

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Лаборатория ядерных проблем

С346

Г-83

Р-383

Е.Л. Григорьев

УПРУГОЕ РАССЕЯНИЕ
ПОЛОЖИТЕЛЬНЫХ П-МЕЗОНОВ
ПРОТОНАМИ В ОБЛАСТИ ЭНЕРГИЙ
307-390 МЭВ

Автореферат диссертации на соискание ученой
степени кандидата физико-математических наук

Дубна 1959 год

P-383

Е.Л. Григорьев

C346

G-83

УПРУГОЕ РАССЕЯНИЕ
ПОЛОЖИТЕЛЬНЫХ П-МЕЗОНОВ
ПРОТОНАМИ В ОБЛАСТИ ЭНЕРГИЙ
307-390 МЭВ

Автореферат диссертации на соискание ученой
степени кандидата физико-математических наук

Объединенный институт
ядерных исследований
БИБЛИОТЕКА

Представление о π -мезонах, как квантах поля ядерных сил, послужило важным стимулом для теоретического и экспериментального изучения свойств π -мезонов и характеристик их взаимодействия с нуклонами. В настоящее время, когда еще отсутствует общая теория ядерных сил, основным способом интерпретации изучаемых явлений, в том числе и мезон-нуклонных взаимодействий, является их феноменологическое описание. Данные для такого описания черпаются из экспериментов по фоторождению мезонов, возникновению мезонов в нуклонных соударениях, рассеянию мезонов нуклонами и других опытов.

Рассеяние мезонов нуклонами, наряду с фоторождением, является простейшим процессом, на основе изучения которого можно выяснить законы взаимодействия π -мезонов с нуклонами. Анализ рассеяния, произведенный при помощи теории изотопического спина и фазовой теории рассеяния, позволил установить ряд закономерностей во взаимодействии π -мезонов с нуклонами, проявляющихся в широкой области энергии мезонов. Наиболее детально взаимодействие π -мезонов с нуклонами изучено до энергий ~ 300 Мэв, где обнаружен резонансный характер зависимости сечения от энергии мезонов в состоянии с полным угловым моментом $j = 3/2$ и изотопическим спином $T = 3/2$, при различных энергиях мезонов установлены фазовые сдвиги S и P состояний, найдена зависимость фазовых сдвигов от импульса мезонов и т.д. Область энергий свыше 300 Мэв изучена менее подробно, так как малые потоки π -мезонов, генерируемые на ускорителях, затрудняют проведение экспериментов с мезонами при высоких энергиях. В особенности значительные трудности, связанные с малыми потоками мезонов, возникают при выполнении опытов по измерению поляризации нуклонов отдачи в упругом π -нуклон рассеянии, когда наличие интенсивного пучка мезонов высокой энергии является одним из основных условий проведения поляризационных измерений.

Диссертация посвящена изучению углового распределения упругого рассеяния положительных мезонов на протонах при энергиях 310, 360 и 390 Мэв и измерению поляризации протонов отдачи в π^+p -рассеянии при энергии 307 Мэв. Опыты были выполнены на синхротроне Лаборатории ядерных проблем Объединенного института ядерных исследований

с помощью фотоэмульсий.

В основу диссертации вошли исследования, проведенные автором совместно с Н.А. Митиным в период с 1956 по 1959 год. Результаты этих исследований представлены в работах /1-4/, а также доложены на международных конференциях по физике частиц высоких энергий в Москве /1956г./, Женеве /1958 г./ и Киеве /1959 г./.

Диссертация содержит пять глав. В первой главе приводится краткий обзор экспериментальных сведений, полученных в экспериментах по π^-p - рассеянию при энергиях до ~ 500 Мэв, причем главное внимание уделено описанию результатов фазового анализа π^+p -рассеяния. Во второй главе приведены основные соотношения фазового анализа π^+p -рассеяния. Третья, четвертая и пятая главы содержат соответственно, описание методики измерения угловых распределений и поляризации протонов отдачи, результаты измерений и обсуждение полученных результатов.

1.

Измерение угловых распределений выполнено с помощью фотоэмульсий типа "Р" 400 μ . Рассеяние мезонов происходило на ядрах водорода, входящего в состав эмульсии. Критериями для отбора случаев упругого рассеяния на водороде служили угловая корреляция между рассеянным мезоном и протоном отдачи, компланарность и энергия протона отдачи.

Для определения поляризации измерялась лево-правая асимметрия при рассеянии протонов отдачи на ядрах в фотоэмульсии; последняя служила одновременно регистратором частиц и анализатором поляризации; протоны отдачи возникали в результате рассеяния мезонов в жидком водороде.

Угловые распределения, нормированные по полным сечениям для соответствующих энергий, приведены в таблице 1.

Таблица 1

Дифференциальные сечения упругого рассеяния π^+ -мезонов на водороде

| ϑ ц.и. град. | $\frac{dG}{d\Omega} \cdot 10^{-27} \text{ см}^2/\text{стерад}$ | | |
|------------------------------|--|----------------|-----------------|
| | 310 Мэв | 360 Мэв | 390 Мэв |
| 10-30 | 16,0 \pm 1,8 | 11,2 \pm 1,7 | 9,5 \pm 1,34 |
| 30-50 | 11,5 \pm 1,2 | 9,2 \pm 1,2 | 7,72 \pm 0,91 |
| 50-70 | 7,0 \pm 0,7 | 5,2 \pm 0,7 | 4,53 \pm 0,65 |
| 70-90 | 3,4 \pm 0,4 | 2,2 \pm 0,5 | 1,78 \pm 0,38 |
| 90-110 | 2,2 \pm 0,4 | 0,9 \pm 0,3 | 0,57 \pm 0,20 |
| 110-130 | 2,4 \pm 0,5 | 1,1 \pm 0,3 | 0,56 \pm 0,20 |
| 130-150 | 4,0 \pm 0,6 | 1,9 \pm 0,5 | 0,82 \pm 0,30 |
| 150-170 | 5,8 \pm 1,1 | 1,6 \pm 0,6 | 0,52 \pm 0,33 |

Угловые распределения анализировались с помощью представления их в виде разложения в ряд по степеням $\cos \vartheta$; коэффициенты соответствующих распределений, выраженные в единицах $10^{-27} \text{ см}^2/\text{стерад}$, представлены в таблице 11.

11.

Фазовый анализ рассеяния был выполнен с помощью графического метода /5/ и механического фазового анализатора /6/ для энергий мезонов 360 и 390 Мэв и на быстродействующей электронной счетной машине для энергии 310 Мэв. Анализ производился в двух предположениях: во-первых, что в рассеянии принимают участие только S и P -состояния / SP -анализ/ и, во-вторых, что участвует также и D -состояние с фазами δ_{35}^0 и δ_{35}^2 / SPA -

Т а б л и ц а II

Коэффициенты углового распределения \mathcal{F}^+ мезонов, рассеянных на водороде

| E П Мэв. | $\frac{d\sigma}{d\Omega}$ | | a | b | c | d | e |
|-------------|---|-------------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|--------------------|
| | $a + b \cos^2 \theta + c \cos^4 \theta$ | $d \cos^2 \theta + e \cos^4 \theta$ | | | | | |
| 310 | $2,4 \pm 0,20$ | $4,9 \pm 0,4$ | $2,43 \pm 0,22$ | $3,92 \pm 0,38$ | $9,3 \pm 1,0$ | $1,4 \pm 0,7$ | $-0,032 \pm 0,026$ |
| 360 | $1,33 \pm 0,30$ | $4,63 \pm 0,62$ | $1,02 \pm 0,16$ | $3,78 \pm 0,48$ | $9,35 \pm 1,31$ | $1,42 \pm 0,86$ | $-0,56 \pm 1,64$ |
| 390 | $1,12 \pm 0,22$ | $4,27 \pm 0,84$ | $0,60 \pm 0,09$ | $3,40 \pm 0,42$ | $9,85 \pm 1,37$ | $1,45 \pm 0,90$ | $-5,7 \pm 3,6$ |

анализ/. Фазовые сдвиги вычислялись методом наименьших квадратов.

В таблицах III и IV приводятся соответственно фазовые сдвиги решения Ферми, полученные при SP и SP \mathcal{R} -анализах.

Таблица III

Фазовые сдвиги SP - анализа

| Энергия мезонов Мэв | 310 | 360 | 390 |
|---------------------|-------------|-------------|-------------|
| α_s | -23° | 31° | -34° |
| α_{s_1} | -9° | -14° | -16° |
| α_{s_3} | 132° | 146° | 151° |

Таблица IV

Фазовые сдвиги SP \mathcal{R} -анализа

| Энергия мезонов Мэв | 310 | 360 | 390 |
|---------------------|---------------|-------------|---------------|
| α_s | $-16,8^\circ$ | -14° | -14° |
| α_{s_1} | -2° | -5° | -7° |
| α_{s_3} | $129,6^\circ$ | 143° | $148,5^\circ$ |
| δ_{s_3} | $2,8^\circ$ | 10° | 14° |
| δ_{s_5} | $-6,5^\circ$ | -13° | -17° |

Вычисленные по представленным в таблицах III и IV фазовым сдвигам дифференциальные сечения показаны на рис. 1, 2 и 3. Из этих рисунков видно, что экспериментальным точкам в одинаковой степени удовлетворяют сдвиги фаз как SP, так и SP \mathcal{R} -анализов. Эта

неопределенность, как показали измерения поляризации протонов отдачи, вызвана малыми значениями фаз \mathcal{R} состояний, которые особенно заметно должны проявляться при рассеянии мезонов на большие углы, а также неточностью в измерениях дифференциальных сечений под этими углами.

111.

Асимметрия при рассеянии протонов отдачи на ядрах в фотоэмульсии, на основании которой была определена поляризация, измерялась путем просмотра вдоль следов протонов. Всего было найдено 545 случаев рассеяния на углы $\geq 3^\circ$ в плоскости эмульсии. В таблице У приведены результаты измерений, суммированные по двум интервалам азимутальных углов φ от 0° до 60° и четырем интервалам углов рассеяния протонов ϑ .

Т а б л и ц а У

Значения асимметрии в рассеянии протонов отдачи

| ϑ | Асимметрия |
|-----------------------|-----------------|
| $3,5^\circ - 6^\circ$ | $0,03 \pm 0,07$ |
| $6^\circ - 9^\circ$ | $0,08 \pm 0,08$ |
| $9^\circ - 13^\circ$ | $0,12 \pm 0,12$ |
| $13^\circ - 27^\circ$ | $0,20 \pm 0,20$ |

Вычисленная по данным таблицы У и работы [7] поляризация протонов отдачи, усредненная по четырем угловым интервалам, имеет величину $P = -0,19 \pm 0,17$. Знак поляризации выбран относительно направления $\vec{\pi}$; определяемого векторным произведением $\vec{k}_p \times \vec{k}_\pi$, где \vec{k}_p - импульс протона отдачи и \vec{k}_π - импульс π^+ -мезона до рассеяния. Этому значению поляризации и дифференциальному сечению для мезонов с энергией 307 Мэв [8] наилучшим образом удовлетворяет фазовый набор:

$$\alpha_3 = -23,2^\circ \quad \alpha_{33} = 133,2^\circ \quad \alpha_{31} = -8,4^\circ$$

$$\delta_{33} = \begin{matrix} 2^\circ & +3^\circ \\ -2^\circ & \end{matrix} \quad \delta_{35} = \begin{matrix} -2^\circ & +2^\circ \\ -3^\circ & \end{matrix}$$

Крайние значения фазовых сдвигов α'_{35} и δ'_{35} соответствуют предельным значениям Р.

З а к л ю ч е н и е

Совокупность данных, включающих результаты измерения поляризации протонов отдачи при энергии π^+ -мезонов 307 Мэв и результаты фазового анализа упругого $\pi^+ - p$ -рассеяния мезонов при различных энергиях, позволяют сделать следующие выводы:

1. Исключаются фазовые наборы типа Янга:

1/ Фазовый набор, соответствующий SP - анализу.

2/ Фазовые наборы, соответствующие SPA - анализу, в которых фазы \mathcal{R} -состояний δ'_{35} и δ'_{33} имеют соответственно отрицательный и положительный знаки.

3/ Фазовые наборы, в которых δ'_{33} и δ'_{35} имеют соответственно положительный и отрицательный знаки и по абсолютной величине не превышают 5° .

2. Наилучшим образом экспериментальным данным удовлетворяют фазовые наборы типа Ферми, в которых фазы δ'_{33} и δ'_{35} имеют соответственно положительный и отрицательный знаки. Фазовые наборы, в которых δ'_{33} и δ'_{35} имеют соответственно отрицательные и положительные значения, исключаются с высокой вероятностью, так как они дают значения поляризации, противоположное по знаку величине, полученной в эксперименте. Исключаются также фазовые наборы, в которых фазы δ'_{33} и δ'_{35} имеют одинаковые знаки.

3. Сдвиги фаз \mathcal{R} -состояний в области энергии π^+ -мезонов 300 - 400 Мэв значительно меньше сдвигов фаз S и P - состояний;

их зависимость от импульса мезонов можно представить в виде $0,04^\circ \eta^2$.

4. В области энергий π^+ -мезонов ~ 200 Мэв сдвиг фазы α_3 испытывает отступление от линейной зависимости $\alpha_3 = -8,4^\circ \eta$, проявляющейся в более быстром росте $|\alpha_3|$ с импульсом мезона [рис. 4]. Изменение α_3 с импульсом мезона можно представить в виде

$$\alpha_3 = -8,3^\circ \eta - 0,91^\circ \eta^3.$$

5. Изменение сдвига фазы α_{31} удовлетворительно описывается соотношением $\alpha_{31} = -0,83 \eta^3$.

6. Значение действительной части амплитуды рассеяния вперед, полученной из применения условий причинности к мезон-нуклонному рассеянию при константе взаимодействия $f^2 = 0,08$ в пределах ошибок совпадает со значением амплитуды, вычисленной через фазовые сдвиги при энергиях до ~ 400 Мэв.

Л и т е р а т у р а

1. Е.Л. Григорьев, Н.А. Митин. ЖЭТФ, 31, 37, 1956.
2. Н.А. Митин, Е.Л. Григорьев. ЖЭТФ, 32, 440, 1957.
3. Е.Л. Григорьев, Н.А. Митин. Поляризация протонов отдачи в упругом π^+ -p-рассеянии при энергии 307 Мэв. Препринт ОИЯИ, 1959г. ЖЭТФ - в печати.
4. Е.Л. Григорьев, Н.А. Митин. Упругое рассеяние протонами положительных π -мезонов с энергией 380 Мэв. ЖЭТФ, в печати.
5. J. Ashkin, S.H. Vosko. Phys. Rev. 91, 1248, 1953.
6. Н.П. Клепиков. ЖЭТФ, 30, 1155, 1956.
7. В.Т. Feld, В.С. Maglic. Phys. Rev. Letters. 10, 375, 1958.
8. А.И. Мухин, Б.М. Понтекерво. ЖЭТФ, 31, 550, 1956.

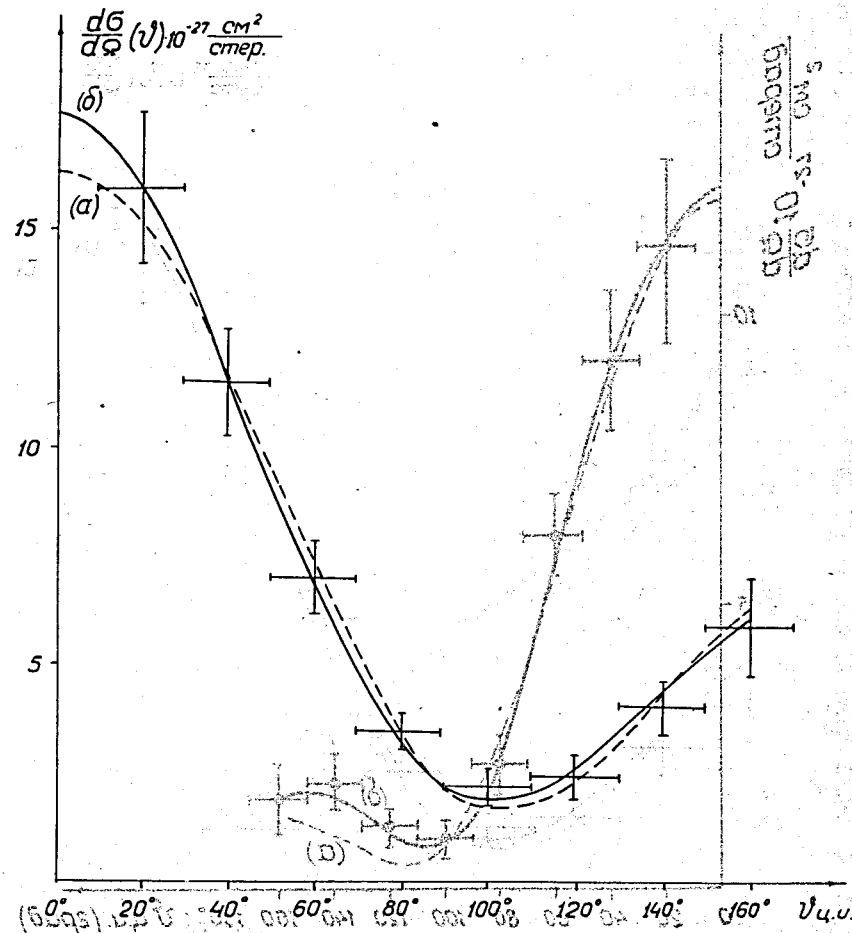


Рис. 1. Угловое распределение π^+ -мезонов с энергией 310 Мэв. Кривые (а) и (б) вычислены по фазам BR и SPD-анализа.

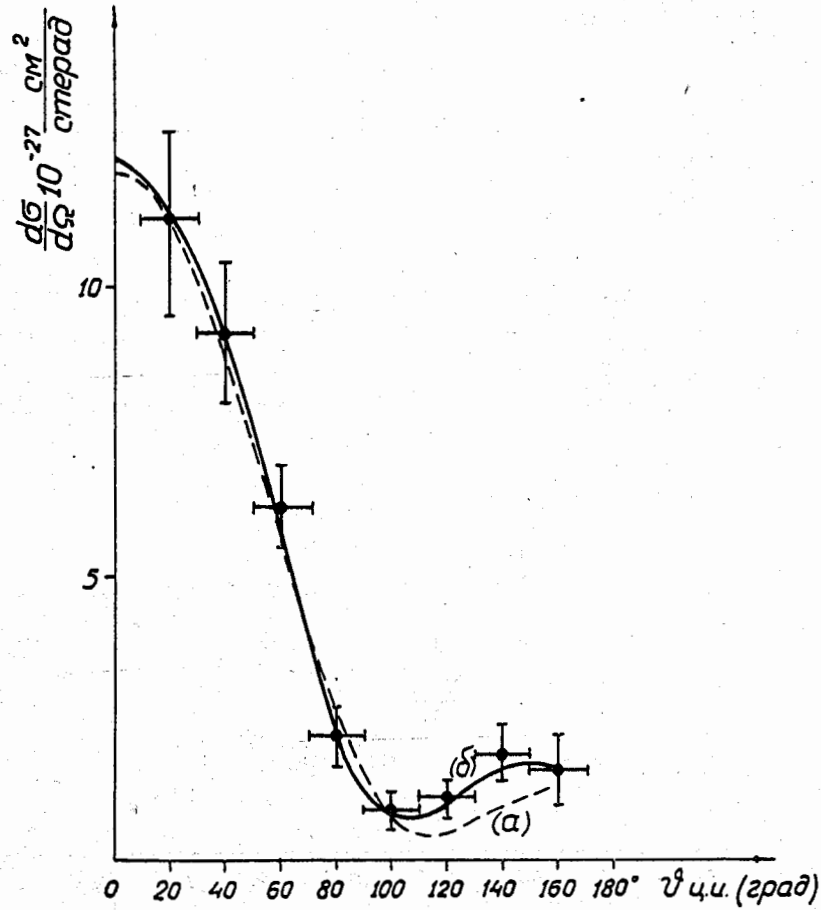


Рис. 2. Угловое распределение π^\pm мезонов с энергией 360 мэв. Кривые (а) и (б) вычислены по фазам SP и SPD -анализа.

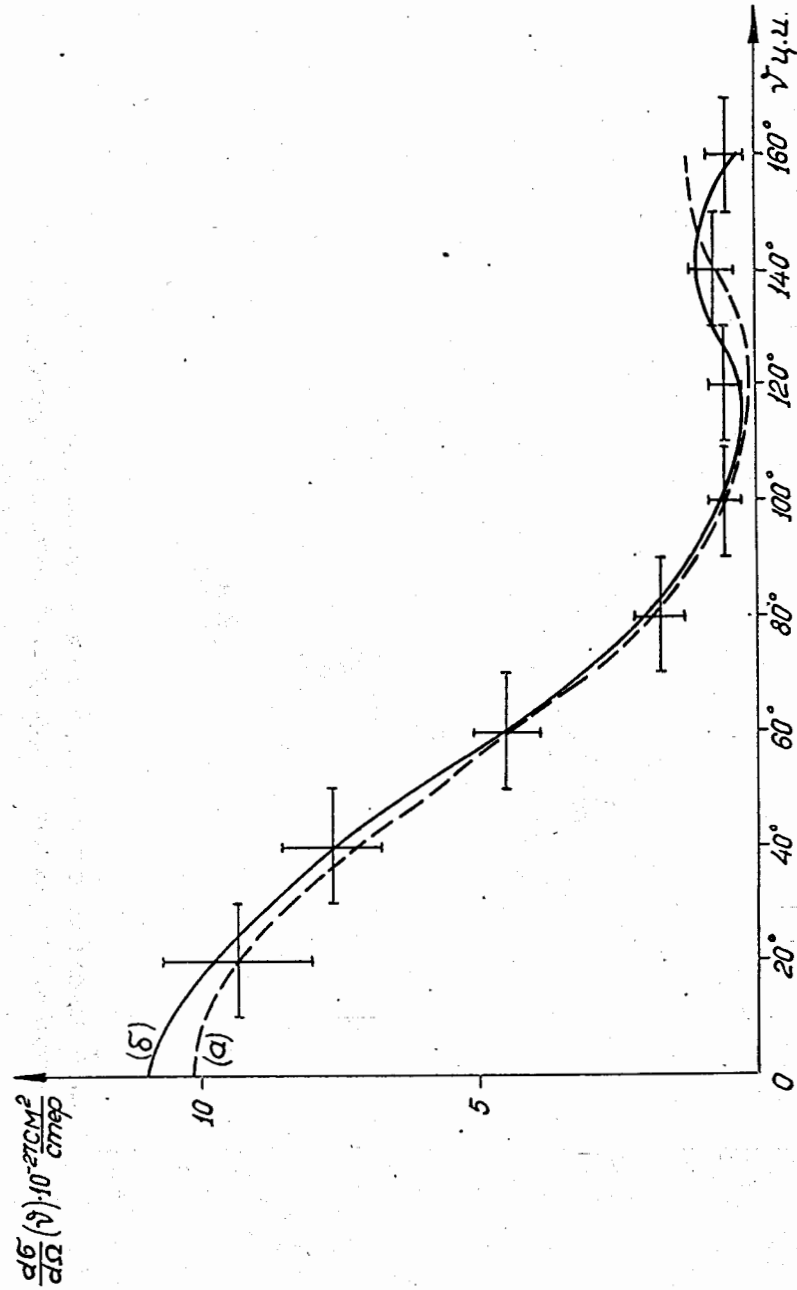


Рис. 3. Угловое распределение π^+ -мезонов с энергией 390 мэв. Кривые (а) и (б) вычислены по фазам SP и SPD -анализа.

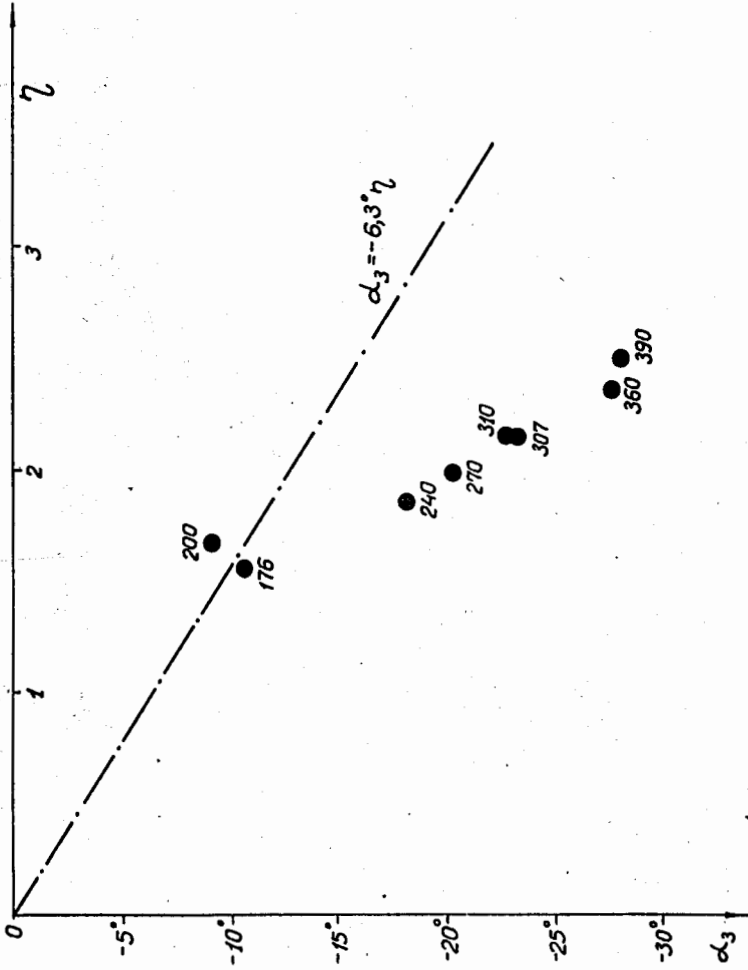


Рис. 4. Изменение фазы α_3 в зависимости от импульса мезона η .
Значения α_3 при энергиях 176, 200, 240, 270 мэВ взяты из SP анализа работы [8].