Доклады Академии наук СССР
1955. Том 104, № 3

ФИЗИКА

В. П. ДЖЕЛЕПОВ, В. И. МОСКАЛЕВ и С. В. МЕДВЕДЬ

ПОЛНОЕ СЕЧЕНИЕ (pp)-ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В ИНТЕРВАЛЕ ЭНЕРГИЙ 410—660 Мэв

(Представлено академиком Л. А. Арцимовичем 12 VII 1955)

Известно, что при энергиях, превышающих 400—450 Мэв, свойства (pp)-взаимодействия существенно меняются. Это происходит главным образом вследствие того, что начиная с указанных энергий заметно возрастает сечение неупругих (pp)-соударений (мезонообразование) ([1]). Рост этого сечения сопровождается изменением картины упругого (pp)-рассеяния — появлением резкой анизотропии в угловом распределении рассеянных протонов ([2, 3]). В связи с этим представляет интерес тщательное изучение поведения полного сечения (pp)-взаимодействия в области энергий выше 400 Мэв.

В настоящем сообщении излагаются результаты опытов, выполненных на синхроциклотроне Института ядерных проблем АН СССР, в которых исследовалась энергетическая зависимость полного сечения (pp)-взаимодействия в интервале энергий 410—660 Мэв.

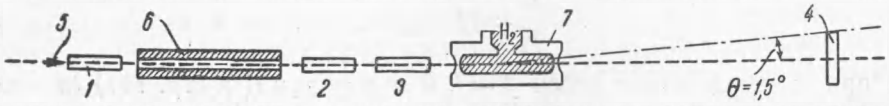


Рис. 1. Схема опыта. *1, 2, 3* — пропорциональные счетчики, *4* — сцинтилляционный счетчик, *5* — пучок протонов, *6* — коллиматор, *7* — дьюаровский сосуд с жидким водородом

Пучок протонов с энергией 660 Мэв, выведенный из вакуумной камеры ускорителя, для удаления из него медленных частиц пропускался через магнит-очиститель и направлялся в коллиматор, заложенный в защитной стене. Коллиматор представлял собой, стальной блок длиной 3,6 м с цилиндрическим каналом вдоль оси, в который с обоих концов были вставлены латунные трубы, имеющие длину по 1 м и внутренние отверстия диаметром 10 мм. Протоны, выходящие из коллиматора, регистрировались телескопом из трех пропорциональных счетчиков *1, 2* и *3* (рис. 1), включенных на совпадения. Торцы счетчиков, через которые проходит пучок, выполнены в виде тонких слюдяных окошек (5 мг/см^2). В целях лучшей коллимации пучка между счетчиками *1* и *2* располагался еще один коллиматор длиной 40 см с внутренним диаметром 10 мм. В этих условиях угловая расходимость пучка протонов не превышала нескольких минут. Непосредственно за счетчиком *3* находилась мишень с жидким водородом. Детектором ослабленного пучка протонов являлся жидкостный сцинтилляционный счетчик *4* диаметром 10 см, наполненный раствором терфенила в толуоле с концентрацией 4 г/л. Он был включен на совпадения с телескопом счетчиков *1, 2, 3* и расположен на таком расстоянии от водородной мишени, что регистрировал все протоны, отклонившиеся от своего первоначального направления на угол, не превышающий 1,5°. Вся

установка тщательно юстировалась по направлению оси протонного пучка. Точность юстировки дополнительно контролировалась путем фотографирования пучка на рентгеновских пленках, располагавшихся на его пути в разных местах установки.

Мишенью для протонов служил металлический дьюаровский сосуд с жидким водородом (емкость около 8 л), сконструированный и изготовленный в нашем институте ([4]). Длина рабочей части сосуда равна 30 см (2,1 г/см^2 жидкого водорода). При помощи специального приспособления мишень могла удаляться из пучка, а на ее место устанавливалась модель рабочей мишени без жидкого водорода. Измерения эффекта от водорода чередовались с измерениями на модели. В последних опытах определялась доля протонов, вышедших из пучка вследствие рассеяния их на краях катода и в слюдяном окне счетчика *3*, в стальных фольгах впускных и выпускных окон водородной мишени (общей толщиной 0,3 г/см^2), а также вследствие рассеяния в воздухе и других причин. Суммарный эффект, обусловленный всеми этими причинами, составлял около 4%. Фон случайных четверных совпадений во всех опытах измерялся одновременно с эффектом при помощи метода задержанных совпадений. Этот фон обычно не превышал 2%.

При данном методе измерений сечений необходимо обеспечить условия, в которых должен регистрироваться каждый проходящий через установку протон. Применявшиеся нами пересчетные устройства позволяли работать без просчетов при интенсивности пучка 150—200 протонов/сек.

Снижение энергии пучка производилось при помощи полиэтиленовых фильтров соответствующей толщины, помещаемых перед первым коллиматором. Определение энергии производилось путем измерения ионизационного пробега протонов в меди. Разброс в энергии протонов и примесь π-мезонов в пучке невелики, так как последующие коллиматоры выделяют чрезвычайно узкий пучок частиц*. Результаты измерений полных сечений (pp)-взаимодействия приводятся в табл. 1 (колонка 2).

Таблица 1

E_p(Мэв)	$\sigma_{pp}^{полн}$	$\sigma_{pp}^{неупр}$	$\sigma_{(p+p\to\pi^++p+n)}$
	в 10^{-27} см^2		
410	26,9±0,7	3,9±2,1	—
460	27,6±0,4	4,6±2,0	2,6±2,0
500	29,9±0,4	6,9±2,0	4,1±2,0
540	32,1±0,5	9,1±2,1	5,5±2,1
580	35,6±0,5	12,6±2,1	7,9±2,1
600	36,6±0,5	13,6±2,1	8,4±2,1
620	38,6±0,5	15,6±2,1	9,9±2,2
640	39,8±0,6	16,8±2,1	10,7±2,2
660	41,4±0,6	18,4±2,1	11,9±2,3*

* Оценка, сделанная ранее в работе ([11]) на основании интерполяции данных ([5]) о $\sigma_{pp}^{полн}$, дала для полного сечения реакции (2) при энергии 660 Мэв величину $11{,}5\cdot10^{-27}$ см^2.

Указанные в табл. 1 ошибки являются средними квадратичными погрешностями измерений, учитывающими как статистические отклонения, составляющие около 1%, так и ряд поправок и погрешностей, обусловленных другими причинами. Были учтены поправки к полному сечению из-за упругого рассеяния протонов на углы меньше 1,5°. Они составляют не более 0,2—0,3%. Поправки на детектирование счетчиком *4* дейтронов, образуемых в мишени в результате реакции $p + p \to \pi^+ + d$, не превышают 0,1—0,2%. Мезоны от этой реакции, а также мезоны и протоны от реакций $p + p \to \pi^+ + p + n$ и $p + p \to \pi^0 + p + p$ вследствие широкого углового распределения частиц в этих реакциях и малого телесного угла, охватываемого счетчиком *4*, не вносят сколько-нибудь заметных изменений в результаты измерений. Для учета однократного кулоновского рассеяния протона на

* Разброс по энергиям составляет менее ± 5 Мэв при $E_p = 660$ Мэв и ± 10 Мэв при $E_p = 410$ Мэв.

протоне были рассчитаны интегральные сечения кулоновского рассеяния на углы большие 1,5°. Поправки составили 2,5% при энергии 410 Мэв и 0,5% при энергии 660 Мэв. В условиях геометрии опыта выбывание протонов из пучка вследствие многократного кулоновского рассеяния в водороде было пренебрежимо малым.

Измеренные нами полные сечения (pp)-взаимодействия представлены на рис. 2 совместно с данными других авторов, определявших эти сечения для протонов разных энергий ([5-7]). Можно видеть, что в пределах ошибок опытов полные сечения (pp)-взаимодействия остаются постоянными до энергии 350 Мэв. Данные наших опытов, относящиеся и интервалу энергии 410—660 Мэв, хорошо согласуясь с результатами работы ([5]) (в которой измерения $\sigma_{pp}^{полн}$ проведены вплоть до 1275 Мэв с интервалами в 100—200 Мэв), также свидетельствуют о быстром росте указанных сечений при энергиях, превышающих 400 Мэв. Действительно, в обследованном нами интервале энергий полное сечение (pp)-взаимодействия возрастает более, чем в полтора раза.

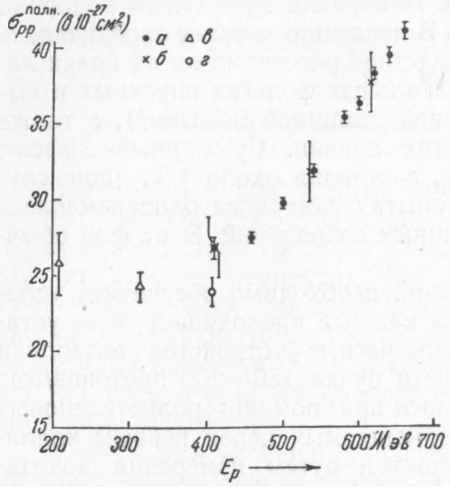


Рис. 2. Зависимость полного сечения (pp)-взаимодействия от энергии. *а* — наши данные, *б* — ([5]), *в* — ([6]), *г* — ([7])

Если учесть, что согласно имеющимся данным ([2, 3, 8]) полное сечение упругого (pp)-рассеяния в интервале энергии 410—660 Мэв остается с точностью до ошибок опытов постоянным (среднее значение его мы приняли равным $(23 \pm 2) \cdot 10^{-27}$ см²), то путем вычитания этой величины из найденных нами величин $\sigma_{pp}^{полн}$ можно определить полное сечение неупругих процессов (образование мезонов) при (pp)-соударениях во всем интервале энергий. Цифры, приведенные в колонке 3 табл. 1, свидетельствуют, что вклад этих процессов в полное сечение (pp)-взаимодействия возрастает от 10—15% при 410 Мэв до 40—45% при 660 Мэв. В работе ([9]) на основании интерполяции данных о $\sigma_{pp}^{полн}$, найденных в ([5]), было показано, что суммарный вклад неупругих процессов в полное сечение (pp)-взаимодействия возрастает с $\sim$ 20% при 460 Мэв до $\sim$ 40% при 660 Мэв.

Наши данные позволяют также с известной точностью определить сечение рождения мезонов в любой из трех возможных реакций: $p + p \to \pi^+ + d$ (1), $p + p \to \pi^+ + p + n$ (2) и $p + p \to \pi^0 + p + p$ (3) как разность между полным сечением (pp)-взаимодействия и суммой сечений двух других реакций и полного сечения упругого (pp)-рассеяния. Найденные таким путем величины полных сечений реакции (2) в интервале энергий 460—660 Мэв представлены в колонке 4 табл. 1. При этом данные о сечениях реакции (1) заимствовались из работы ([1]), а сечения реакции (3) определялись по величине $\sigma_{(pp\pi^0)}$ при энергии 670 Мэв и эмпирической зависимости $\sigma_{(pp\pi^0)} \sim p^{4,5 \pm 0,5}$, найденным в работе ([10]). Здесь p — максимальный импульс π^0-мезона в с. ц. и.

Согласно ([5]) возрастание полного сечения (pp)-взаимодействия продолжается до энергии 800 Мэв, а далее вплоть до $\sim$ 1300 Мэв оно остается постоянным и равным $(47 - 49) \cdot 10^{-27}$ см². Этот факт, наряду с большой величиной сечения неупругого (pp)-взаимодействия, позволил Я. А. Смородинскому высказать предположение, что при энергиях порядка 1000 Мэв протон по отношению к нуклонным волнам может рассматриваться как абсолютно поглощающий («черный») шарик и что в связи с этим упругое (pp)-рассеяние должно носить диффракционный

характер ([12])*. Оценки дали для величины радиуса протона величину $r = 0{,}45 \cdot 10^{-13}$ см. Недавно на основе подобных представлений в работе ([14]) для протонов с энергией 1000 Мэв были рассчитаны угловое распределение и полное сечение упругого (pp)-рассеяния. Результаты вычислений дали хорошее согласие с опытными данными ([3]).

В свете сказанного можно, повидимому, заключить, что уже при энергии 660 Мэв протон обладает относительно малой «прозрачностью» для нуклонных волн, так как полное сечение (pp)-взаимодействия при этой энергии не намного отличается от сечения при 850—1200 Мэв.

Обращает на себя внимание то, что радиус протона, найденный в ([12]), оказался в три раза меньше обычно используемого в мезонных теориях радиуса действия ядерных сил $r = \hbar/\mu c = 1{,}5 \cdot 10^{-13}$ см. Радиус $r \sim 0{,}5 \cdot 10^{-13}$ см проявился при энергиях нуклонов, когда стали существенными процессы мезонообразования, требующие большой передачи импульса при столкновениях. Все это означает, повидимому, что наиболее интенсивные силы между двумя протонами действуют на расстояниях порядка $0{,}5 \cdot 10^{-13}$ см, силы же, действующие в области бо́льших расстояний, вносят меньший вклад в общее взаимодействие протона с протоном. Подобное заключение на основании анализа своих опытов делают также авторы работы ([15]), в которой изучалось рассеяние на протонах π^--мезонов с энергией 1400 Мэв.

Весьма желательным представляется дальнейшее развитие оптической модели нуклона и анализ на ее основе энергетической зависимости сечений взаимодействия нуклонов с нуклонами в области «промежуточных» энергий 400—800 Мэв. Подобный анализ, повидимому, позволит получить новые параметры, характеризующие структуру силового поля нуклонов.

Пользуемся случаем выразить благодарность Б. В. Гавриловскому, принимавшему участие в начальной стадии работы.

Институт ядерных проблем
Академии наук СССР

Поступило
12 VII 1955

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

[1] М. Г. Мещеряков, Б. С. Неганов, ДАН, **100**, 677 (1955). [2] Н. П. Богачев, И. К. Взоров, ДАН, **99**, 931 (1954); Я. М. Селектор, С. Я. Никитин и др., там же, стр. 967. [3] L. Smith, A. McReynolds, G. Snow, Phys. Rev., **97**, 1186 (1955). [4] В. М. Сидоров, Н. И. Фролов и др., Отчет ИЯП АН СССР, 1952. [5] A. Shapiro, C. Levitt, F. Chen, Bull Am. Phys. Soc., **29**, № 4, 75 (1954). [6] H. G. de Carvalho, Phys. Rev., **96**, 398 (1954). [7] J. Marshall, L. Marshall, V. A. Nedzel, Phys. Rev., **91**, 767 (1953). [8] М. Г. Мещеряков, Н. П. Богачев, и др., ДАН, **99**, 955 (1954). [9] М. Г. Мещеряков, Б. С. Неганов и др., ДАН, **99**, 955 (1954). [10] А. А. Тяпкин, М. С. Козодаев, Ю. Д. Прокошкин, ДАН, **100**, 689 (1955). [11] М. Г. Мещеряков, Н. П. Богачев, Б. С. Неганов, Изв. АН СССР, сер. физ., **19**, № 5 (1955). [12] Я. А. Смородинский, Проблемы совр. физики, 7, 7 (1954). [13] Б. В. Гавриловский, В. И. Москалев, Отчет ИЯП АН СССР (1953). [14] R. Serber, W. Rarita, Bull. Am. Phys. Soc., **30**, No. 3, 29 (1955). [15] L. M. Eisberg, W. B. Fowler et al., Phys. Rev., **97**, 797 (1955).

* О возможности подобного феноменологического рассмотрения процесса взаимодействия протона с протоном при энергиях, когда велики сечения мезонообразования, независимо указывалось также в работе ([13]).