

Б-262

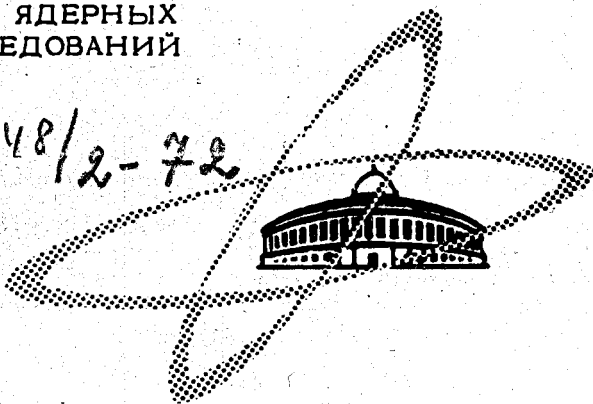
ЯФ, 1972, т. 16, ч. 1, с. 96-108. 24/11 72

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

948/2-72

P1 - 6244



В.Д.Бартенев, Г.Г.Безногих, А.Буяк, Н.К.Жидков,
В.Й.Заячки, Л.С.Золин, Л.Ф.Кириллова, Б.А.Морозов,
В.А.Никитин, П.В.Номоконов, Ю.К.Пилипенко,
А.Сандач, В.А.Свиридов, Чыонг Бьен, М.Г.Шафранова

ИССЛЕДОВАНИЕ

УПРУГОГО $p - d$ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ
В ОБЛАСТИ ДИФРАКЦИОННОГО КОНУСА
В ИНТЕРВАЛЕ ЭНЕРГИЙ 10 - 70 ГЭВ

ЛАБОРАТОРИЯ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

1972

P1 - 6244

В.Д.Бартенев, Г.Г.Безногих, А.Буяк, Н.К.Жидков,
В.Й.Заячки, Л.С.Золин, Л.Ф.Кириллова, Б.А.Морозов,
В.А.Никитин, П.В.Номоконов, Ю.К.Пилипенко,
А.Сандач, В.А.Свиридов, Чыонг Бьен, М.Г.Шафранова

ИССЛЕДОВАНИЕ
УПРУГОГО p - d ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ
В ОБЛАСТИ ДИФРАКЦИОННОГО КОНУСА
В ИНТЕРВАЛЕ ЭНЕРГИЙ 10 - 70 ГЭВ

Направлено в ЯФ

Объединенный институт
ядерных исследований
БИБЛИОТЕКА

В настоящей работе приводятся результаты экспериментального исследования упругого рассеяния протонов на дейтронах в энергетическом интервале 10-70 Гэв в области квадрата четырехмерного переданного импульса ($0,002 \leq |t| \leq 0,2$ (Гэв/с)²).

Изучение процесса упругого рассеяния протонов на дейтронах в этой области значений t дает возможность определить значение параметра наклона дифракционного конуса, а также, на основании интерференции кулоновских и ядерных сил, - величину и знак отношения действительной части амплитуды упругого рассеяния к мнимой ее части под углом, близким к 0° . Используя модель Глаубера, можно получить в качестве следствия соответствующие данные об амплитуде p^p -рассеяния.

Экспериментальное исследование процесса упругого $p d$ -рассеяния связано с трудностями выделения чисто упругого (когерентного) рассеяния на дейтроне (без развала). Ряд работ в этом направлении /1-3/ был выполнен при использовании метода многократных проходов внутреннего пучка циклического ускорителя через тонкую дейтеризованную полиэтиленовую мишень с регистрацией угла вылета и энергии частиц отдачи. Высокая угловая и энергетическая разрешающая способность метода позволяет выделять события упругого $p d$ -рассеяния без развала дейтрона и без примеси квазиупругих событий на связанных нуклонах углерода,

входящего в состав мишени. Расширение области измерения в сторону меньших углов рассеяния ограничивалось в основном многократным кулоновским рассеянием частиц отдачи в мишени-пленке и значительным фоном частиц малой энергии, возникающим при взаимодействии протонов пучка с ядрами углерода. Настоящая работа выполнена на основе усовершенствованной методики с использованием газовой дейтериевой мишени ^{4/}.

1. Методика эксперимента, аппаратура

Эксперимент выполнен на ускорителе ИФЗ 70 Гэв (Серпухов) методом регистрации частиц отдачи ^{5/}. Мишенью служила сверхзвуковая газовая дейтериевая струя. Плотность мишени была $\approx 10^{-7}$ г/см², угловой размер ее составлял $\approx 0,5^\circ$ (диаметр 30-40 мм, расстояние до детекторов 3520 мм). Длительность существования газовой струи в камере ускорителя ограничивалась производительностью вакуумных насосов и была ≈ 200 мсек, в течение которых энергия первичного пучка меняется на 6 Гэв. Временное ухудшение вакуума в камере ускорителя не влияло на его работу, но приводило к ухудшению фоновых условий эксперимента. В каждом цикле ускорения дейтерий инжесктировался в камеру ускорителя дважды, что позволяло сделать измерения одновременно в двух энергетических интервалах. Углы рассеяния частиц и их энергия измерялись полупроводниковыми детекторами. Подробное описание работы газовой мишени и регистрирующей электроники дано в работах ^{4,8/}.

Рис. 1 и 2 демонстрируют вид амплитудных спектров, зарегистрированных одним из детекторов в двух положениях, которым соответствуют дейтроны отдачи с $t = -0,037$ (Гэв/с)² и $t = -0,052$ (Гэв/с)². Наблюдаемый фон (заштрихованная часть) появляется главным образом из-за взаимодействия пучка с газом, рассеянным в вакуумной камере ускорителя. Он измерялся периодически после каждого рабочего облучения по-

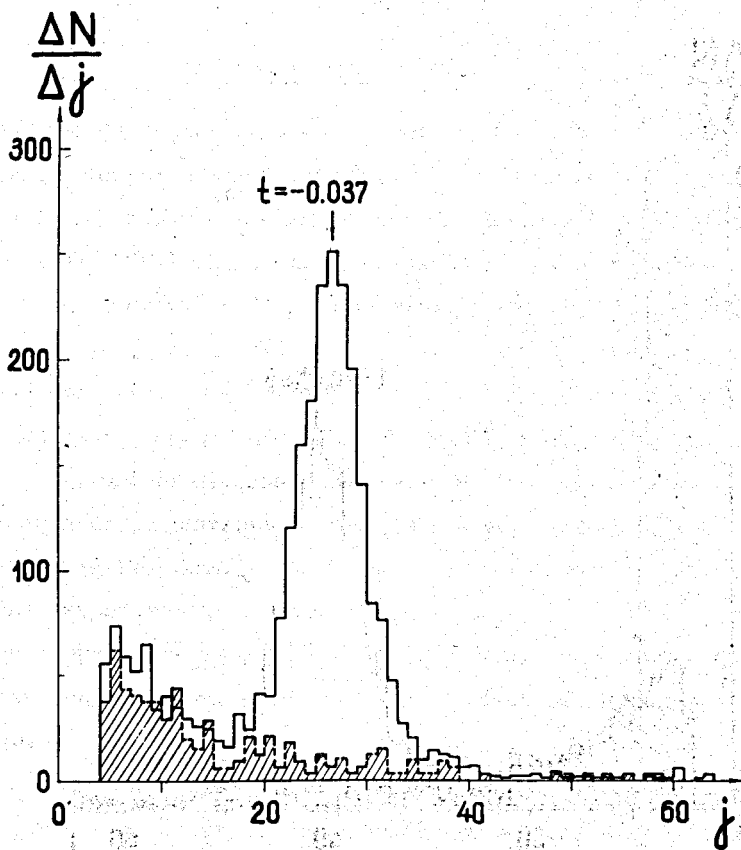


Рис. 1. Энергетический спектр дейтронов отдачи при $t = -0,037$ $(\text{Гэв}/\text{с})^2$ ($E_d = 1,98$ Мэв). Заштрихован спектр в фоновой позиции детектора (j - номер амплитудного канала).

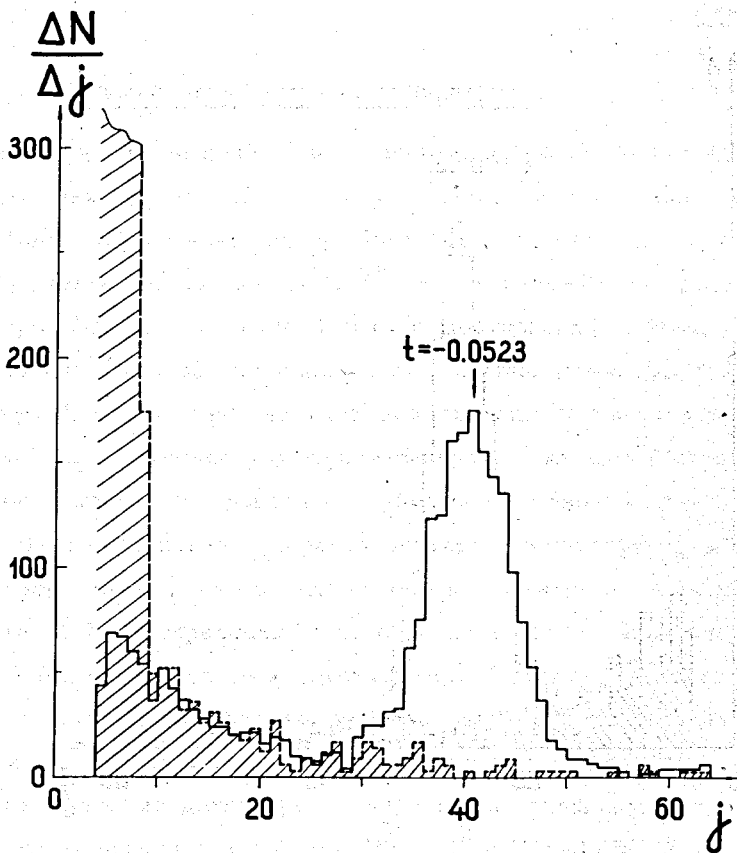


Рис. 2. Энергетический спектр дейтронов отдачи при $t = -0,0523$ (Гэв/с)² ($E_d = 2,79$ Мэв). В первых каналах ($j < 10$) наблюдается пик упругого рассеяния в фоновой позиции детектора.

средством перемещения детекторов в фоновую позицию, где пик упругого рассеяния не наблюдался или надежно разделялся с соответствующим пиком рабочей позиции. Подобная процедура измерения фонового спектра основывалась на его слабой угловой зависимости, которая проверялась экспериментально. Совокупность амплитудных спектров частиц отдачи, а также показания мониторов и коды времени записывались на магнитную ленту.

2. Результаты

Дифференциальные сечения упругого pd -рассеяния были исследованы в двух сериях измерений в различных областях значений t . При $0,02 \leq |t| \leq 0,2$ (Гэв/с)² сечения были измерены в 5 энергетических интервалах ($\Delta E^\circ = 6$ Гэв) со следующими средними значениями энергии первичных протонов: $E^\circ = 13,5; 19,9; 46,3; 59,9; 68,9$ Гэв. В области более малых передач при $0,002 \leq |t| \leq 0,05$ (Гэв/с)² зависимость от E° исследована более подробно, измерения сделаны при значениях $E^\circ = 10,3; 15,0; 19,6; 25,6; 34,0; 48,0; 56,3; 59,9; 64,0; 69,3$ Гэв.

Две из измеренных зависимостей $d\sigma/dt$ представлены на рис. 3 и 4. Число экспериментальных точек на каждой кривой ≈ 50 , средняя статистическая точность $\approx 2\%$. Полное число событий упругого рассеяния в каждом энергетическом интервале $\geq 10^5$.

При вычислении дифференциальных сечений на основе зарегистрированных аппаратурных спектров последовательно выполнялись следующие процедуры:

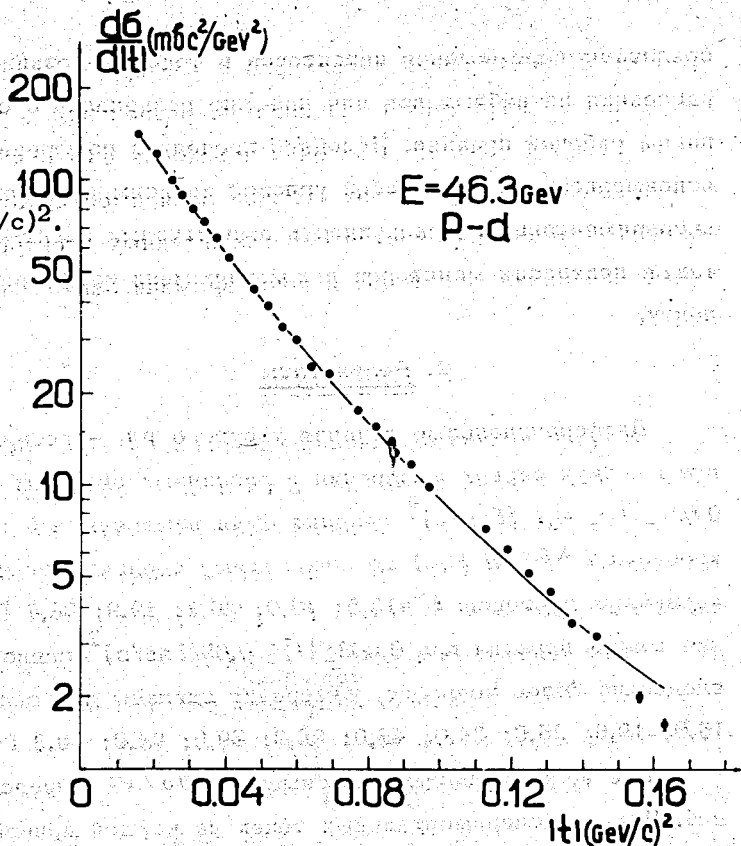
1. Нормировка спектров по данным мониторов и вычитание фона.
2. Коррекция спектров на разрешение детекторов.
3. Определение положения центра тяжести пиков в импульсной шкале, сопоставление с кинематическим расчетом и коррекция энергетической калибровки спектрометрических каналов из условия согласования с кинематикой упругого рассеяния.

Рис. 3. Дифференциальное сечение упругого

pd -рассеяния

в интервале

$0,02 < |t| < 0,2$ (Гэв/с)².



$\frac{d\sigma}{dt} \text{ mb}$
 $(\text{GeV}/\text{c})^2$

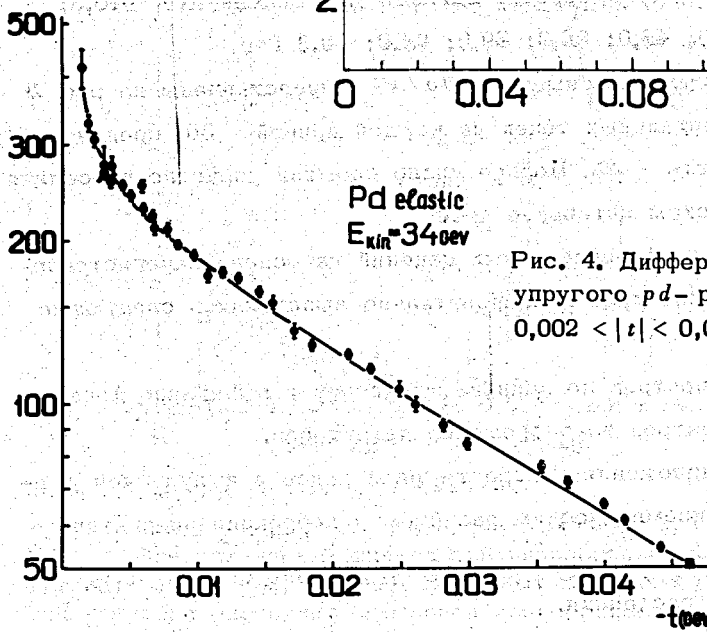


Рис. 4. Дифференциальное сечение упругого pd -рассеяния в интервале $0,002 < |t| < 0,05$ (Гэв/с)².

4. Определение на основе формы спектров распределения плотности дейтерия в мишени. $\rho(x)$.

5. Реконструкция на основании полученной зависимости $\rho(x)$ "обрезанных" пиков упругого рассеяния, часть которых не попадала в регистрируемый энергетический интервал. Из-за больших угловых размеров мишени доля таких пиков была значительна ($\approx 30\%$).

6. Определение площадей пиков с учетом угловой зависимости дифференциального сечения в пределах углового раствора мишени.

Найденные по площадям пиков дифференциальные сечения аппроксимировались известной интерференционной формулой /7/

$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = M [A_i^2 + A_r^2 + A_c^2 - 2A_c(A_r + 2nA \ln \frac{1,06}{ka\theta})], \quad (1)$$

где: $A_i = \sqrt{(\frac{d\sigma}{d\Omega})_{opt}} \exp(\frac{1}{2}(bt + ct^2))$

i - мнимая часть амплитуды рассеяния, $A = aA$ - действительная часть амплитуды рассеяния, $A_c \cdot e^{-i\delta} = \frac{2nF(t)}{k\theta^2} \cdot e^{-i\delta}$ - кулоновская амплитуда рассеяния, $F(t)$ - электромагнитный формфактор дейтрона, для которого в области малых углов рассеяния хорошим приближением является выражение

$$F(t) = \exp(\frac{i}{2}bt + \frac{i}{2}ct^2),$$

$n = 1/137,04 \beta_{\text{лаб}}$, k - волновое число для взаимодействующих частиц в с.ц.и., θ - угол рассеяния в с.ц.и., a - радиус области сильного взаимодействия дейтрона.

Значение оптической точки $(d\sigma/d\Omega)_{opt}$ вычислялось на основании существующих экспериментальных результатов по полным сечениям $p-d$ -взаимодействия /8/. Параметр M в (1) необходим в силу того, что дифференциальное сечение измерялось в относительных единицах. Вычисление M совместно с другими искомыми параметрами по методу

наименьших квадратов позволяло привести дифференциальные сечения к абсолютной шкале мбн/стерад.

Серия измерений в области t от 0,02 до 0,2 (Гэв/с)⁻² была выполнена с целью определения наклона дифракционного конуса:

$$B' = \frac{d}{dt} \left(\ln \frac{d\sigma}{dt} \right) = (b + 2ct)$$

Соответствующие значения B' при $t = -0,06$ (Гэв/с)⁻² вместе с данными работ [2,3] приведены в таблице 1 и на рис. 5.

Таблица 1.

Результаты измерения параметров дифракционного конуса $p d$ -рассеяния ($0,02 \leq |t| \leq 0,20$ (Гэв/с)²)

| p Гэв/с | b (Гэв/с) ⁻² | c (Гэв/с) ⁻⁴ | B' (Гэв/с) ⁻² |
|--------------|------------------------------|------------------------------|-------------------------------|
| 14,4 | 39,5 ± 0,7 | 62,9 ± 5,0 | 31,95 ± 0,70 |
| 20,8 | 38,0 ± 0,5 | 54,3 ± 3,7 | 31,48 ± 0,50 |
| 47,2 | 39,2 ± 0,6 | 56,5 ± 3,8 | 32,46 ± 0,60 |
| 60,8 | 41,6 ± 0,8 | 70,9 ± 5,5 | 33,09 ± 0,80 |
| 69,8 | 39,5 ± 0,7 | 60,0 ± 4,8 | 32,30 ± 0,70 |

Поведение параметра B' в интервале энергий от 1 до 70 Гэв хорошо аппроксимируется линейной зависимостью:

$$B' = (26,3 \pm 1,1) + (1,15 \pm 0,24) \ln S, \quad (2)$$

$\chi^2 = 2,5$ при числе степеней свободы $m = 10$, соответствующий коридор ошибок также показан на рис. 5.

Вторая серия измерений в интервале значений $|t|$ от 0,002 до 0,05 (Гэв/с)² была проделана с целью измерения величины интерференционного эффекта в упругом $p d$ -рассеянии для получения сведений о

величине действительной части амплитуды. Поскольку при одновременном определении параметров a , b , c в этом узком интервале t проявляется их сильная корреляция, процедуры вычисления a и b были разделены следующим образом. В интервале $0,008 \leq |t| \leq 0,05$ (ГэВ/с)², где вклад интерференционного члена в дифференциальное сечение (1) незначителен, было выполнено определение параметра b . При этом на параметр a наложено ограничение $a = a_{\text{теор}} \pm 0,1$, где $a_{\text{теор}}$ взято из работы /9/. Для определения параметра c привлечены данные из первой серии измерений, проведенных в более широком интервале t .

Полученные значения параметра b представлены в таблице 2 и на рис. 6. Зависимость b от энергии в этом случае хорошо описывается выражением:

$$b = (35,1 \pm 2,3) + (0,80 \pm 0,47) \ln S \quad (3)$$

$$\chi^2 = 6,4; \quad m = 8.$$

Таблица 2.

Результаты измерения параметров a и b в pd рассеянии ($0,002 \leq |t| \leq 0,05$ (ГэВ/с)²)

| №№ пп | p (ГэВ/с) | a | b (ГэВ/с) ² |
|----------|----------------|----------------|-----------------------------|
| 1. | 11,2 | -0,288 ± 0,054 | 38,3 ± 0,8 |
| 2. | 15,9 | -0,323 ± 0,052 | 38,3 ± 0,8 |
| 3. | 20,5 | -0,283 ± 0,044 | 38,9 ± 0,8 |
| 4. | 26,5 | -0,269 ± 0,043 | 38,8 ± 0,9 |
| 5. | 34,8 | -0,221 ± 0,036 | 38,8 ± 0,8 |
| 6. | 48,9 | -0,156 ± 0,047 | 38,3 ± 1,0 |
| 7. | 57,2 | -0,215 ± 0,040 | 39,8 ± 0,9 |
| 8. | 60,8 | -0,129 ± 0,041 | 39,4 ± 0,9 |
| 9. | 64,8 | -0,092 ± 0,034 | 39,2 ± 1,0 |
| 10. | 70,2 | -0,136 ± 0,047 | 40,7 ± 1,1 |

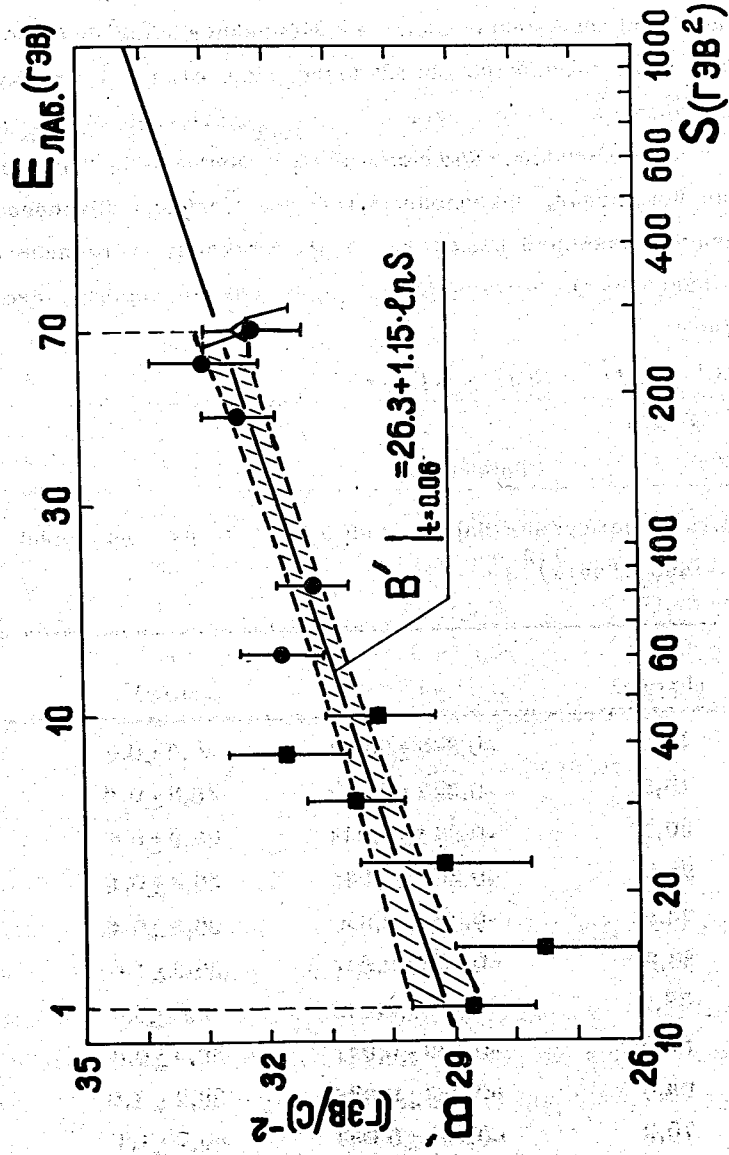


Рис. 5. Наклон дифракционного конуса в упругом $p-d$ рассеянии при $|t| = 0,06$ (Гэв/с)². ■ - /2/, ▲ - /3/, ● - данная работа.

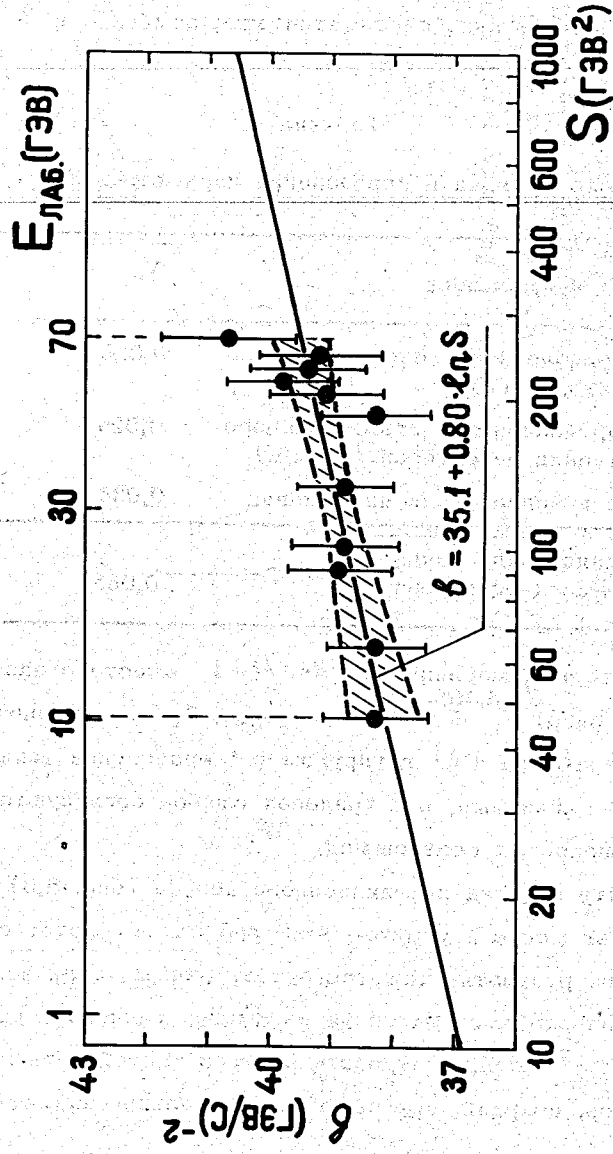


Рис. 6. Параметр наклона дифракционного конуса b в упругом $p-d$ рассеянии по измерениям в области $0,002 < |t| < 0,05$ (Гэв/с)².

При определении параметра a (табл. 2, рис. 6) был использован полный интервал значений t ($0,002 \leq |t| \leq 0,05$ (Гэв/с)²), параметр b ограничен коридором ошибок зависимости (3).

Основные источники систематических ошибок a и b даны в таблице 3.

Таблица 3.

Систематические ошибки в определении параметров a и b .

| №№ пп | Источник ошибок | Δa | Δb |
|----------|---|------------|------------|
| 1. | Неопределенность площади детекторов (1%) | 0,050 | 0,35 |
| 2. | Неопределенность относительного положения детекторов (0,5 см) | 0,020 | 0,25 |
| 3. | Сбой в кодировании информации | 0,035 | 0,55 |
| | Средняя квадратичная систематическая ошибка | 0,065 | 0,70 |

Результаты измерения $a = ReA/lm A$ вместе с данными предшествующих работ /2,3,10/ нанесены на рис. 7. Знак, величина и характер поведения параметра $a(E)$ в упругом $p d$ -рассеянии такие же, как и в упругом $p-p$ рассеянии, и в пределах ошибок согласуются с предсказаниями дисперсионных соотношений /9/.

Параметр наклона дифракционного конуса (рис. 5,6), подобно тому, как это имеет место в упругом $p-p$ рассеянии, растет с увеличением энергии. Этот результат кажется естественным, если исходить из принятой в оптической модели связи параметра наклона с радиусом взаимодействия $R=2\sqrt{b}$ и рассматривать дейтрон как область местонахождения двух нуклонов, сохраняющих свою индивидуальную пространственную структуру.

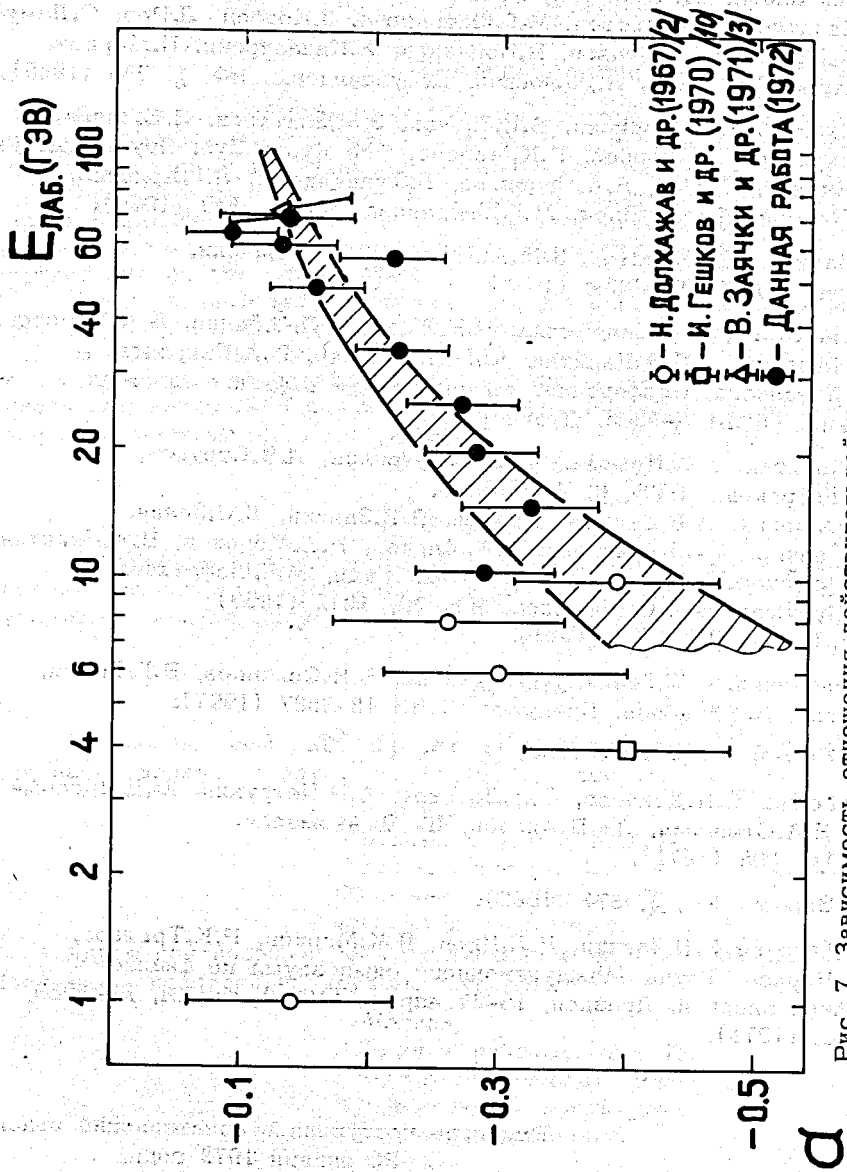


Рис. 7. Зависимость отношения действительной части амплитуды упругого pd -рассеяния к мнимой ее части при $t = 0$. Кривые соответствуют расчетам по дисперсионным соотношениям /9/.

Л и т е р а т у р а

1. Л.Ф.Кириллова, В.А.Никитин, В.С.Пантуев, В.А.Свиридов, Л.Н.Струнов, М.Н.Хачатурян, Л.Христов, М.Г.Шафранова, З.Корбел, Л.Роб, С.Дамянов, А.Златева, З.Златанов, В.Йорданов, Х.Каназирски, П.Марков, Т.Тодоров, Х.Чернев, Н.Далхажав, Д.Тувдендорж. ЯФ, 1, 533 (1965).
2. Н.Далхажав, П.А.Девински, В.Й.Заячки, З.М.Златанов, Л.С.Золин, Л.Ф.Кириллова, З.Корбел, П.К.Марков, Нго Куанг Зуй, Нгуен Дин Ты, В.А.Никитин, Л.Роб, В.А.Свиридов, Д.Тувдендорж, Л.Г.Христов, Х.М.Чернев, Чыонг Бьен, М.Г.Шафранова. ЯФ, 8, 342 (1968).
3. В.Й.Заячки, Л.Г.Христов, З.М.Златанов, П.А.Девински. Препринт ОИЯИ Р1-6044 (1971).
4. В.Д.Бартевев, А.А.Белушкина, Н.К.Жидков, Л.С.Золин, Б.А.Морозов, П.В.Номоконов, В.А.Никитин, Ю.К.Пилипенко, В.А.Свиридов, М.Г.Шафранова. Конференция по аппаратуре в физике высоких энергий, ОИЯИ Д-5805, Дубна (1970).
5. В.А.Никитин, А.А.Номофилов, В.А.Свиридов, Л.Н.Струнов, М.Г.Шафранова. ПТЭ, 6, 18 (1963).
Г.Г.Безногих, А.Буяк, Н.К.Жидков, В.Й.Заячки, Л.С.Золин, К.Й.Йовчев, Л.Ф.Кириллова, П.К.Марков, Б.А.Морозов, В.А.Никитин, П.В.Номоконов, В.А.Свиридов, Чыонг Бьен, М.Г.Шафранова, С.Б.Нурушев, В.А.Соловьянов. ЯФ, 10, 1212 (1969);
Phys.Lett., 30B, 274 (1969).
6. Г.И.Забякин, Л.С.Золин, В.А.Никитин, Б.Н.Соловьев, В.Г.Тишин, Т.Шетег, В.Д.Шибаяев. Препринт ОИЯИ 13-3397 (1967).
7. Н.А.Ветте. Ann. of Phys., 3, 190 (1958).
8. Ю.П.Горин, С.П.Денисов, С.В.Донсков, А.И.Петрухин, Ю.Д.Прокошкин, Д.А.Стойнова, Дж.В.Аллаби, Дж.Джакомелли. ЯФ, 14, 998 (1971).
9. Ю.С.Вернов. ЯФ, 3, 877 (1966).
10. И.М.Гешков, В.Й.Заячки, Н.Л.Иков, П.К.Марков, Р.К.Траянов, Х.М.Чернев. Труды Международного симпозиума по физике высоких энергий, Дрезден, 19-27 апреля (1971), ОИЯИ, Д1-5969, Дубна, (1971).

Рукопись поступила в издательский отдел
20 января 1972 года.