

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Лаборатория ядерных проблем

С 346

Б-73

Н.П. Богачев

466

УПРУГОЕ РАССЕЯНИЕ  
ПРОТОНОВ НА ПРОТОНАХ  
ПРИ ЭНЕРГИЯХ 460 И 660 МЭВ

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

Научный руководитель  
член-корреспондент АН СССР М.Г. Мещеряков

Дубна 1960 год

С 346

Б-73

Н.П. Богачев

466

УПРУГОЕ РАССЕЯНИЕ  
ПРОТОНОВ НА ПРОТОНАХ  
ПРИ ЭНЕРГИЯХ 460 И 660 МЭВ

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

Научный руководитель  
член-корреспондент АН СССР М.Г. Мещеряков

Объединенный институт  
ядерных исследований  
БИБЛИОТЕКА

778  
69.

Исследование взаимодействия нуклонов с нуклонами представляет собой одну из основных задач современной ядерной физики. Наиболее мощным экспериментальным методом изучения этой проблемы являются опыты по рассеянию нуклонов нуклонами. Выполнение таких экспериментов, в особенности в области высоких энергий, стало возможным только благодаря успехам техники получения ускоренных частиц.

В экспериментах по рассеянию нуклонов высокой энергии нуклонами, предшествовавших описываемым в диссертации, был установлен ряд важных сведений о ядерном взаимодействии. Опыты по рассеянию нейтронов протонами при энергиях 40, 80 и 260 Мэв явились прямым доказательством существования обменных сил в  $n-p$ -системе. Эксперименты по рассеянию протонов протонами, выполненные в области энергий до 345 Мэв, показали, что картина упругого  $p-p$ -рассеяния оказывается изотропной и практически не изменяется в области энергий от 100 до 345 Мэв.

Реферлируемая работа посвящена исследованию упругого рассеяния протонов на протонах при энергиях 460 и 660 Мэв. Эксперименты при энергии 460 Мэв выполнены автором совместно с М.Г. Мещеряковым, Б.С. Негановым и Е.В. Пискаревым, а при энергии 660 Мэв - совместно с И.К. Взоровым. Основные вопросы настоящей работы опубликованы в статьях <sup>1-4/</sup>.

Диссертация состоит из четырех глав. Первая глава содержит некоторые вводные сведения и краткий обзор материала по изучению упругого рассеяния протонов протонами к моменту постановки экспериментов на синхроциклотроне Лаборатории ядерных проблем Объединенного института ядерных исследований. Во второй главе описывается установка, применявшаяся в опытах по изучению упругого рассеяния протонов с энергиями 460 и 660 Мэв на протонах. Результаты опытов изложены в третьей главе. Обсуждение результатов экспериментов по рассеянию протонов высокой энергии протонами проводится в четвертой главе.

## 1.

В экспериментах, выполненных в зарубежных лабораториях с помощью различной методики, было показано, что картина упругого рассеяния протонов

протонами, начиная с энергий 100-120 Мэв и далее, вплоть до наибольшей энергии, при которой были выполнены опыты - 345 Мэв, практически не претерпевает изменений. Было найдено, что дифференциальные сечения упругого рассеяния в интервале энергий 100-345 Мэв не зависят от угла и энергии.

Опыты по рассеянию нейтронов протонами, проведенные при энергиях 40, 80 и 260 Мэв, показали, что  $n-p$ -рассеяние при этих энергиях обнаруживает резкую анизотропию. Опыты по упругому  $n-p$ -рассеянию, выполненные В.П. Железовым и Ю.М. Казариновым /Дубна/ при энергии нейтронов 380 Мэв, и эксперименты по упругому  $p-p$ -рассеянию, проведенные при энергии 345 Мэв Чемберленом, Сегре и Виганом /Беркли/, показали, что и при энергиях нуклонов 345-380 Мэв сохраняется резкое различие между угловыми зависимостями сечений рассеяния протонов на протонах и сечений рассеяния нейтронов на протонах; при этом в районе углов около  $90^\circ$  сечения  $n-p$ -рассеяния оказались достаточно большими.

Совокупность этих экспериментальных фактов не получила удовлетворительного теоретического объяснения, а привела по существу к единственному выводу о том, что между нуклонами, находящимися на малых расстояниях, существует весьма интенсивное взаимодействие.

## II.

В опытах по изучению упругого рассеяния протонов на протонах при энергиях 460 и 680 Мэв в качестве детекторов рассеянных протонов использовались телескопы из сцинтиляционных счетчиков. Регистрация протонов, испытавших упругое рассеяние, проводилась двумя методами:

а/ измерения одиночным телескопом.

Регистрировался только один из протонов, участвовавших в акте упругого  $p-p$ -соударения. Телескоп устанавливался под некоторым углом к направлению первичного пучка и регистрировал протоны, упруго рассеянные под этим углом. Заряженные продукты неупругих  $p-p$ -соударений /  $\pi^+$ -мезоны, протоны и дейтроны/ поглощались в фильтре, устанавливаемом в телескопе. Этот метод позволяет провести измерения дифференциальных сечений  $p-p$ -рассеяния во всем диапазоне углов, в том числе в области малых углов.

б/ Измерения сопряженными телескопами.

Рассеянный протон и протон отдачи регистрировались двумя телескопами, включенными в схему совпадений. Телескопы устанавливались в горизонтальной плоскости, проходящей через ось первичного пучка протонов. Углы, образуемые осями телескопов с направлением первичного пучка протонов, удовлетворяли кинематическому соотношению  $\text{ctg } \phi_1 \cdot \text{ctg } \phi_2 = 1 + \frac{E}{2M_p c^2}$ , где  $\phi_1$  и  $\phi_2$  углы в лабораторной системе,  $E$  - кинетическая энергия падающего протона,  $M_p c^2$  - собственная энергия протона. Благодаря этому методу удается проводить наблюдение отдельных актов упругого /р-р/-рассеяния на фоне других процессов, происходящих при столкновении протонов с протонами и ядрами мишени.

В качестве мишеней /рассеивателей/ в измерениях на больших углах использовались парафин и графит, эффект от водорода находился разностным методом. В опытах под малыми углами применялась мишень из жидкого водорода.

III.

Результаты измерений дифференциальных сечений упругого рассеяния протонов протонами при энергиях 480 и 880 Мэв приведены в таблицах 1 и 2 и на рис. 1 и 2. Обозначения в таблицах:

$\theta$  - угол рассеяния в градусах в системе центра инерции,

$\frac{d\sigma(\theta)}{d\Omega}$  - дифференциальное сечение /р-р/- рассеяния в с.ц.и. в миллибарнах на стерадиан,

О - измерения одиночным телескопом,

Д - измерения двумя сопряженными телескопами.

Погрешности, указанные в таблицах, являются стандартными ошибками проведенных измерений, обусловленными только статистикой счета.

Т а б л и ц а 1

Дифференциальные сечения упругого /р-р/-рассеяния при энергии протонов 460 Мэв

$\theta$	$\frac{d\sigma(\theta)}{d\Omega}$	
5	33 ± 6	0
10	5,91 ± 0,48	0
15	4,68 ± 0,38	0
20	3,98 ± 0,56	0
27	3,73 ± 0,34	0
33	3,97 ± 0,16	0
40	4,06 ± 0,16	0
46	3,99 ± 0,12	0
53	3,84 ± 0,14	0
55	3,36 ± 0,25	0
55	3,59 ± 0,21	Д
66	3,82 ± 0,14	0
66	3,81 ± 0,18	Д
78	3,52 ± 0,14	0
78	3,56 ± 0,20	Д
90	3,50 ± 0,10	0

Т а б л и ц а 2

Дифференциальные сечения упругого /р-р/-рассеяния при энергии протонов 660 Мэв

$\theta$	$\frac{d\sigma(\theta)}{d\Omega}$	
5	18,9 ± 1,1	0
10	11,0 ± 0,7	0
15	8,87 ± 0,53	0
20	7,75 ± 0,48	0
25	6,56 ± 0,40	0
30	5,58 ± 0,15	Д
40	4,78 ± 0,26	Д
50	3,99 ± 0,20	Д
60	3,41 ± 0,13	Д
70	2,94 ± 0,12	Д
80	2,20 ± 0,05	Д
90	2,07 ± 0,03	Д

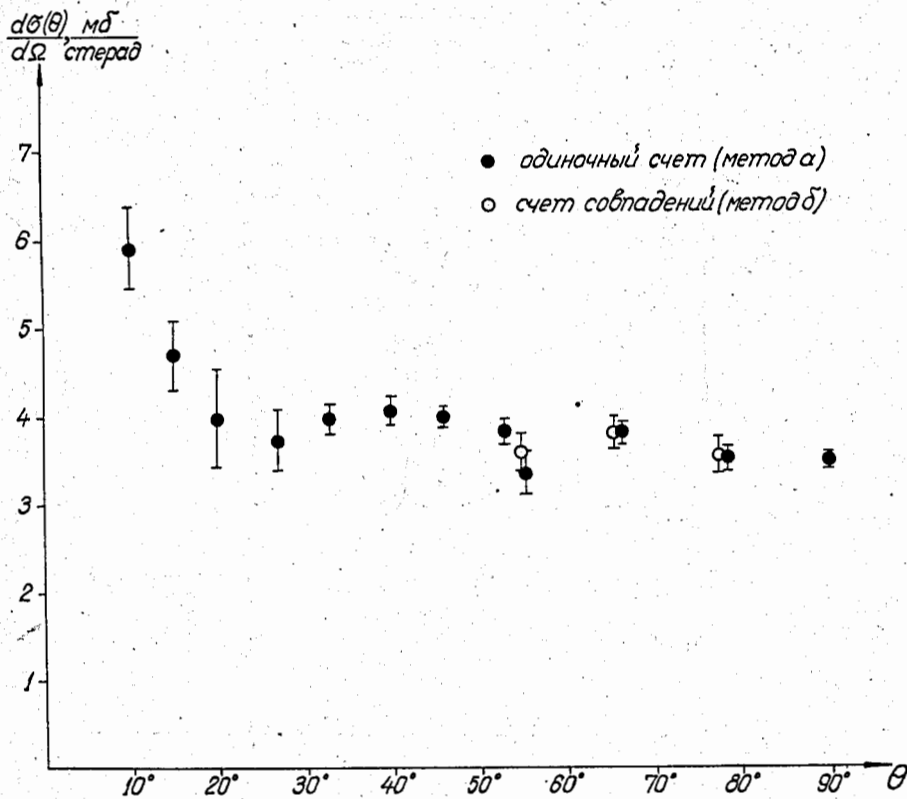


Рис. 1. Дифференциальные сечения упругого /p-p/-рассеяния при энергии протонов 460 Мэв.

$\theta$  - угол рассеяния в системе центра инерции,  
 $\frac{d\sigma(\theta)}{d\Omega}$  - дифференциальное сечение в с.п.и. в миллибарнах на стерadians.

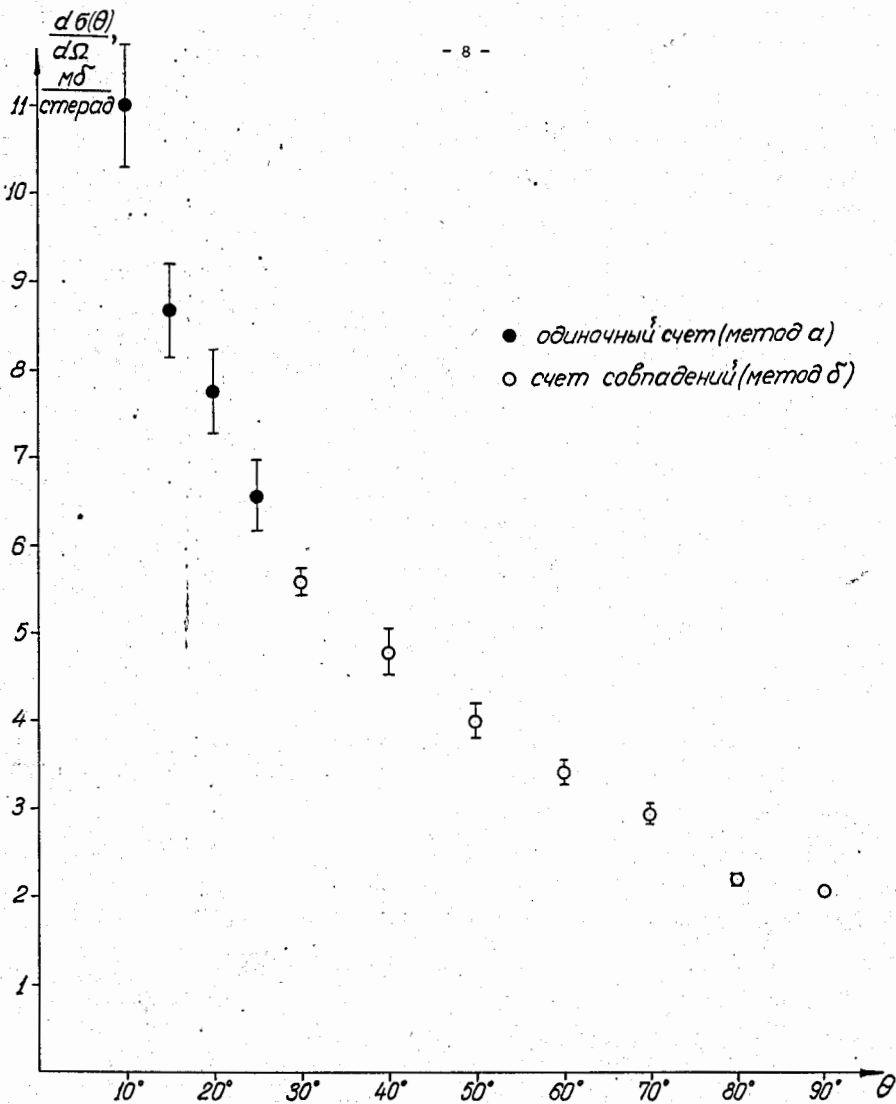


Рис. 2. Дифференциальные сечения упругого /р-р/-рассеяния при энергии протонов 680 Мэв.

θ - угол рассеяния в системе центра инерции,

$\frac{d\sigma(\theta)}{d\Omega}$  - дифференциальное сечение в с.ц.и. в миллибарнах на стерадиан.



Полные сечения упругого рассеяния протонов на протонах, найденные путем интегрирования величин дифференциальных сечений, приведенных выше, представлены в таблице 3.

Т а б л и ц а 3

Полные сечения упругого /p-p/-рассеяния при энергиях протонов 460 и 660 Мэв

Энергия в Мэв	Полное сечение в миллибарнах
460	24,0 $\pm$ 0,6
660	24,7 $\pm$ 1,0

В экспериментах по изучению упругого /p-p/-рассеяния, результаты которых приведены в таблицах 1, 2 и 3, получены перечисленные ниже новые сведения о /p-p/-взаимодействии:

1. Обнаружено, что при энергии 460 Мэв намечается отступление от изотропии в упругом /p-p/-рассеянии; дифференциальное сечение рассеяния несколько увеличивается /на 10-15%/ с уменьшением угла от  $90^\circ$  до  $30^\circ$  в с.д.и.

2. Найдено, что отступление от изотропности в упругом /p-p/-рассеянии, намечавшееся при энергии 460 Мэв, с повышением энергии до 660 Мэв развивается в картину отчетливо выраженной анизотропии:

а/ дифференциальное сечение под углом  $30^\circ$  в с.д.и. почти в три раза превышает соответствующую величину под углом  $90^\circ$ ;

б/ дифференциальные сечения упругого /p-p/-рассеяния на большие углы /  $\theta > 50^\circ$  / при переходе от энергии 460 Мэв к энергии 660 Мэв уменьшаются; в частности, дифференциальное сечение /p-p/-рассеяния под углом  $90^\circ$  в с.д.и.

изменяется от  $3,5 \text{ мб.стерад}^{-1} / 460 \text{ Мэв}$  до  $2,1 \text{ мб.стерад}^{-1} / 660 \text{ Мэв}$ .

3. Установлено, что полное сечение упругого  $p$ - $p$ -рассеяния с увеличением энергии от 460 Мэв до 660 Мэв остается в пределах ошибок опыта постоянным. Это означает, что рост полного сечения  $p$ - $p$ -взаимодействия в области энергий 460-660 Мэв обусловлен только неупругими процессами.

4. Определены из сопоставления полных сечений упругого  $p$ - $p$ -рассеяния и полных сечений  $p$ - $p$ -взаимодействия, измеренных другими авторами, полные сечения неупругого взаимодействия при энергиях 460 и 660 Мэв и найдено, что интенсивность неупругого  $p$ - $p$ -взаимодействия в этой области энергий резко возрастает.

#### IV.

В связи с трудностями на пути построения количественной теории ядерных сил результаты экспериментов по рассеянию нуклонов нуклонами используются пока лишь для построения феноменологического описания отдельных сторон ядерного взаимодействия.

Для проведения однозначного фазового анализа результатов опытов по рассеянию нуклонов нуклонами при энергиях ниже порога образования мезонов, как это было показано Пузиковым, Рындиным и Смородинским, необходимо выполнение пяти независимых экспериментов. При энергиях, превышающих порог образования  $\pi$ -мезонов, число опытов, необходимых для восстановления амплитуды упругого рассеяния, достигает девяти, или при проведении совместного анализа данных по упругому  $p$ - $p$ - и  $n$ - $p$ -рассеянию /Головин, Желепов, Надеждин, Сатаров/ сокращается до тринадцати. Экспериментальные данные, имеющиеся в настоящее время по  $p$ - $p$ -системе, с точки зрения выполнения программы набора опытов для проведения однозначного фазового анализа еще недостаточны даже при наиболее подробно исследованных значениях энергии 310-320 Мэв /Беркли/, 635-660 Мэв /Дубна/. Однако и при существующих данных появляется возможность оценки фаз, если привлечь некоторые дополнительные соображения, вытекающие из теории поля, и вычислить вклад фаз с большими значениями орбитального момента /Чу, Окунь, Померанчук/.

Возможно, что этот подход позволит сократить объем информации, требуемой от эксперимента.

В области еще больших энергий протонов, где экспериментальная информация относительно бедна, представляет интерес рассмотрение имеющегося материала на основе концепции о периферических взаимодействиях элементарных частиц.

Для решения поставленных вопросов необходимо дальнейшее накопление экспериментальных данных о взаимодействии нуклонов с нуклонами, в особенности при высоких энергиях, когда длина волны падающей частицы становится настолько малой, что возникает возможность изучения взаимодействия нуклонов на малых расстояниях и исследования структуры самих нуклонов.

Рукопись поступила в издательский отдел  
25 января 1960 года.

#### Л и т е р а т у р а

1. М.Г. Мещеряков, Н.П. Богачев, Б.С. Неганов, Е.В. Пискарев, ДАН, 99, 955 /1954/.
2. Н.П. Богачев, И.К. Взоров. ДАН, 99, 931 /1954/.  
N.P. Bogachev, I.K. Vzorov. Magyar fizikai folyoirat, 111, 423 (1955).
3. М.Г. Мещеряков, Н.П. Богачев, Б.С. Неганов. Известия АН СССР, сер. физическая, 19, 548 /1955/.  
M.G. Mescherjakov, N.P. Bogachev, B.S. Neganov. Suppl. Nuovo Cimento, 1, 119 (1956).
4. Н.П. Богачев. ДАН, 108, 808 /1956/.  
N.P. Bogachev. Soviet Physics Doklady, 1, 361 (1956).