

В. П. ДЖЕЛЕПОВ и Ю. М. КАЗАРИНОВ

УПРУГОЕ РАССЕЯНИЕ НЕЙТРОНОВ С ЭНЕРГИЕЙ 380 МЭВ ПРОТОНАМИ*

(Представлено академиком Л. А. Арцимовичем 4 XI 1954)

Из опытов по рассеянию на свободных протонах нейтронов и протонов малых энергий ($E_n < 10-15$ Мэв), когда длина волны λ_n относительного движения частиц велика по сравнению с радиусом действия ядерных сил r_0 , были получены достаточно полные сведения о взаимодействии нуклонов на относительно больших расстояниях $r \gtrsim 2 \cdot 10^{-13}$ см (S-состояние). Дальнейший прогресс в экспериментальном и теоретическом изучении проблемы ядерных сил тесно связан с исследованием нуклон-нуклонных взаимодействий при $\lambda_n < r_0 \sim 10^{-13}$ см, т. е. в области энергий нуклонов, существенно превышающих 100 Мэв. Поэтому после получения на синхроциклотроне Института ядерных проблем АН СССР протонов с энергией 480 Мэв нами были выполнены опыты по упругому рассеянию нейтронов со средней энергией 380 Мэв свободными протонами.

Нейтроны высокой энергии получались в результате обменного взаимодействия протонов с нейтронами бериллиевой мишени, располагавшейся внутри вакуумной камеры ускорителя в области последних равновесных орбит.

Из потока нейтронов высокой энергии, идущих от мишени, при помощи латунного коллиматора, заложенного в 5-метровой защитной бетонной стене, выделялся пучок неполяризованных нейтронов диаметром 2 или 5 см. Интенсивность потока нейтронов с энергией более 300 Мэв в месте расположения установки для исследования (n — p)-рассеяния составляла $(2,5 \pm 0,3) \cdot 10^4$ нейтр./см²сек.

Распределение нейтронов в пучке по энергиям было определено нами и В. Б. Флягиным⁽³⁾ при помощи энергетического спектра протонов отдачи от (n — p)-столкновений, измеренного двумя независимыми методами. При этом в одной серии опытов искомый спектр нейтронов определялся при помощи кривой ионизационного торможения в меди протонов отдачи; в другой — детектор последовательно измерял числа протонов отдачи в заданном интервале энергий от E_p до $E_p + \Delta E_p$. Опыты обоих типов дали удовлетворительно согласующиеся между собой результаты. Найденное энергетическое распределение нейтронов в пучке приведено на рис. 1.

Для того чтобы определить относительные угловые дифференциальные сечения рассеяния нейтронов заданной энергии протонами, были выполнены измерения углового распределения протонов отдачи,

* Это сообщение основано на результатах работы, выполненной в 1951 г. и ранее описанной в отчетах Института ядерных проблем АН СССР (1,2)

выбитых нейтронами из водородсодержащего рассеивателя, т. е. найдена функция $N_p(\Phi) = k\sigma_{np}(\Phi)$, где Φ — угол вылета из рассеивателя протона отдачи в лабораторной системе координат (см. рис. 2, на котором приведена общая схема опыта), $\sigma_{np}(\Phi)$ — искомое сечение (п — р)-рассеяния, а k — постоянный коэффициент.

В качестве рассеивателей нейтронов использовались диски из химически чистого парафина $\text{CH}_{2,08}$ и графита С с равными тормозными

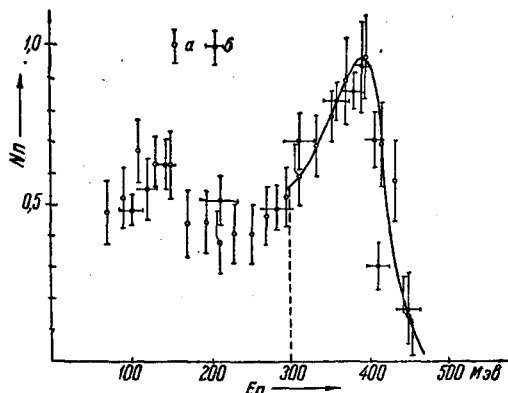


Рис. 1. Энергетическое распределение нейтронов. а — первый метод, б — второй метод

способностями для протонов. Эффект рассеяния нейтронов свободными протонами определялся разностью эффектов от двух указанных рассеивателей с учетом различия в числах содержащихся в них атомов углерода. Регистрация протонов отдачи осуществлялась телескопом T_2 из трех пропорциональных счетчиков, наполненных аргонном с 10% примесью углекислого газа и включенных в схему совпадений с разрешающим временем $4 \cdot 10^{-7}$ сек. Интенсивность нейтронного пучка контролировалась аналогичным телескопом T_1 и ионизационной камерой с электродами, выложенными висмутом. Геометрия опытов была выбрана так, что позволяла вести измерения дифференциальных сечений (п — р)-рассеяния с разрешением по углу $2,5-3^\circ$. Помещение между 2-м и 3-м счетчиками телескопа-детектора протонов отдачи медных фильтров соответствующей толщины позволяло изучать рассеяние на протонах лишь нейтронов с энергиями, превышающими 300 МэВ. Кривая $N_p(\Phi)$ была определена в интервале углов отдачи от 0 до 70° .

В данные непосредственных измерений вносились поправки, учитывающие потери протонов отдачи вследствие ядерного поглощения и многократного рассеяния их в фильтрах. Эти поправки с хорошей точностью были экспериментально определены нами для телескопа-детектора в особых опытах, выполненных на выведенном из синхроциклотрона пучке протонов. Максимальная величина поправки ($\Phi = 0^\circ$) составляла 40% от неисправленной величины $N_p(\Phi)$. Как показал анализ, в условиях описываемых опытов заряженные π -мезоны, образованные в (п — р)-соударениях, поглощались в медных фильтрах и не регистрировались детектором протонов. В результате этого необходимость во внесении в кривую $N_p(\Phi)$ поправок, связанных со счетом мезонов, исключалась.

Абсолютные дифференциальные сечения (п — р)-рассеяния определялись, как обычно, путем нормировки кривой $\sigma_{np}(\Phi)$ на полное

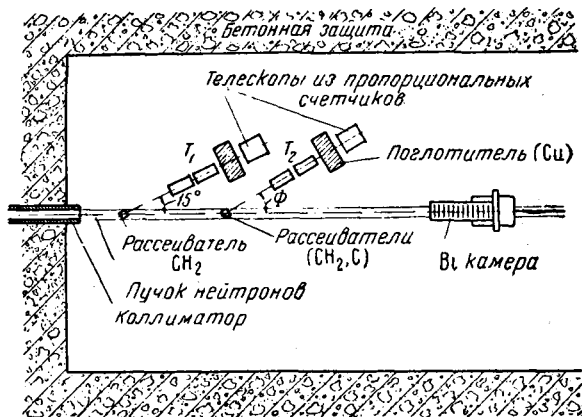


Рис. 2. Рассеяние нейтронов протонами (схема опыта)

сечение $(n-p)$ -рассеяния $\sigma_t(n-p)$ согласно равенству:

$$\sigma_t(n-p) = 2\pi \int_0^{\pi/2} \sigma_{np}(\Phi) \sin \Phi d\Phi.$$

Для $\sigma_t(n-p)$ использовалось значение $\sigma_t(n-p) = (40 \pm 4) \cdot 10^{-27} \text{ см}^2$, определенное в работе (4) для нейтронов той же средней энергии (380 Мэв).

Вклад мезонообразования в полное сечение $(n-p)$ -взаимодействия не учитывался ввиду его малости при данной энергии нейтронов.

На рис. 3 приведены окончательные результаты измерений дифференциальных сечений $(n-p)$ -рассеяния, пересчитанные в систему координат, связанную с центром инерции сталкивающихся нуклонов. Указанные на графике ошибки представляют собой статистические погрешности измерений. Полные ошибки в величинах дифференциальных сечений с учетом известной неопределенности в экстраполяции кривой $N_p(\Phi)$ на участке от 70 до 90° по нашим оценкам составляют в среднем 15–20%.

Ко времени выполнения данной работы в литературе имелись данные по $(n-p)$ -рассеянию, относящиеся к средней энергии нейтронов, не превышающей 260 Мэв (см., например, обзор (5)); лишь недавно появилась работа (6), где аналогичное исследование было выполнено с нейтронами, имеющими энергию (400 ± 25) Мэв, близкую к обследованной нами. Результаты работы (6) с учетом ошибок опытов, а также с учетом известной разницы в ширине использованного интервала энергетического спектра нейтронов находятся в удовлетворительном соответствии с нашими данными.

Анализ полученного нами экспериментального материала и сопоставление его с данными опытов, выполненных при других энергиях нейтронов, позволяют сделать следующие заключения.

1. При энергии нейтронов 380 Мэв вклад в $(n-p)$ -взаимодействие сил обменного характера по величине близок к вкладу от сил обычного типа.

2. Полные сечения $(n-p)$ -рассеяния в широкой области энергии нейтронов от 160 до 400 Мэв меняются слабо, оставаясь близкими к $(35-40) \cdot 10^{-27} \text{ см}^2$.

3. Дифференциальное сечение упругого $(n-p)$ -рассеяния при $E_n = 380$ Мэв в широком интервале углов 50–130° практически не зависит от угла и имеет величину, близкую к $\lambda_n^2 \text{ см}^2/\text{стерад}$.

4. Опытные факты по нуклон-нуклонному рассеянию при высоких энергиях находятся в резком противоречии с предсказаниями теории возмущений и не получили адекватного истолкования на основе феноменологической теории, оперирующей со статическими потенциалами.

5. Результаты опытов по рассеянию нуклонов высоких энергий нуклонами не противоречат гипотезе зарядовой независимости ядерных сил. Соотношение между дифференциальными сечениями $(n-p)$ и

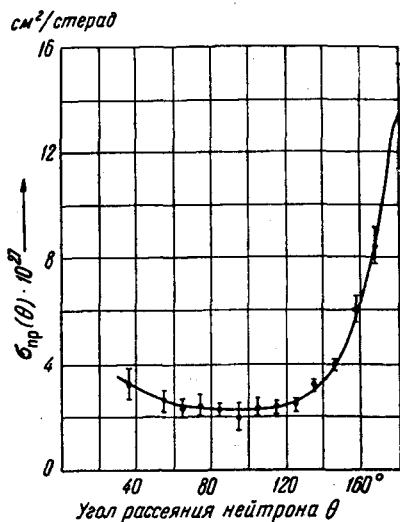


Рис. 3. Дифференциальное сечение $(n-p)$ -рассеяния при средней энергии нейтронов 380 Мэв

(p — p)-рассеяния

$$2[\sigma_{np}(\theta) + \sigma_{np}(\pi - \theta)] - \sigma_{pp}(\theta) > 0, \quad (1)$$

вытекающее из этой гипотезы, выполняется в широком интервале энергий.

6. Допущение о справедливости этой гипотезы, как показал Я. А. Смородинский⁽⁷⁾, позволяет на основании результатов описываемых опытов по (p — p)-рассеянию и известных опытов по (p — p)-рассеянию определить взаимодействие в системе двух нуклонов, находящихся в состояниях с различными изотопическими спинами $T = 0$ и $T = 1$. При этом $\sigma_{T=1}(\theta) = \sigma_{pp}(\theta)$, а $\sigma_{np}(\theta)$ в состоянии с $T = 0$ определяется левой частью неравенства (1). Соответствующий расчет показывает, что при энергии нейтронов 380 Мэв сечение (p — p)-рассеяния в состоянии с $T = 0$ описывается кривой, подобной полученной по теории возмущений.

Последний факт дает основание считать, что наблюдаемые на опыте зависимости сечений нуклон-нуклонного взаимодействия при высоких энергиях свидетельствуют об интенсивном взаимодействии нуклонов в состоянии с изотопическим спином $T = 1$.

В заключение выражаем благодарность чл.-корр. АН СССР М. Г. Мещерякову и проф. Я. А. Смородинскому за интерес к работе и за ценные дискуссии.

Институт ядерных проблем
Академии наук СССР

Поступило
2 XI 1954

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ В. П. Желепов, Ю. М. Казаринов, Отчет Инст. ядерных проблем АН СССР, июнь 1951. ² В. П. Желепов, Диссертация, Инст. ядерных проблем АН СССР, март 1954. ³ В. П. Желепов, Ю. М. Казаринов, В. Б. Флягин, Отчет Инст. ядерных проблем АН СССР, 1952. ⁴ В. П. Желепов, Б. М. Голловин, В. И. Сатаров, там же, 1952. ⁵ В. И. Гольданский, А. Л. Любимов, Б. В. Медведев, Усп. физ. наук, 48, 513 (1952). ⁶ A. Hartzler, et al., Phys. Rev., 95, 591 (1954). ⁷ Я. А. Смородинский, Отчет АН СССР, 1953; Проблемы современной физики, ИЛ, в. 7, 7 (1954).