

СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА



С 34322
Б-46

29/12-75

P3 - 9047

Б.А.Бенецкий, А.В.Клячко, В.В.Нефедов, И.М.Франк,
И.В.Штраних

3711/2-75

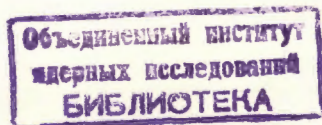
ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ЗАВИСИМОСТЬ СЕЧЕНИЯ
ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ НЕЙТРОНОВ С ²⁰⁷Pb
В ОБЛАСТИ ЭНЕРГИЙ 16-18 МЭВ

1975

РЗ - 9047

Б.А.Бенецкий,* А.В.Клячко,* В.В.Нефедов,* И.М.Франк,
И.В.Штраух*

ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ЗАВИСИМОСТЬ СЕЧЕНИЯ
ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ НЕЙТРОНОВ С ²⁰⁷РЬ
В ОБЛАСТИ ЭНЕРГИЙ 16-18 МЭВ



* Институт ядерных исследований АН СССР

Бенецкий Б.А., Клячко А.В., Нефедов В.В.,
Франк И.М., Штраних И.В.

РЗ - 9047

Энергетическая зависимость сечения взаимодействия нейтронов
с ^{207}Pb в области энергий 16-18 МэВ

Измерения полного сечения взаимодействия нейтронов с ядром ^{207}Pb , выполненные ранее в области энергий нейтронов 13,3-17,1 МэВ, были продолжены до энергии 18,5 МэВ. Результаты качественно подтвердили существование особенности резонансного характера при энергии 16,8 МэВ. Отклонение сечения от среднего составляет $\approx 1-2\%$, т.е., по-видимому, меньше, чем указывалось ранее, и не имеет вид симметричного максимума.

Работа выполнена в Лаборатории нейтронной физики ОЯЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований
Дубна 1975

Benetsky B.A., Klyachko A.V., Nefedov V.V., РЗ - 9047
Frank I.M., Shtranikh I.V.

Energy Dependence of the Interaction Cross Section
of Neutrons with ^{207}Pb Nucleus in the Energy Range
from 16 to 18 MeV

The measurements of the interaction cross section of neutrons with ^{207}Pb nucleus being earlier performed in the neutron energy range from 13.3 to 17.1 MeV then were extended to the energies up to 18.5 MeV. The obtained results confirmed qualitatively the existence of the resonance character peculiarity at 16.8 MeV. The cross section deflection from the mean value is about 1-2%, i.e., it is apparently smaller than that previously mentioned and is not of a symmetric maximum form.

The investigation has been performed at the
Neutron Physics Laboratory, JINR.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research
Dubna 1975

Применение оптической модели ядра, как известно, весьма плодотворно при рассмотрении взаимодействия быстрых нейтронов, особенно с ядрами среднего и тяжелого веса. Она дает удовлетворительное согласие с опытом при описании величины полного эффективного сечения и его зависимости от энергии, а также дифференциального упругого рассеяния для не очень больших углов. Очевидно, что это согласие имеет место только для средних величин сечений. При повышении точности измерений и достаточно хорошем энергетическом разрешении должны проявляться индивидуальные свойства ядер. Это послужило отправной точкой для серии работ [1-5] по изучению энергетической зависимости полных сечений взаимодействия нейтронов в области энергий 13-18 МэВ с ядрами изотопов свинца - ^{206}Pb , ^{207}Pb и ^{208}Pb .

Для сечения σ изотопа свинца ^{207}Pb , измеренного в "хорошей" геометрии в области энергии нейтронов 13,3-17,1 МэВ, обнаружилась при энергии около 16,8 МэВ, особенность резонансного характера [1-1]. Амплитуда отклонения, нарушающая плавный ход сечения, была оценена в 0,2 б /при полном сечении 5,4 б/, что в несколько раз превышало экспериментальную ошибку измерения. Эта особенность была предположительно интерпретирована как проявление состояния ядра ^{208}Pb , являющегося изотопическим аналогом состояния ^{208}Tl . Сообщение об этих результатах на Международной конференции по исследованию структуры ядра с помощью нейтронов /Будапешт, 1972/ [3] вызвало интерес. В измере-

ниях, выполненных в связи с этим американскими авторами /6/ примерно с той же экспериментальной точностью, как и наша, особенности в поведении σ_1 обнаружено не было. В этих измерениях использовалась относительно "близкая" геометрия с применением толстого рассеивателя с длиной, сравнимой с длиной свободного пробега нейтрона. В этих условиях поправка, вызванная тем, что часть нейтронов, рассеянных в образце на малый угол, попадает в детектор, как указывают авторы, могла достигать 14%. Измерения были выполнены в сравнительно узком интервале энергий 16,3-17,1 МэВ.

Различия в условиях эксперимента по сравнению с нашими /интервал энергий, геометрия опыта, и, в частности, большая длина рассеивателя/, по-видимому, могли быть существенными, и этот вопрос обсуждается в дальнейшем тексте нашей статьи.

Учитывая расхождения в результатах, а также то, что экспериментальная ошибка результатов могла существенно сказаться на абсолютной величине наблюдавшегося нами эффекта, мы повторили измерения, и их интервал был продолжен до энергии 18,5 МэВ. Применявшаяся методика по пропусканию в "хорошей" геометрии осталась прежней /4/, но был использован другой рассеиватель, по своим геометрическим размерам близкий к тому, что использовался ранее. Он также имел форму цилиндра диаметром 46 мм и длиной 16 мм и был изготовлен из свинца, содержащего 82,5% ^{207}Pb . Вес его составлял 308,1 г, в то время как в прежних измерениях - 284 г при том же диаметре рассеивателя. Пропускание его T для нейтронов было в среднем на 2% меньше.

Всего нами проведено четыре серии измерений с различным энергетическим разрешением: $\Delta E = 200 \text{ кэВ} / 2 \text{ серии/}$ и $\Delta E = 70 \text{ кэВ} / 2 \text{ серии/}$, результаты трех из них приведены на рисунках. Нерегулярность хода сечения обнаружилась вновь, но отклонение от среднего хода σ_1 в области предполагаемого резонанса, по-видимому, меньше, чем указывалось раньше, а форма резонанса, вероятно, отличается от симметричного максимума. Расхождение экспериментальных данных по сравнению с прежними не выходит за пределы ошибок измерения.

На рис. 1 показаны результаты трех серий измерений, в том числе и первоначальные /3,4/. Плавные кривые проведены методом $\min \chi^2$ в рамках изложенных ниже предположений.

На рис. 2 приведены данные о ходе полного сечения взаимодействия в интервале энергий нейтронов от 13,1 до 18 МэВ. Кружки соответствуют данным работы /4/, а крестики - новой серии измерений /рис. 1б/.

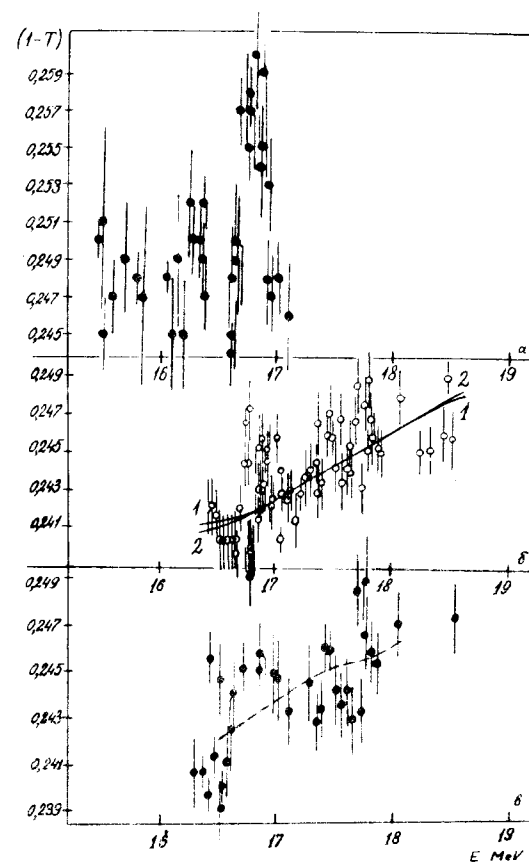


Рис. 1. Энергетические зависимости коэффициентов ослабления пучка нейтронов рассеивателями из ^{207}Pb : а/ вес рассеивателя 284 г, диаметр 4,6 см, степень обогачения - 81%; б, в/ - вес 308 г, диаметр 4,6 см, степень обогачения - 82,5%.

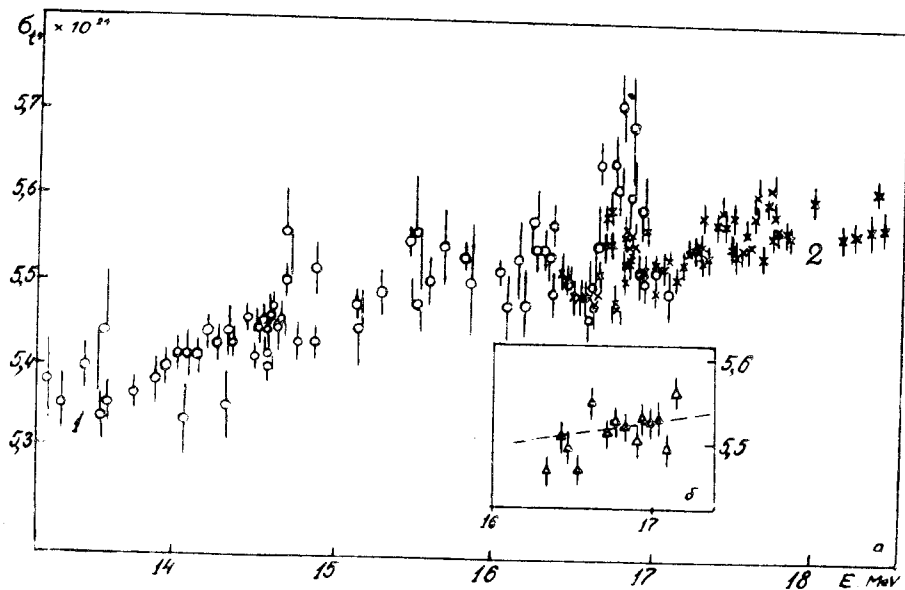


Рис. 2. Энергетическая зависимость сечения взаимодействия нейтронов с ^{207}Pb . в рамке - результаты работы [16].

Поскольку рассеиватели, использованные в измерениях, не были идеальными цилиндрами /в них могли быть, особенно вблизи поверхности, хаотически расположенные поры/, то в величинах σ_1 возможна систематическая ошибка $\pm 0,1$ б. Эта ошибка могла привести к расхождению результатов с двумя разными рассеивателями. Однако, как видно из рис. 2, обе серии измерений удовлетворительно сшиваются друг с другом. Отсюда следует, что систематическая ошибка в величине σ_1 либо невелика, либо одинаково влияет на результаты для обоих исследованных рассеивателей. Внизу на рис. 2 в прямоугольной рамке приведены результаты американских авторов [16].

Поскольку, как оказалось, особенность в поведении σ_1 вблизи энергии 16,8 МэВ несущественно выходит за пределы двух экспериментальных ошибок, был проведен статистический анализ экспериментальных данных, основанный на вычислении величин χ^2 при нормировке на

число степеней свободы $n-N$ для различных энергетических интервалов зависимости $(1-T) = f(E)$

$$\chi^2 = \frac{1}{n-N} \sum_{i=1}^n \frac{[(1-T_i) - (1-\bar{T})]^2}{\Delta_i^2}$$

Эта величина характеризует отклонение экспериментальных значений $(1-T_i)$, измеренных с ошибкой Δ_i от гладкой кривой, описывающей усредненный ход сечения $(1-\bar{T})$; n - число точек, N - число параметров кривой, описывающей ход сечения. Анализ проводился двумя способами. Первый сводился к обработке экспериментальных данных на ЭВМ по следующей программе. Через n экспериментальных точек проводится прямая методом $\min \chi^2$, вычисляется χ^2 для этой группы точек и значение $(1-\bar{T})$ в средней точке, затем - сдвиг на одну точку выше по энергии и повторение всех расчетов. Выбирая достаточно большое число точек n , можно получить последовательность средних значений $(1-\bar{T})$, лежащих на гладкой кривой /т.е. отклоняющихся от нее на величины, много меньшие экспериментальных ошибок/, не делая каких-либо предположений об аналитической зависимости, аппроксимирующей ход сечения. Пунктирная линия на рис. 1в является примером такой кривой при усреднении экспериментальных данных по группам из 13 точек. По существу эта процедура означает нахождение среднего взвешенного значения из n последовательных точек. На рис. 3 представлены значения χ^2 , вычисленные описанным способом для четырех серий измерений: 1 и 2 - для серий с лучшим энергетическим разрешением, 3 и 4 - с худшим разрешением. Кривая 3 относится к измерениям, опубликованным в 1972 г. [2], кривая 4 - для серии последних измерений, показанных на рис. 1б светлыми точками.

Второй метод анализа сводился к построению методом $\min \chi^2$ гладких кривых первого, второго и третьего порядка /см. кривые 1 и 2 на рис. 1б/ и расчету значений χ^2 для неперекрывающихся интервалов экспериментальных точек, характеризующих отклонения от этих кривых. Общий вид гистограмм для χ^2 в этом случае такой же,

как и при расчетах χ^2 первым способом. Одна из таких гистограмм - № 5 на рис. 3. Характерной особенностью является наличие на всех гистограммах максимума около 17 МэВ; в области больших энергий нейтронов значения χ^2 стремятся к величинам порядка единицы. Этот максимум служит указанием на нестатистический характер отклонения точек от гладкой зависимости, описывающей средний ход σ_1 при энергии нейтронов около 16,8 МэВ.

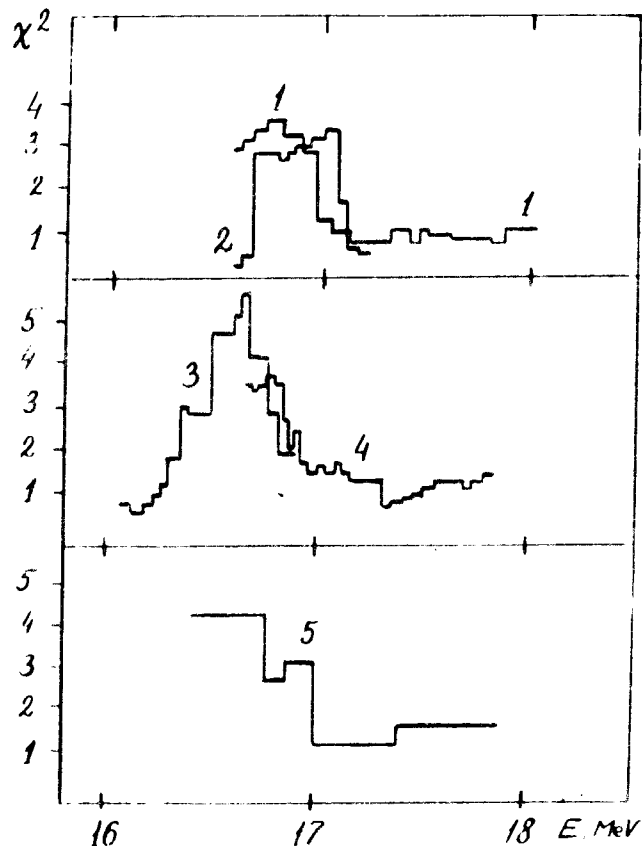


Рис. 3. Гистограммы энергетической зависимости для различных серий экспериментальных данных; 3/ - результат обработки данных, показанных на рис. 1а, 4/ - на рис. 1б.

Переходя к сопоставлению наших результатов с данными американских авторов^{/6/}, представленными на рис. 2б, следует отметить, что найденная ими величина сечения σ_1 в пределах возможной систематической ошибки в абсолютной величине σ_1 , равной $\pm 0,1$ б, хорошо согласуется с нашими данными. Средняя зависимость σ_1 от энергии, указанная в работе^{/6/}, также согласуется с найденной нами. Что касается отсутствия особенности при энергии около 16,8 МэВ, то, по нашему мнению, в этих измерениях она могла быть в значительной мере сглажена. В самом деле, резонансный ход сечений может проявляться более резко в дифференциальных сечениях рассеяния /величина и знак эффекта будут при этом зависеть от угла рассеяния/.

В пользу этого говорят наши данные для угла рассеяния 60° , приведенные в^{/4/}. Если увеличению σ_1 соответствует значительный рост дифференциального сечения рассеяния вперед, то увеличение числа нейтронов, рассеянных на малый угол и попадающих в детектор, может в значительной мере компенсировать уменьшение пропускания, связанное с увеличением σ_1 . Поскольку поправка на рассеянные нейтроны, попадающие в детектор, в работе^{/6/} была существенной, это обстоятельство требует обсуждения.

Оцениваемый эффект не учитывается известной поправкой Вика, поскольку эта поправка нерезонансного характера. По нашей оценке доля резонансной части в рассеянии вперед составляет $\sigma(0)^{рез} = 7\%$ и уменьшает экспериментальную зависимость $(1-T)$ от энергии^{/7/}. Согласно тем же оценкам, если резонансный вклад в полное сечение $\sigma_1^{рез} \approx 1\%$, а поправка на рассеяние при вычислении σ_1 около 10%, то величина резонансного рассеяния вперед $\sigma^{рез}(0)$ 15%, будет полностью "маскировать" зависимость $(1-T)$ от энергии, а при меньшей величине заметно ее сглаживать.

Таким образом, наши экспериментальные данные, несмотря на сравнительно небольшую по отношению к экспериментальным ошибкам величину резонансного эффекта, указывают на существование резонансной особенности в ходе полного нейтронного сечения для ^{207}Pb при энергии нейтронов около 16,8 МэВ.

Литература

1. Б.А.Бенецкий, В.В.Нефедов, И.М.Франк, И.В.Штраних. Тезисы докл. XXII совещания по ядерной спектроскопии и структуре ядра. Киев, 1972, стр. 12.
2. Б.А.Бенецкий, В.В.Нефедов, И.М.Франк, И.В.Штраних. Краткие сообщ. по физике, №3, ФИАН, март 1972, стр. 75.
3. B.A.Benetskij, V.V.Nefedov, I.M.Frank, I.V.Stranikh. Nucl. Struct. Study with Neutrons. Budapest, 1972, p. 479, p. 20.
4. Б.А.Бенецкий, В.В.Нефедов, И.М.Франк, И.В.Штраних. Ядерная физика, 17, 21 /1973/.
5. Б.А.Бенецкий, А.В.Клячко. Краткие сообщения по физике, №4, ФИАН, 1974, стр. 9.
6. Дж.Д.Андерсон, Г.Г.Баршалл, Дж.С.Дэвис. Ядерная физика, 19, 943 /1974/.
7. Б.А.Бенецкий, А.В.Клячко. Краткие сообщения по физике, №10, стр. 24, 1974.

Рукопись поступила в издательский отдел
7 июля 1975 года.