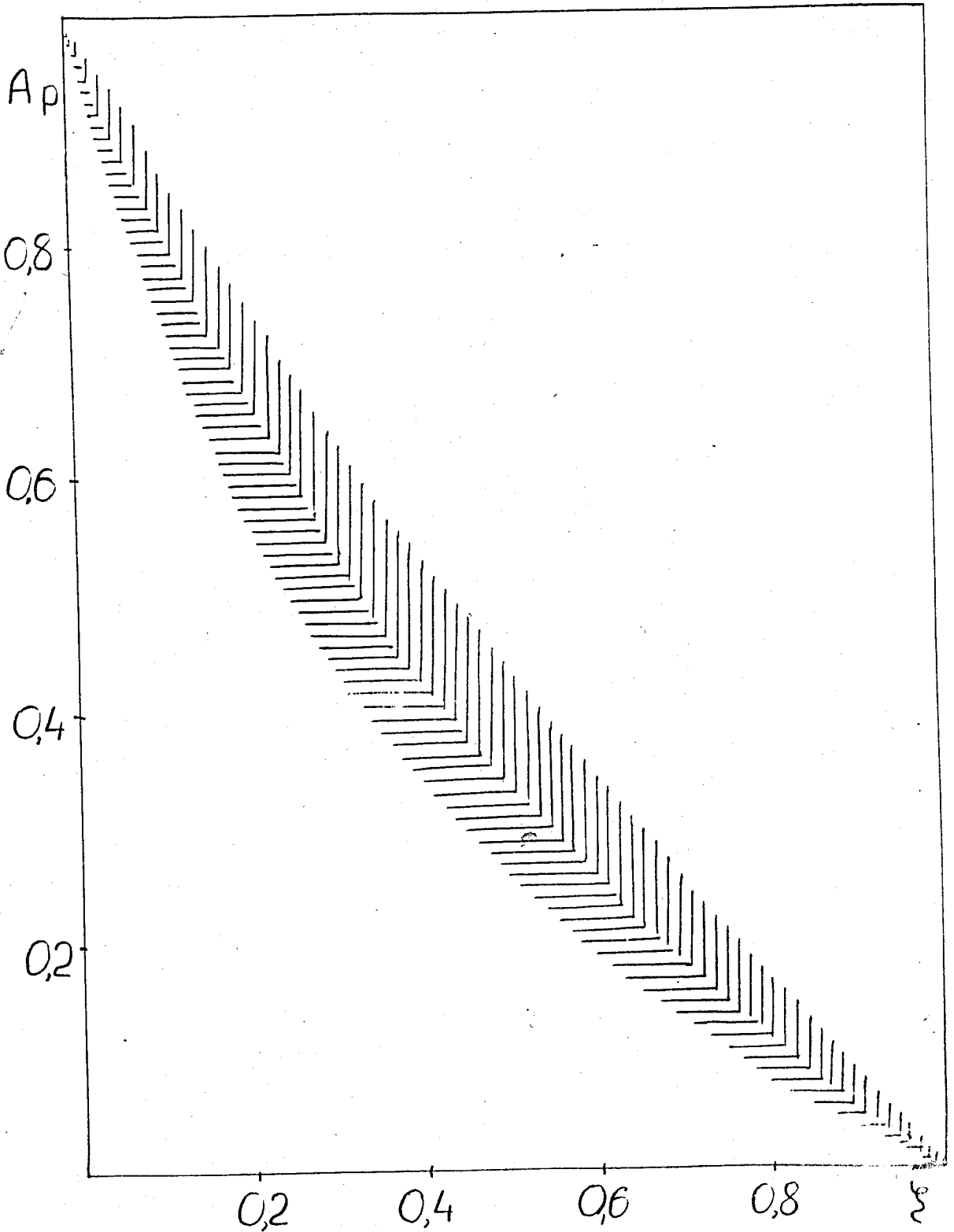


Рис. 4. Угловая асимметрия протонов $A_p = \vec{h}_p / \overleftarrow{h}_p$ в системе центра масс сталкивающегося π^- -мезона и протона. Штриховкой отмечена область возможных значений A_p . Горизонтальная штриховка - вариант с изобарой, вертикальная штриховка - вариант без изобары.