

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Лаборатория ядерных проблем

Ф346

C-65

P-316

Л.М.Сороко

ИССЛЕДОВАНИЕ
ПОЛЯРИЗАЦИОННЫХ ЭФФЕКТОВ
В РЕАКЦИИ $p+p \rightarrow d+\pi^+$
ПРИ ЭНЕРГИЯХ ПРОТОНОВ
530-670 МЭВ

Автореферат диссертации, представленной на
соискание ученой степени кандидата физико-
математических наук

Научный руководитель -
член-корреспондент АН СССР,
профессор

М.Г. Мещеряков

Дубна, 1959 год

P-316

C346
C-65

Л.М.Сороко

ИССЛЕДОВАНИЕ
ПОЛЯРИЗАЦИОННЫХ ЭФФЕКТОВ
В РЕАКЦИИ $p+p \rightarrow d+\pi^+$
ПРИ ЭНЕРГИЯХ ПРОТОНОВ
530-670 МЭВ

Автореферат диссертации, представленной на
соискание ученой степени кандидата физико-
математических наук

Научный руководитель -
член-корреспондент АН СССР,
профессор

М.Г. Мешеряков

Объединенный институт
ядерных исследований
БИБЛИОТЕКА

В настоящее время еще не удалось построить завершенную теории процессов образования мезонов при соударении нуклонов и поэтому весьма большое значение приобретают эксперименты, которые могут дать полные сведения об упомянутых процессах.

Диссертация посвящена анализу программы экспериментов по наблюдению поляризационных эффектов в реакции $p+p \rightarrow d+\pi^+$, являющейся наиболее интересной среди процессов образования мезонов в нуклон-нуклонных соударениях, и описанию поляризационных экспериментов, выполненных на синхротроне Лаборатории ядерных проблем Объединенного института ядерных исследований в течение 1956-1958 г.г. группой сотрудников в составе Ю.К.Ажимова, К.С.Мариш, О.В.Савченко и автора.

Диссертация состоит из четырех глав. В первой главе дан обзор современных представлений о процессах образования мезонов нуклонами, а также обсуждение вопроса о количестве опытов, необходимых для полного экспериментального исследования процессов соударений протона с протоном. Во второй главе детально рассмотрены возможные опыты по исследованию процесса $p+p \rightarrow d+\pi^+$ как на неполяризованном пучке протонов, так и на поперечно- и продольно-поляризованных пучках. В третьей главе описаны эксперименты по изучению реакции $p+p \rightarrow d+\pi^+$ на поляризованном пучке протонов при энергии 536 Мэв, 616 Мэв и 654 Мэв. Четвертая глава посвящена измерениям векторной поляризации дейтронов от реакции $p+p \rightarrow d+\pi^+$ на неполяризованном пучке протонов при энергии 670 Мэв. В конце диссертации даны выводы, вытекающие из проведенных экспериментов.

1.

В первой главе дано изложение работ, посвященных анализу реакции $p+p \rightarrow d+\pi^+$, которые не вошли в известный обзор Гелл-Манна и Ватсона^{/2/}. Подробно рассматривается феноменологическая теория Мандельштама^{/5/}, которая хорошо объясняет основные экспериментальные факты, Чтобы устранить допущения и упрощения в этой феноменологической теории необходимо выполнить все эксперименты полного набора. В связи с этим

рассматривается схема описания процессов соударения нуклонов и других процессов, происходящих при энергии падающего протона около 600 Мэв, с помощью элементов S -матрицы. Полная S -матрица в этих условиях может быть охарактеризована 48 действительными параметрами, являющимися функциями энергии системы. Если те же процессы рассмотреть в самом общем виде, то задача сведется к нахождению 99 комплексных функций углов при каждой энергии системы, то есть, к выполнению 99 независимых поляризационных экспериментов. Очевидна целесообразность изучения процессов соударения протона с протоном в формулировке обобщенного фазового анализа в терминах элементов S -матрицы.

11.

Во второй главе приводятся явные выражения средних значений спинтензоров для реакции $p+p \rightarrow d+\pi^+$ с учетом s -, p - и d -состояний π^+ -мезона и дейтрона.

Сечение реакции $p+p \rightarrow d+\pi^+$ на неполяризованном пучке протонов определяется коэффициентами, квадратичными относительно амплитуд переходов. Коэффициенты, определяющие угловое распределение реакции, содержат интерференцию, обусловленную двумя p -переходами, интерференцию между s - и d -переходами, а также интерференцию, возникающую от двух разных d -переходов.

Знание угловой зависимости азимутальной асимметрии реакции $p+p \rightarrow d+\pi^+$ на поляризованном пучке протонов позволяет разделить интерференцию между s - и p -переходами от интерференции между p - и d -переходами.

Дополнительные сведения с соотношении амплитуд переходов рассматриваемой реакции могут быть получены в опытах по измерению состояний поляризации дейтронов.

Далее рассматриваются другие поляризационные эффекты. При этом из дальнейших экспериментов наиболее интересными могут оказаться опыты на продольно-поляризованном пучке.

111.

К началу проведения описываемых экспериментов было известно, что данные ^{16/} о полных сечениях реакции $p+p \rightarrow d+\pi^+$ при энергии протонов от 460 до 600 Мэв, а также данные ^{17/} для более высоких энергий, полученные при исследовании обратной реакции $\pi^+ + d \rightarrow p+p$ при энергии π^+ -мезона от 174 Мэв до 307 Мэв, указывают на резонансный характер этих двух взаимно-обратных процессов. Угловые распределения реакции $p+p \rightarrow d+\pi^+$ при энергии протонов от 460 до 660 Мэв объяснились, исходя из предположения, что испускание π^+ -мезона происходит преимущественно в p -состоянии. Однако, эксперименты на неполяризованном пучке протонов не позволяли сделать вполне определенные заключения о соотношении между различными амплитудами переходов. В частности, нельзя было решить вопрос об интенсивности d -переходов.

Необходимую информацию о соотношении амплитуд переходов могут дать опыты, связанные с наблюдением различных поляризационных эффектов.

На поляризованном пучке протонов реакция $p+p \rightarrow d+\pi^+$ изучалась при энергии протонов 314 Мэв ^{13/}. Наблюдаемая асимметрия была обусловлена интерференцией между s - и p -состояниями разлетающихся частиц. Аналогичные опыты были выполнены при энергии протонов 415 Мэв ^{14/}. Значения асимметрии, полученные при этой энергии под двумя различными углами, интерпретировались авторами этой работы лишь как возможное указание на наличие эффекта d -волны.

Частицы в реакции $p+p \rightarrow d+\pi^+$, благодаря наличию механизма P -разлета, могут быть испущены как в d -состояниях, так и в s -состоянии. Исходной причиной этой возможности является дополнительный момент количества движения, уносимый нуклоном, невзаимодействующим с π -мезоном. Таким образом, появление d -переходов в реакции $p+p \rightarrow d+\pi^+$ возможно при полном отсутствии d -волн в мезон-нуклонной подсистеме.

Описываемые эксперименты проводились на поляризованном пучке про-

тонов, получаемом в результате упругого рассеяния на ядрах углерода выведенного из камеры синхротронного пучка неполяризованных протонов. Такой метод давал возможность, работая в хорошей геометрии, выбрать оптимальные условия для наблюдения процессов образования мезонов в протон-протонных соударениях.

В главе описаны: выбор оптимальных условий эксперимента, измерения средней энергии поляризованного пучка, оценка эффекта двойного рассеяния протонов в первой мишени, измерения поляризации пучка, контрольные измерения, параметры пучка при различных энергиях, метод юстировки аппаратуры, оценка ложной асимметрии за счет неточности в отсчете угла наблюдения, схема расположения телескопов из сцинтилляционных счетчиков, а также угловое разрешение аппаратуры.

При обработке результатов эксперимента вводилась величина

$$\Lambda(\theta) = \frac{\varepsilon(\theta)}{P \sin \theta} \frac{\left(\frac{d\sigma}{d\Omega}\right)_{pp \rightarrow d\pi^+}^{\text{НЕПОЛАР}}}{\left(\frac{\sigma_t}{4\pi}\right)}, \quad /1/$$

где $\varepsilon(\theta)$ - измеренная асимметрия, P - степень поляризации пучка, θ - угол испускания π^+ -мезона в с.ц.м.

На рис. 1 и 1а приведены полученные значения $\Lambda(\theta)$ для трех энергий. В проведенных экспериментах, как видно из рис.1, была обнаружена сильная угловая зависимость величины $\Lambda(\theta)$. Этот факт является прямым доказательством d -переходов в реакции $p+p \rightarrow d+\pi^+$ при всех трех энергиях.

Найденные значения $\Lambda(\theta)$ аппроксимировались выражениями

$$\Lambda(\theta) = \frac{1}{\gamma_0 + \frac{1}{3}\gamma_2} (\lambda_0 + \lambda_1 \cos \theta + \lambda_2 \cos^2 \theta), \quad /2/$$

где $k^2 \sigma_t = 4\pi(\gamma_0 + \frac{1}{3}\gamma_2)$, k - волновое число протона в с.ц.м.

Изменение зависимости $\Lambda(\theta)$ при переходе от одной энергии к другой, обнаруженное в данном эксперименте, можно проследить в области несколько меньших энергий, если использовать данные для энергий протонов 415 Мэв и 314 Мэв. На рис. 2 приведены зависимости коэффициентов $\frac{\lambda_0}{\gamma_0 + \frac{1}{3}\gamma_2}$, $\frac{\lambda_1}{\gamma_0 + \frac{1}{3}\gamma_2}$ и $\frac{\lambda_2}{\gamma_0 + \frac{1}{3}\gamma_2}$ от импульса π^- -мезона $\eta = \frac{p}{m_\pi c}$ в с.ц.м.

При энергии, близкой к пороговой, π -мезон может испускаться только в S -состоянии, и все коэффициенты λ_i здесь должны обращаться в нуль. В области малых значений импульса коэффициент $\frac{\lambda_0}{\gamma_0 + \frac{1}{3}\gamma_2}$, будучи отрицательным, возрастает по мере увеличения импульса мезона, достигает экстремального значения, затем обращается в нуль при энергии около 530 Мэв, и вновь возрастает, но уже с положительным знаком. В области малых импульсов мезона изменение коэффициента $\frac{\lambda_0}{\gamma_0 + \frac{1}{3}\gamma_2}$ обусловлено возрастанием амплитуды p -перехода по отношению к амплитуде S -перехода. При более высоких значениях η к $S-p$ -интерференции добавляется $p-d$ -интерференция. По-видимому, эффекты этих двух интерференций становятся сравнимыми друг с другом, начиная с энергии протонов, при которой коэффициент $\frac{\lambda_0}{\gamma_0 + \frac{1}{3}\gamma_2}$ достигает своего экстремального значения. Подтверждением этого служит то, что коэффициент $\frac{\lambda_2}{\gamma_0 + \frac{1}{3}\gamma_2}$, обусловленный интерференцией только между p - и d -переходами, становится наблюдаемым при энергии протонов около 450 Мэв. При этом коэффициент $\frac{\lambda_1}{\gamma_0 + \frac{1}{3}\gamma_2}$, обусловленный эффектами $S-d$ - и $d-d$ -интерференций, оказался очень малой величиной, и его удалось обнаружить в эксперименте с очень большой ошибкой.

Результаты выполненного эксперимента на поляризованном пучке протонов, а также уже известные данные о реакции $p+p \rightarrow d+\pi^+$ на неполяризованном пучке протонов можно одновременно объяснить, если допустить, что в рассматриваемой области энергии амплитуда резонансного перехода ${}^4D_2 \rightarrow {}^3S_1 p_2$ связанного с механизмом S -разлета, значительно превышает амплитуды S - и d -переходов. В этом случае доступными для наблюдения окажутся эффекты интерференций между S - и p -переходами, а также между p - и d -переходами, в то время как интерференция между S - и d -переходами, а также между различными d -переходами, соответствует эффекту второго порядка малости.

Основываясь на этом предположении, можно произвести оценки некоторых парциальных сечений, а также обсудить вопрос о $p+p$ рассеянии в состоянии 4D_2 .

1У.

В четвертой главе описываются эксперименты по определению векторной поляризации дейтронов в реакции $p+p \rightarrow d+\pi^+$ при энергии протонов 670 Мэв. Задача этого эксперимента состояла помимо получения дополнительной информации о реакции $p+p \rightarrow d+\pi^+$, в проверке сделанных ранее выводов о соотношении амплитуд переходов и в уточнении оценок парциальных сечений.

При измерении поляризации дейтронов был использован метод Tripp'a^[1], дающий возможность определять только векторную поляризацию дейтрона. Эксперимент проводился на пучке протонов со средней энергией 670 Мэв и с полной интенсивностью около $5 \cdot 10^{10}$ протонов/сек. Используемая аппаратура позволяла производить селекцию по амплитуде импульсов от одного из счетчиков телескопа. В главе описываются опыты по настройке аппаратуры и условия отдельных опытов. Интенсивность дейтронов в месте расположения второй мишени составляла около $2,5 \cdot 10^3$ 1/сек.

Асимметрия при рассеянии на ядрах углерода поляризованных дейтронов, образованных в реакции $p+p \rightarrow d+\pi^+$, была измерена под тремя углами.

На рис. 3 приведены значения $N(\theta_d)$, связанные с наблюдаемыми величинами следующим соотношением

$$N(\theta_d) = v_0 + v_2 \cos^2 \theta_d = \frac{e(\theta_d)}{2i \langle T_{11} \rangle_{dc}} \frac{\gamma_0 + \gamma_2 \cos^2 \theta_d}{\frac{1}{4} \sqrt{\frac{3}{2}} \sin \theta_d \cos \theta_d}, \quad /3/$$

где e - асимметрия рассеяния дейтронов на углеродной мишени, а

$$v_0 = -/9,5 \pm 2,8/ \cdot 10^{-2}; \quad v_2 = -/0,2 \pm 3,6/ \cdot 10^{-2}; \quad \delta v_0 \cdot \delta v_2 = 6,7 \cdot 10^{-4}.$$

Используя полученные результаты, а также данные об угловом распределении процесса $p+p \rightarrow d+\pi^+$ на неполяризованном пучке протонов при энергии 660 Мэв, можно определить амплитуды переходов ${}^1S_0 \rightarrow {}^3S_1 p_0$ и ${}^1D_2 \rightarrow {}^3S_1 p_2$ которые приведены на рис.4. В тех же обозначениях приведены результаты эксперимента^[1], выполненного при энергии 340 Мэв.

Краткие выводы

1. Проведенные эксперименты по измерению азимутальной асимметрии испускания π^- -мезона в реакции $p+p \rightarrow d+\pi^+$ на поляризованном пучке протонов при энергиях 536, 616 и 654 Мэв позволили обнаружить d -переходы в этой реакции.

2. Из анализа полученных результатов, а также из данных других экспериментов, выполненных при энергии протонов 314 Мэв и 415 Мэв, следует, что испускание частиц в d -состояниях можно наблюдать в опытах на поляризованном пучке, начиная с энергии протонов около 450 Мэв.

3. Результаты настоящих экспериментов совместимы с предположением о том, что во всей исследованной области энергии амплитуды s - и d -переходов малы по сравнению с амплитудой "резонансного" p -перехода: ${}^1D_2 \rightarrow {}^3S_1 p_2$, а амплитуды d -переходов: ${}^3F_2 \rightarrow {}^3S_1 d_2$ и ${}^3F_3 \rightarrow {}^3S_1 d_3$ равны нулю.

4. Найдены оценки минимального суммарного вклада s - и d -переходов при энергии протонов 650 Мэв, а именно:

$$\sigma(s+d) \geq 5,4 \cdot 10^{-2} \sigma_t(pp \rightarrow d\pi^+).$$

5. Вклад нерезонансного p -перехода ${}^1S_0 \rightarrow {}^3S_1 p_0$ в полное сечение при той же энергии составляет всего около 1%.

6. Все результаты, полученные в описанных экспериментах, согласуются с выводами, вытекающими из резонансной феноменологической теории процессов образования мезонов в $|p+p|$ -соударениях, которая была развита Мандельштамом.

7. Помимо опытов по исследованию реакции $p+p \rightarrow d+\pi^+$ на неполяризованном и поляризованном пучках протонов требуется проведение экспериментов по измерению спиновых состояний дейтрона на неполяризованном, а также продольно-поляризованном пучке протонов.

Последний из упомянутых экспериментов должен дать наиболее определенные данные об интенсивности d -переходов, и в случае его выполнения

изучение реакции $p+p \rightarrow d+\pi^+$ при энергии протонов около 600 Мэв будет полностью завершено.

Изложенные в диссертации исследования опубликованы в работах /8-9/, а также в препринтах Объединенного института /10, 11, 12, 13/.

Л и т е р а т у р а

1. R.D. Tripp, Phys.Rev., 102, 862, 1956.
2. M. Gell-Mann, K. Watson, Ann.Rev. Nucl.Sci. 4, 219, 1954.
3. F. Cramford Jr., M. Stevenson, Phys.Rev., 95, 1112, 1954.
4. T. Fields, G. Fox, F. Kane, R. Stallwood, R. Sutton, Phys. Rev., 96, 812, 1954.
5. S. Mandelstam, Proc.Roy.Soc., 244, 491, 1958.
6. М.Г. Мешеряков, Б.С.Неганов, ДАН, 100, 677, 1955.
7. Б.С.Неганов, Л.Б.Парфенов, ЖЭТФ, 34, 767, 1958.
8. Ю.К.Акимов, О.В.Савченко, Л.М.Сороко, ЖЭТФ, 35, 89, 1958;
Nucl.Phys., 8, 637, 1958.
9. Л.М.Сороко, ЖЭТФ, 35, 276, 1958 г.
10. Ю.К.Акимов, К.С.Мариш, О.В.Савченко, Л.М.Сороко. Измерение поляризации дейтрона в реакции $p+p \rightarrow d+\pi^+$ при энергии 670 Мэв. Препринт 1959 г., ЖЭТФ, в печати, 1959.
11. Л.М.Сороко. Поляризационные эффекты в процессах образования мезонов. Обзор. Препринт ОИЯИ, 1958.
12. Л.М.Сороко. Поляризационные эффекты в реакции $p+p \rightarrow d+\pi^+$ с учетом s -, p - и d - состояний π^+ -мезона. Препринт, 1958.
13. Л.М.Сороко. Реакция $p+p \rightarrow d+\pi^+$ на продольно-поляризованном пучке протонов. Препринт, 1959.

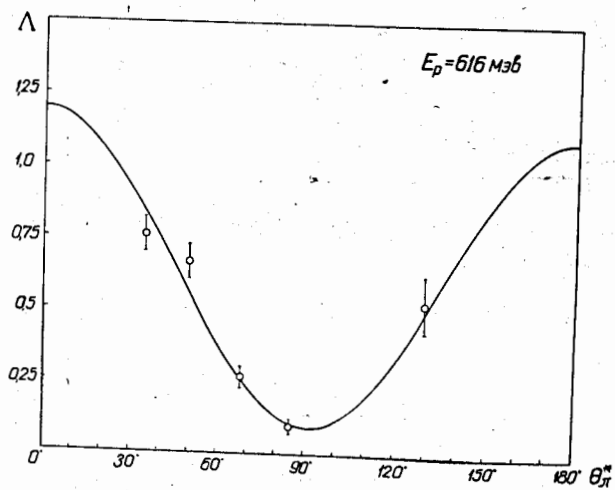
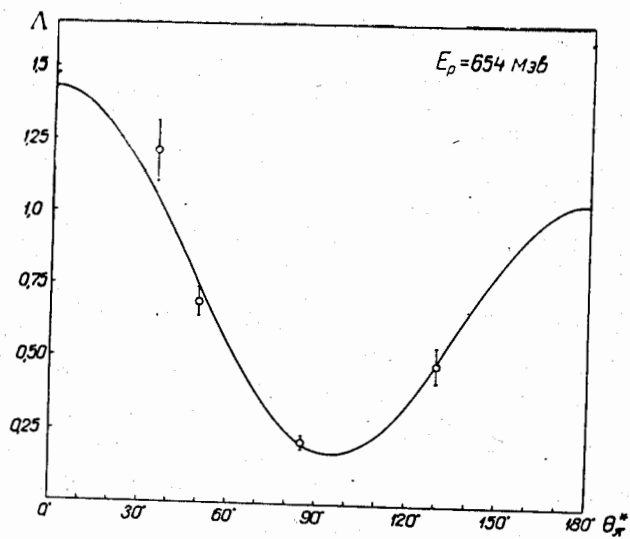


Рис. 1.

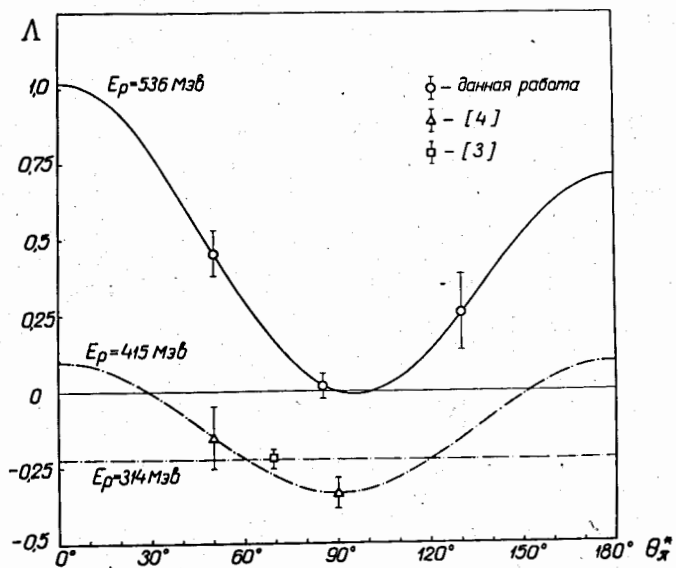


Рис. 1а.

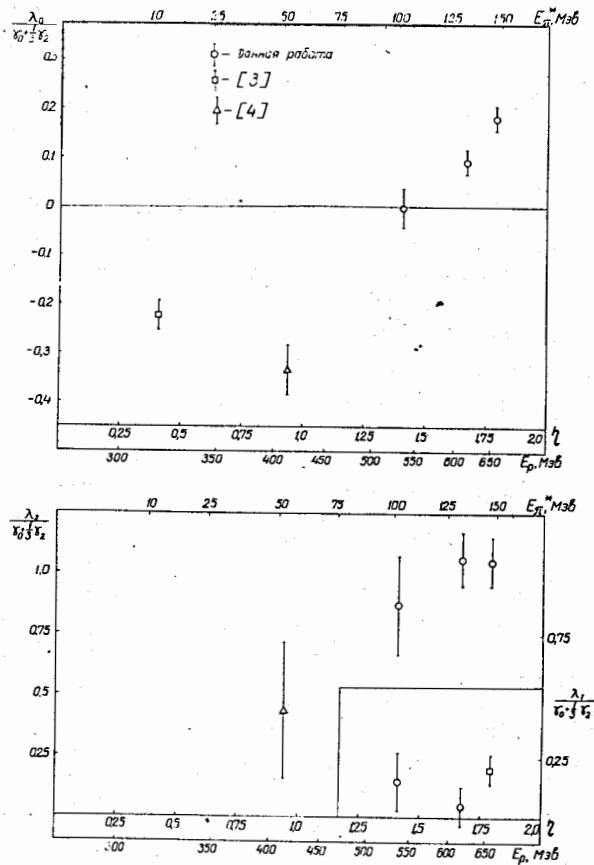


Рис. 2.

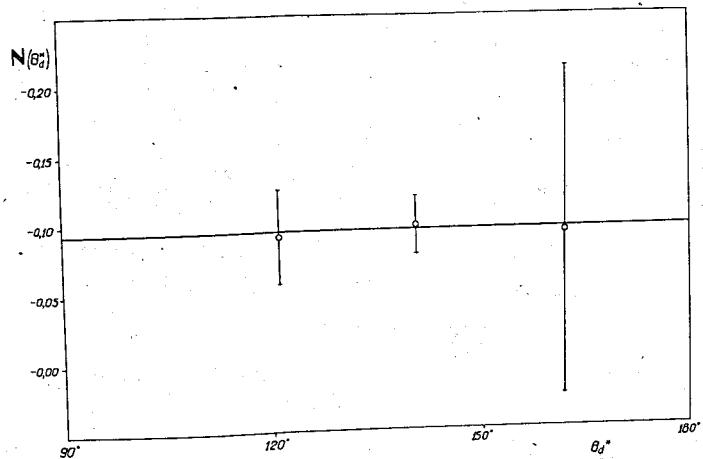


Рис. 3.

55558-4

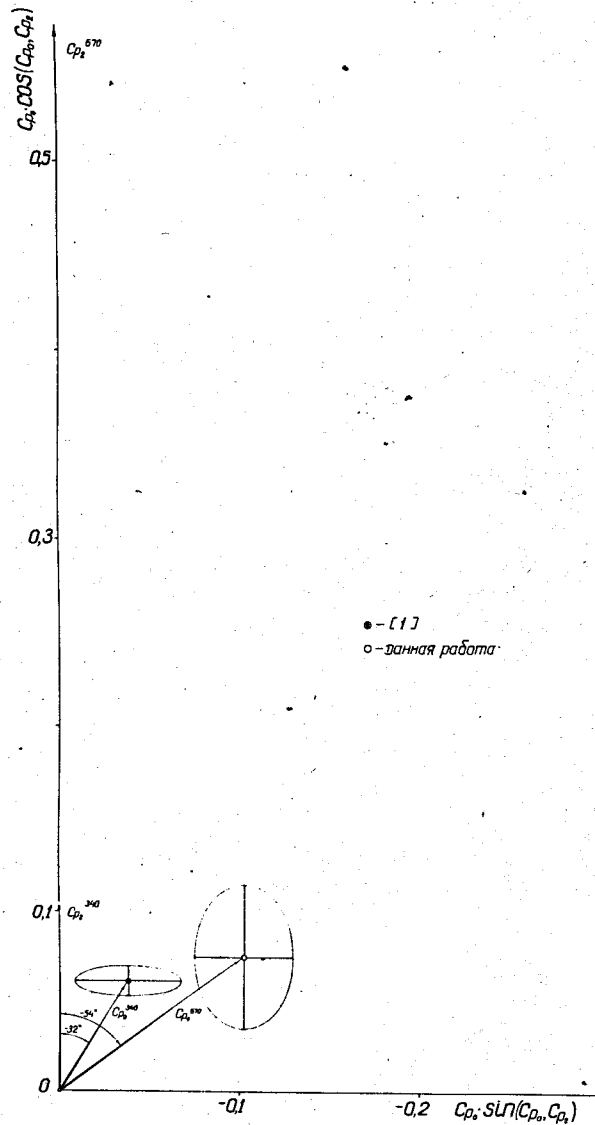


Рис. 4.

Объединенный институт
 ядерных исследований
 БИИЯК БИБЛИОТЕКА