

АНАЛИЗ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЗАВИСИМОСТИ ПОЛНЫХ СЕЧЕНИЙ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ НЕЙТРОНОВ С ЯДРАМИ В ИНТЕРВАЛЕ ЭНЕРГИЙ 28 – 54 Гэв

Д.В.Галактионов, В.А.Любимов, Т.Н.Цветкова

Экспериментальные данные [1] по нейтрон-ядерным полным сечениям сравнивались с теорией Глаубера. Показано, что теория хорошо согласуется с экспериментом, если принять во внимание чисто ядерные эффекты в энергетической зависимости

σ_{tot}

Энергетическая зависимость нейтрон-ядерных полных сечений была недавно исследована в эксперименте, выполненном на ускорителе в Серпухове, в диапазоне энергий 28 – 54 Гэв [1].

Мы рассмотрим результаты [1] с точки зрения современной теории взаимодействия адронов высокой энергии с ядрами. Теория в глауберовском приближении [2] позволяет вычислить нейтрон-ядерные полные сечения, используя экспериментальные значения параметров амплитуды элементарного нуклон-нуклонного рассеяния.

Вычислению нейтрон-ядерных полных сечений посвящено несколько работ (см., например, [3 – 5]), но точность этих вычислений ограничена, поскольку определяется в основном величинами ошибок параметров распределения ядерной плотности. Мы будем интересоваться, главным образом, наблюдаемой в [1] энергетической зависимостью полных сечений взаимодействия нейтронов с ядрами в интервале энергий 30–60 Гэв. Эта область энергий является выделенной в том отношении, что энергетическая зависимость элементарных нуклон-нуклонных сечений здесь ослаблена (по крайней мере для pp-взаимодействий), и условия поэтому благоприятны для проявления чисто ядерных эффектов.

Нуклон-ядерные полные сечения могут зависеть от энергии даже и в том случае, если элементарные сечения постоянны. С ростом энергии изменяется отношение реальной к минимум части амплитуды (a) и сужается дифракционный конус упругого нуклон-нуклонного рассеяния (B), кроме того, изменяется величина поправки на неупругое экранирование (Δ_{in}) [7]. Эти эффекты приводят к появлению энергетической зависимости нуклон-ядерных полных сечений. Теоретические оценки величины этой зависимости могут быть выполнены более точно, чем вычисления абсолютных величин сечений, поскольку неточность в знании независящих от энергии параметров распределения ядерной плотности мало влияет на результат.

Мы провели вычисления нейтрон-ядерных полных сечений в глауберовском приближении [4], используя параметры Вудс – Саксоновского распределения ядерной плотности [10] и с учетом поправки на неупругое экранирование [8], т. е.

$$\sigma_{tot}(A, E) = \sigma_{Глаубер}(A, E) + \Delta_{in}(A, E),$$

где A – атомный номер, E – начальная энергия нейтрона, Δ_{in} – поправка на неупругое экранирование (см. рис. 1). Величины $\sigma_{tot}(A, E)$ вычислялись при трех значениях энергии (тех же, что в опыте [1])¹, и затем определялись параметры энергетической зависимости путем минимизации суммы квадратов отклонений полученных величин сечений от прямой

$$\sigma_{tot}(A, E) = \sigma - C \cdot E.$$

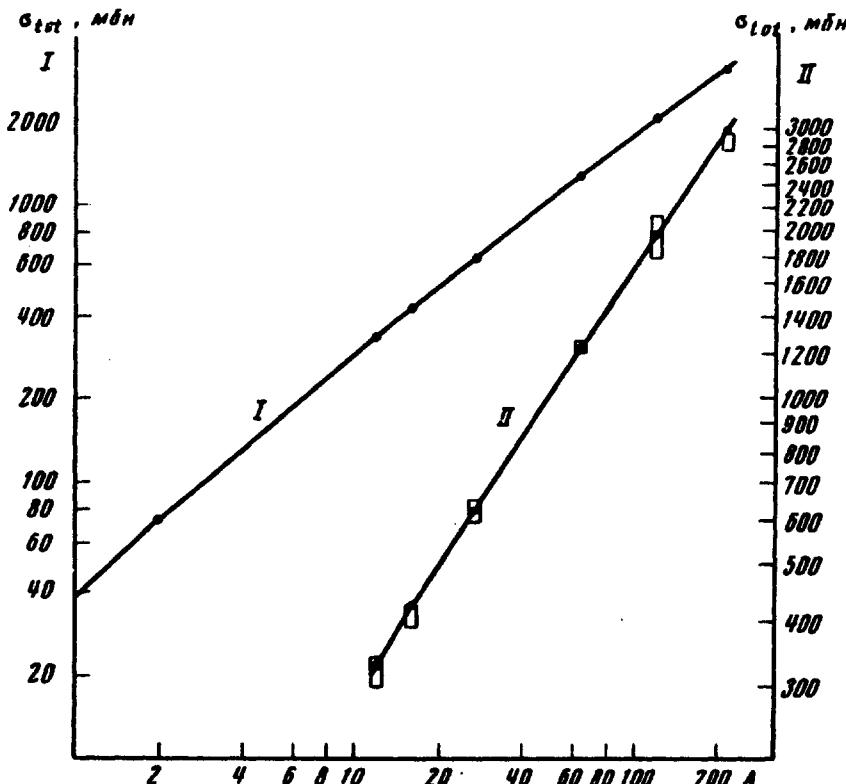


Рис. 1. Нейtron-ядерные полные сечения, как функция атомного номера A . Данные представлены в двух масштабах. Кривые проведены от руки через экспериментальные точки [1]. На кривой II показаны неопределенности теоретических вычислений величин сечений при тех значениях A , где выполнялись вычисления

Далее вычисленные значения параметров энергетической зависимости

$$\epsilon_{hA} = C / \sigma_{tot}$$

сравнивались с измеренными в опыте [1] с помощью процедуры минимизации χ^2 , причем единственным свободным параметром минимизации была величина ϵ_{NN} энергетической зависимости нуклон-нуклонного сечения².

¹⁾ При расчете параметры нуклон-нуклонной амплитуды рассеяния $d(E)$ и $B(E)$ брались из эксперимента [9].

²⁾ При нахождении минимума χ^2 были использованы данные для $A > 2$.

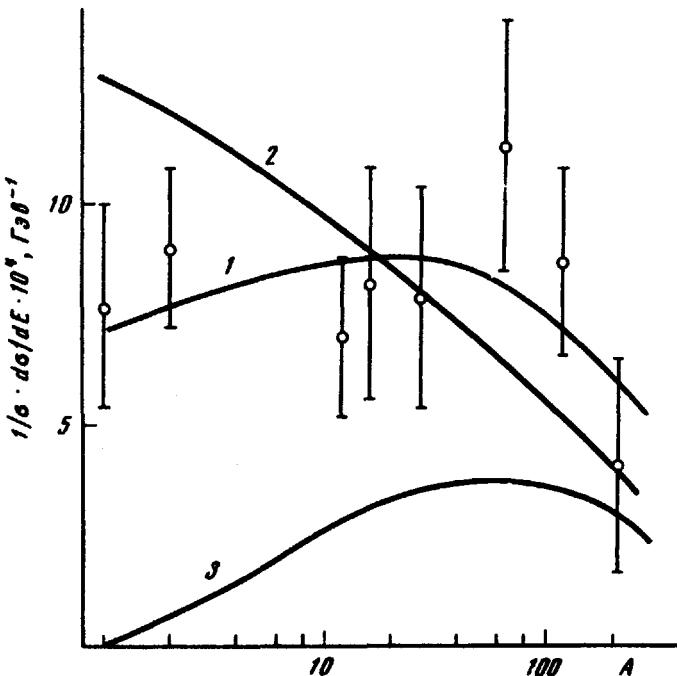


Рис. 2. Сравнение измеренных [1] величин энергетической зависимости нейтрон-ядерных полных сечений в диапазоне энергий $26 - 54 \text{ ГэВ}$ $\epsilon = c / \sigma_{tot}$ ($\sigma_{tot} = \sigma - CE$) с теорией (см. текст). Результаты расчетов показаны кривыми: 1 — $\Delta_{in} = 0$, $B(E)$ и $a(E)$ из [9], 2 — $\Delta_{in} = 0$, $a = 0$, $B = \text{const}$, 3 — $\epsilon_{NN} = 0$, Δ_{in} из [8], $a(E)$ и $B(E)$ из [9]

Из рис. 2, где представлен результат расчета (кривая 1) совместно с данными опыта, видно, что теория вполне удовлетворительно описывает экспериментальные данные (значение $\chi^2_{min} = 3,4$). Для выделения чисто ядерных эффектов аналогичный расчет был проведен в предположении $A_{in} = 0$, $a = 0$, $B = \text{const}$ (кривая 2 на рис. 1), получено

$$\epsilon_{NN} = 13 \cdot 10^{-4} \text{ Гэв}^{-1} \quad (\chi^2_{min} = 7,6), \quad (1)$$

что можно сравнить с измеренной величиной [1]:

$$\epsilon_{np} = (7,7 \pm 2,3) \cdot 10^{-4} \text{ Гэв}^{-1}$$

Различие превышает два стандартных отклонения. Если принять во внимание также pp-данные [6] и сравнить ϵ_{NN} с величиной $(\epsilon_{np} + \epsilon_{pp})/2$ различие превысит 4 стандартных отклонения¹⁾.

¹⁾ Оценивая ϵ_{pp} из данных [6] ($\epsilon_{pp} = (2,8 \pm 1,4) \cdot 10^{-4} \text{ Гэв}^{-1}$), мы не учитывали систематических ошибок [6].

Аналогичные результаты получаются, если включить в рассмотрение также nd и pd данные [1, 6]¹⁾. Хотя согласие экспериментов [1] (nd) и [6] (pd) проблематично, в любом случае их трудно согласовать с результатом (1). Можно заключить, таким образом, что сравнение эксперимента [1] с теорией указывает на присутствие чисто ядерных эффектов.

Влияние зависимости $B(E)$ на энергетический ход полных сечений легко учитывается формулами [4], поскольку величина $B(E)$ довольно хорошо известна из эксперимента [9], и приводит к слабому росту σ_{tot} с энергией. Наблюдаемое на опыте падение полных сечений с энергией связано, поэтому, с влиянием по крайней мере одного из двух других эффектов – зависимостей $a(E)$ и $\Delta_{in}(E)$.

Величина производной da/dE может быть получена из данных [9] с довольно большой ошибкой (50 + 100%), с другой стороны, точность теоретической оценки поправки Δ_{in} , также невысока (20 – 50%). В этих условиях, как показывают расчеты, трудно сделать различие между указанными двумя эффектами; данные эксперимента могут быть описаны как в предположении $\Delta_{in} = 0$ путем некоторого увеличения влияния da/dE , так и полагая $a = 0$ за счет увеличения вклада $d\Delta_{in}/dE$.

Кривая 3 на рис. 2 вычислена в предположении, что в рассматриваемой области энергий элементарное нуклон-нуклонное сечение постоянно. Результат расчета плохо согласуется с данными опыта, однако, путем вариации величин da/dE в пределах ошибок эксперимента [9] и Δ_{in} в пределах теоретических неопределенностей, можно несколько улучшить согласие, доведя вероятность совместности гипотезы $\epsilon_{nn} = 0$ с опытом до уровня в несколько процентов.

Наш анализ показывает, таким образом, что данные [1] хорошо описываются теорией в глауберовском приближении и указывают на присутствие чисто ядерных эффектов в энергетической зависимости полных нейтрон-ядерных сечений. Данные [1] согласуются также с предположением о слабом падении элементарного нуклон-нуклонного сечения при изменении энергии от 26 до 54 Гэв.

Мы благодарны Б.Л.Иоффе и А.Б.Кайдалову за полезные обсуждения, а также Л.А.Кондратюку за помощь при проведении численных расчетов.

Институт теоретической
и экспериментальной физики

Поступила в редакцию
28 июня 1974 г.

Литература

- [1] А.Бабаев, Э.Брахман, Ю.Галактионов, Г.Елисеев, А.Ермилов, О.Зельдович, Ю.Камышков, Н.Лужецкий, В.Любимов, В.Наговицын, В.Нозик, В.Шевченко, Е.Шумилов, Т.Цветкова, Н.Баламамов, Б.Горячев, Е.Лейкин, А.Сироткин, В.Титов, В.Тюрин. Препринт ИТЭФ-10, 1974.

¹⁾ Ядерные эффекты в дейтерии оценивались по формулам [11] и оказались малыми, как и следовало ожидать.

- [2] R.J.Glauber, *Lectures in Theoretical Physics*, ed. by W.E.Britten et al. (Interscience, New York, 1959, vol. 1).
 - [3] R.Glauber, G.Matthiae. *Nucl. Phys.*, **B21**, 135, 1970.
 - [4] V.Franco. *Phys. Rev. Lett.*, **24**, 1452, 1970.
 - [5] R.Rudin. *Phys. Lett.*, **30B**, 357, 1969.
 - [6] Ю.Горин, С.Денисов, С.Донсков, А.Петрухин, Ю.Прокошкин, Д.Стоянова, Дж. Аллаби, Дж. Джакомелли. *ЯФ*, **14**, 998, 1971.
 - [7] J.Pumplin, M.Ross. *Phys. Rev. Lett.*, **81**, 1778, 1968; В.Н.Грибов, *ЯФ*, **56**, 892, 1969.
 - [8] В.Карманов, Л.Кондратюк. Письма в ЖЭТФ, **18**, 451, 1973.
 - [9] G.G.Beznogikh, A.Buyak, L.F.Kirillova, B.A.Morozov, V.A.Nikitin, P.V.Nomokonov, A.Sandacz, M.G.Shafranova, V.A.Sviridov, Truong Bien, V.Zayachki, N.K.Zhidkov, L.S.Zolin. *Phys. Lett.*, **39B**, 411, 1972; G.G.Beznogikh, A.Buyak, K.I.Iovchev, L.F.Kirillova, P.K.Markov, B.A.Morozov, V.A.Nikitin, P.V.Nomokonov, M.G.Shafranova, V.A.Sviridov, Truong Bien, V.I.Zayachki, N.K.Zhidkov, L.S.Zolin. *Phys. Lett.*, **30B**, 274, 1969.
 - [10] L.R.B. Elton. *Nuclear Sizes* (Oxford Univ., London, 1961).
 - [11] A.B.Kaidalov, L.A.Kondratyuk. *Nucl. Phys.*, **B56**, 90, 1973.
-