

В. П. ДЖЕЛЕПОВ, Ю. М. КАЗАРИНОВ и В. Б. ФЛЯГИН

**ОБМЕННОЕ РАССЕЯНИЕ НЕЙТРОНОВ С ЭНЕРГИЕЙ 380 Мэв
НА ДЕЙТРОНАХ И СПИНОВАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ОБМЕННЫХ СИЛ***

(Представлено академиком Л. А. Арцимовичем 9 XII 1954)

Результаты опытов В. П. Джелепова и Ю. М. Казаринова по рассеянию нейтронов с энергией 380 Мэв протонами ⁽³⁾, так же как и данные исследований с нейтронами высоких энергий, проведенных за границей, ясно свидетельствуют о большом вкладе сил обменного характера во взаимодействие между нейтроном и протоном. Однако на основании этих данных невозможно сделать какие-либо определенные заключения о спиновой зависимости обменных сил.

Дело в том, что измеренные сечения (п — р)-рассеяния определялись в опытах с неполяризованными пучками нейтронов и неполяризованными мишенями и, следовательно, представляют сумму сечений рассеяния, вызываемого как силами зависящими, так и независящими от спина. Раздельное определение вклада в эффективное сечение от этих двух типов взаимодействия при использованной методике исследований невозможно. В то же время необходимость в дальнейшей детализации картины (п — р)-взаимодействия с точки зрения изучения проблемы ядерных сил очевидна.

В 1951 г. И. Я. Померанчук указал на возможность исследования спиновой зависимости обменных сил, действующих в (п — р)-системе, путем наблюдения быстрых протонов от обменных столкновений нейтронов высоких энергий с дейтронами и сравнения результатов этих опытов с данными по рассеянию нейтронов свободными протонами ⁽⁴⁾. Исходным моментом, на который он обратил внимание, было то, что вследствие параллельности спинов частиц, составляющих дейтрон, в известных условиях вероятность обменного (п — d)₊-рассеяния, сопровождающегося одновременно и обменом спинами между нуклонами, резко уменьшается.

Рассмотрение задачи об обменном (п — d)-рассеянии, происходящем по реакции

$$n + d \rightarrow p + (n + n), \quad (1)$$

существенно облегчается, если ограничиться областью углов отдачи, близких к 0°, и принять, как это делает И. Я. Померанчук, что: 1) в этой области углов сечение обменного (п — р)-рассеяния не зависит от угла и 2) между нуклонами действуют лишь центральные силы.

Амплитуда обменного рассеяния свободных нуклонов в этих условиях определяется выражением

$$a_0 = [\bar{a} + \bar{b}P_s(1,2)] P. \quad (2)$$

* Это сообщение основано на результатах работы, завершенной в апреле 1952 г. и ранее описанной в отчетах Института ядерных проблем АН СССР ^(1,2).

Здесь доля обменных сил, не связанная с обменом спинами, представлена членом $\bar{a}$, а доля, сопровождающаяся обменом спинами, пропорциональна $\bar{b}$; $P_s(1,2)$ — оператор обмена спинами; P — оператор обмена координатами.

Когда импульс отлетающего протона k' близок к импульсу падающего нейтрона k , триплетное состояние для системы $(n-p)$, остающейся после обменного $(n-d)$ -столкновения, запрещено принципом Паули. Вероятность же синглетного состояния системы $(n-p)$ в этой реакции определяется только членом $\bar{a}$ в формуле (2). Это значит, что появление в реакции (1) протона с импульсом, практически равным импульсу падающего нейтрона, возможно лишь в том случае, если в обменном столкновении не происходит обмена спинами.

Теория ⁽⁴⁾ предсказывает уменьшение величины дифференциального сечения обменного $(n-d)$ -рассеяния по мере перехода к малым углам рассеяния $\theta \ll \sqrt{40/E_n}$. Выводы теории наиболее обоснованы для углов вылета протонов, близких к 0° . Поэтому в нашей работе наибольшее внимание уделялось определению сечений именно в этой области углов*.

В опытах при помощи телескопа из трех сцинтилляционных счетчиков, включенных на совпадения, измерялась разность $N_1^p(\theta)$ в числе протонов отдачи, вылетающих под данным углом (лабораторная система) к пучку нейтронов из рассеивателей с обычной и тяжелой водой, содержащих равные числа ядер водорода и дейтерия. В сцинтилляционных телескопах использовались кристаллы нафталина с 2% примесью антрацена и фотоумножители типа ФЭУ-19. Разрешающее время схемы совпадений было равно $5 \cdot 10^{-8}$ сек. Нейтроны получались при помощи обменного рассеяния протонов с энергией 480 Мэв на бериллии. Нейтронный пучок имел диаметр 20 мм. Рассеиватели имели диаметр 6 см и толщину около 3 см. Геометрия детектора позволяла производить измерения дифференциальных сечений с разрешением по углу $\pm 0,75^\circ$. Интенсивность пучка нейтронов тщательно контролировалась при помощи аналогичного телескопа и висмутовой камеры деления. Энергетический порог детектора задавался медным фильтром, помещавшимся между вторым и третьим счетчиками телескопа, и составлял для протонов около $300 \cos^2\theta$ Мэв**. При этом средняя энергия нейтронов, использованных в опытах, составляла 380 Мэв.

Величина $N_1^p(\theta)$ пропорциональна разности сечений обменных $(n-p)$ -и $(n-d)$ -столкновений и для заданного угла в относительных единицах определяется равенством

$$N_1^p(\theta) = k [\sigma_{np}(\theta) - \sigma_{nd}^{обм}(\theta)]. \quad (3)$$

Абсолютное значение сечения обменного $(n-d)$ -рассеяния $\sigma_{nd}^{обм}(\theta)$ можно получить, если найденную вышеуказанным путем величину $N_1^p(\theta)$ отнести к числу протонов отдачи $N_2^p(\theta)$, зарегистрированных детектором в аналогичных условиях (в смысле интенсивности пучка нейтронов и числа протонов в рассеивателе) при свободных $(n-p)$ -столкновениях. Величина $N_2^p(\theta)$ измерялась при этом обычным разно-

* К моменту завершения данной работы в литературе были опубликованы результаты двух экспериментальных работ, посвященных изучению обменных $(n-d)$ -столкновений при энергиях 90 Мэв () и 270 Мэв (). Существенным недостатком этих работ является отсутствие данных в наиболее интересной области углов, близких к 0° .

** При указанном пороге упруго рассеянные дейтроны не регистрировались детектором и не вносили искажений в результаты измерений.

ственным парафин — графит методом (3). Абсолютные значения $\sigma_{nd}^{обм}(\theta)$ для различных углов находились из отношений:

$$\frac{N_1^p(\theta)}{N_2^p(\theta)} = 1 - \frac{\sigma_{nd}^{обм}(\theta)}{\sigma_{np}(\theta)}, \quad (4)$$

в которые вводились известные из опытов (3) величины $\sigma_{np}(\theta)$.

Результаты измерений величин $\sigma_{nd}^{обм}(\theta)$ и отношений $\sigma_{nd}^{обм}(\theta)/\sigma_{np}(\theta)$ приведены на рис. 1 и 2. Особенно резкое понижение выхода протонов в обменных (п—d)-соударениях по сравнению с (п—р)-соударениями, как и предсказывала теория (4), наблюдается в области углов отдачи, близких к 0° . На (10—15)% более низкий выход протонов в (п—d)-соударениях наблюдается также и в интервале углов отдачи от 15° до 40° . Качественно это не противоречит результатам, полученным в опытах с нейтронами 90 Мэв (5) и 270 Мэв (6), согласно которым сечение $\sigma_{nd}^{обм}(\theta)$ в этой области углов составляет около (70—80)% от $\sigma_{np}(\theta)$. Уменьшение $\sigma_{nd}^{обм}(\theta)$ при больших углах отдачи может быть обусловлено частично действием принципа Паули, а также тем, что вследствие внутреннего движения нуклонов в дейтроне энергия некоторой доли протонов отдачи понижается ниже порога чувствительности детектора.

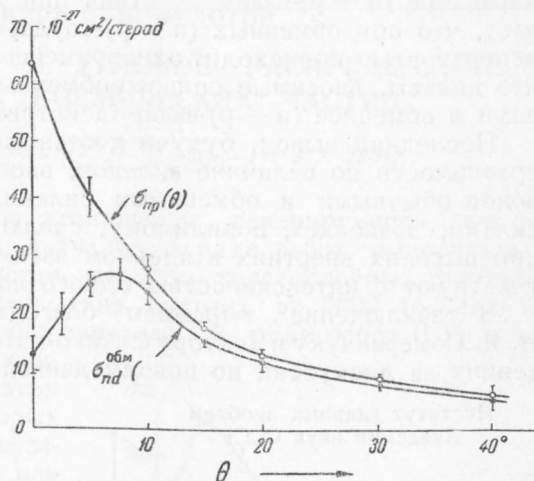


Рис. 1. Дифференциальное сечение обменного (п—d)- и (п—р)-рассеяния при энергии нейтронов 380 Мэв

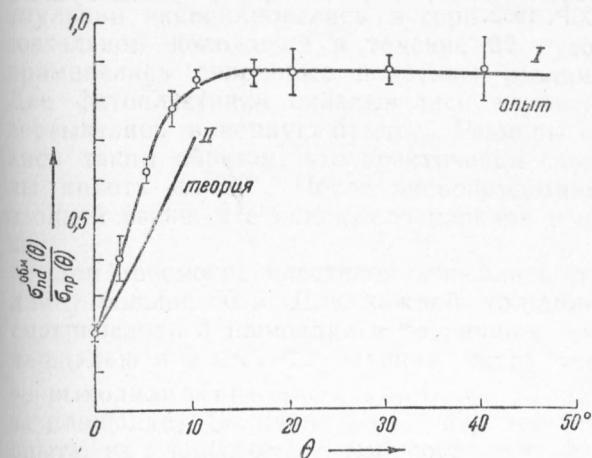


Рис. 2. Отношение сечений обменного (п—d)- и (п—р)-рассеяния при энергии нейтронов 380 Мэв

ствующего между нуклонами. Известно, что при введении в рассмотрение тензорных сил даже для области малых углов рассеяния, амплитуда (п—р)-рассеяния не может быть сведена к выражению (2) и представляется трехчленной формулой (7).

Если воспользоваться экспериментально найденной для угла $\theta = 0^\circ$

величиной отношения сечений $\sigma_{nd}^{обм}(0^\circ)/\sigma_{np}(0^\circ) = 0,2 \pm 0,035$, то в рамках работы ⁽⁴⁾ удастся грубо оценить пределы изменения отношения амплитуд спинowo-необменного и спинowo-обменного рассеяния. Оказывается, что величина этого отношения заключена в следующих пределах:

$$0,5 \leq \left| \frac{\bar{a}}{\bar{b}} \right| \leq 1,2. \quad (5)$$

Неравенство (5) позволяет сделать существенно новый вывод о характере (п — р)-взаимодействия при высокой энергии; оно показывает, что при обменных (п — р)-соударениях с относительно большой вероятностью происходит одновременно и обмен спинами. Это означает, что вклады, вносимые спинowo-обменными и спинowo-необменными силами в обменное (п — р)-взаимодействие, одного порядка.

Последний вывод, будучи поставлен в ряд с известными фактами сравнимости по величине вкладов, вносимых во взаимодействие нуклонов обычными и обменными силами, центральными и тензорными силами, позволяет, повидимому, сделать более общее заключение, что при высоких энергиях в ядерном взаимодействии нуклонов все силы участвуют с интенсивностью одного порядка.

В заключение выражаем благодарность чл.-корр. АН СССР И. Я. Померанчуку и доктору физико-математических наук И. М. Шмушкевичу за дискуссии по поводу данной работы.

Институт ядерных проблем
Академии наук СССР

Поступило
6 XII 1954

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ В. П. Желепов, Ю. М. Казаринов, В. Б. Флягин, Отчет Инст. ядерных проблем АН СССР, 1952. ² В. П. Желепов, Диссертация, Инст. ядерных проблем АН СССР, март 1954. ³ В. П. Желепов, Ю. М. Казаринов, ДАН, 91, № 6 (1954). ⁴ И. Я. Померанчук, ДАН, 78, 249 (1951); ЖЭТФ, 21, 1113 (1951). ⁵ W. Powell, Результаты приводятся в работе F. Chew, Phys. Rev., 84, 710 (1951). ⁶ J. Cladis, J. Hadley, W. Hess, *ibid.*, 86, 110 (1952). ⁷ И. Шмушкевич, Диссертация, ЛФТИ АН СССР, 1952.