

ИССЛЕДОВАНИЕ ИМПУЛЬСНЫХ РАСПРЕДЕЛЕНИЙ ПРОТОНОВ, ВЫЛЕТАЮЩИХ НАЗАД В ПРОТОН-ЯДЕРНЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯХ ПРИ ЭНЕРГИИ 1 ГэВ

*М.Н.Андроненко, Е.Н.Вольнин, А.А.Воробьев, В.Т.Грачев,
А.А.Лободенко, И.И.Страковский, Л.Н.Уваров*

Измерены спектры протонов, вылетающих под углом 156° из различных ядер-мишеней от дейтерия до свинца. Для легких ядер обнаружено изменение наклона спектров протонов при импульсах $350 \div 450$ МэВ/с. Результаты, полученные на дейтоне, сравниваются с предсказаниями различных моделей.

В последние годы большой интерес вызывают неупругие ядерные реакции с образованием частиц в кинематической области, запрещенной для рассеяния на свободном нуклоне (КЗО). В рамках традиционного каскадного механизма неупругих реакций образование частиц в КЗО может быть обусловлено перерассеянием нуклонов, рождением и последующим поглощением Π -мезонов в ядрах ¹. В настоящее время широко обсуждаются также механизмы, связывающие образование частиц в КЗО с высокоимпульсной компонентой в волновой функции ядра ² или с существованием короткодействующих малонуклонных корреляций в ядрах ³. Однако, на основании существующих экспериментальных данных сделать вывод о справедливости той или другой модели не представляется возможным. Необходима более точная и систематическая экспериментальная информация. С этой целью нами были произведены измерения спектров протонов, образующихся в КЗО под действием протонов с энергией 1 ГэВ из широкого набора ядер-мишеней от дейтерия до свинца.

Эксперимент проводился на протонном пучке синхроциклотрона ЛИЯФ. Для измерения спектров и идентификации частиц использовался магнитный спектрометр в сочетании с время-пролетными измерениями. В качестве мишеней использовались ядра D, ³He, ⁴He, ⁶Li, ⁷Li, Be, C, Al, ⁵⁸Ni, Ag, и Pb. Измерения производились под углом 156° относительно направления протонного пучка. Результаты эксперимента показаны на рис.1. Абсолютная ошиб-

ка сечений, измеренных на твердых и газовых мишенях (D , ^3He , ^4He) равна 20 и 25 %, соответственно. Более подробно методика эксперимента описана в ⁴.

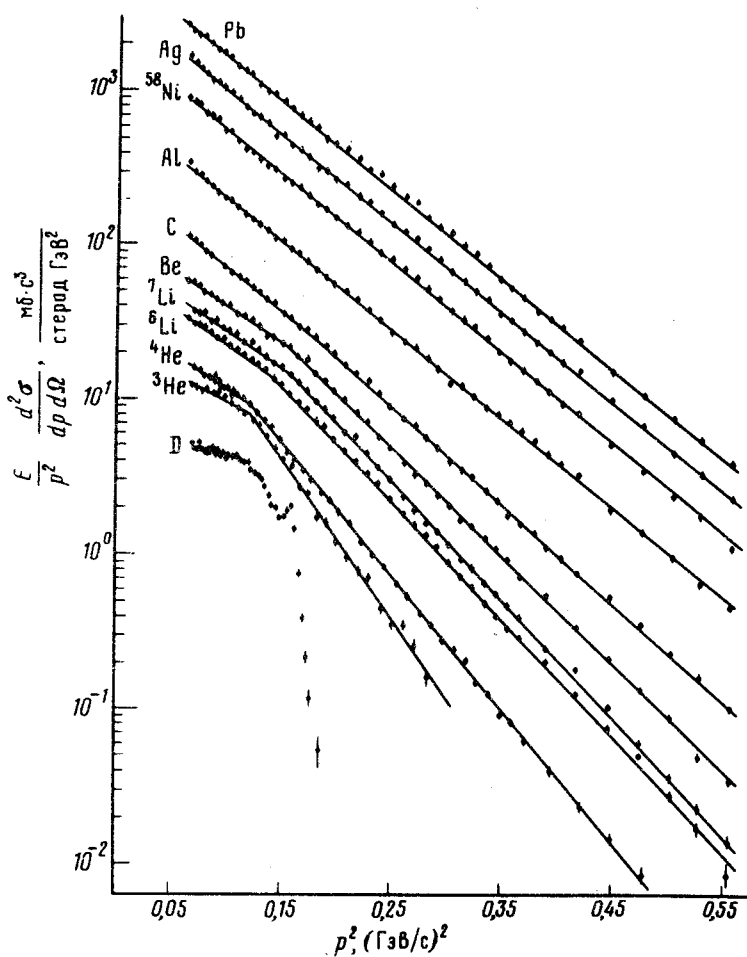


Рис.1. Зависимость инвариантных сечений от квадрата импульса протонов, вылетающих под углом $\theta = 156^\circ$ из различных ядер под действием протонов с энергией 1 ГэВ. Сплошные линии – результат аппроксимации сечений экспоненциальными зависимостями

Как видно из рис.1 для тяжелых ядер зависимость инвариантных сечений от квадрата импульса протонов является экспоненциальной:

$$\frac{E}{p^2} \frac{d^2 \sigma}{dp d \Omega} = C \exp(-B p^2), \quad (1)$$

где B – параметр наклона спектров. Величина критерия χ^2/N_f , где N_f – число степеней свободы, при такой параметризации сечений равна $1,4 \div 1,7$ для большинства средних и тяжелых ядер. Однако для ядер легче углерода форма спектров заметно отклоняется от простой экспоненциальной зависимости. Наблюдается изменение наклона спектров протонов в интервале импульсов $350 \div 450$ МэВ/с. При параметризации этих сечений одной экспоненциальной зависимостью (1) величина χ^2/N_f достигает ~ 15 . Однако параметризация сечений двумя экспоненциальными зависимостями:

$$\frac{E}{p^2} \frac{d^2 \sigma}{dp d \Omega} = C_1 \exp(-B_1 p^2) \quad p < p_0, \quad (2)$$

$$\frac{E}{p^2} \frac{d^2\sigma}{dp d\Omega} = C_2 \exp(-B_2 p^2) \quad p > p_0,$$

с различными параметрами наклона B_1 и B_2 в мягкой и жесткой частях спектра оказывается достаточно хорошей с величиной $\chi^2/N_f = 0,7 \div 1,5$ для большинства легких ядер. Полученные значения параметров наклона приведены на рис.2. Для ядер тяжелее углерода величина наклона с хорошей точностью не зависит от массового числа ядра-мишени. Для более легких ядер параметр наклона становится существенно разным для мягкой и жесткой частей спектров и зависимым от массового числа ядра-мишени. Величина импульса протонов p_0 , при котором происходит изменение наклона спектров, также зависит от массы ядра-мишени и увеличивается от 350 МэВ/с для ${}^3\text{He}$ до 450 МэВ/с для углерода.

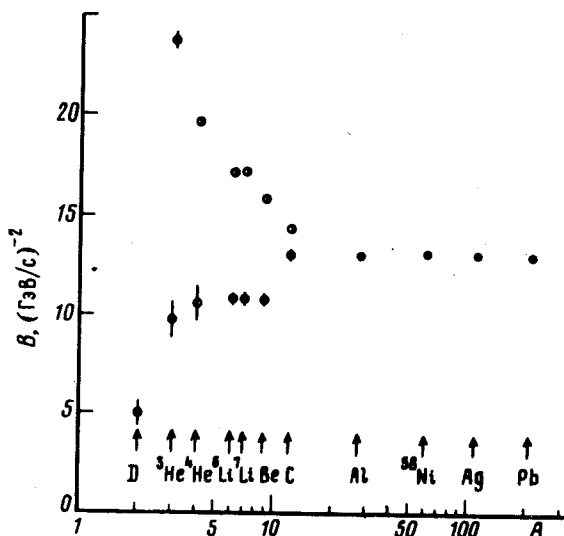


Рис.2.

Рис.2. Зависимость величины параметров наклона спектров протонов от массового числа ядра-мишени:

• — параметр наклона B спектров протонов из ядер тяжелее углерода; ◦ — параметр наклона B_1 в мягкой части спектров протонов из легких ядер; ◐ — параметр наклона B_2 в жесткой части спектров протонов из легких ядер

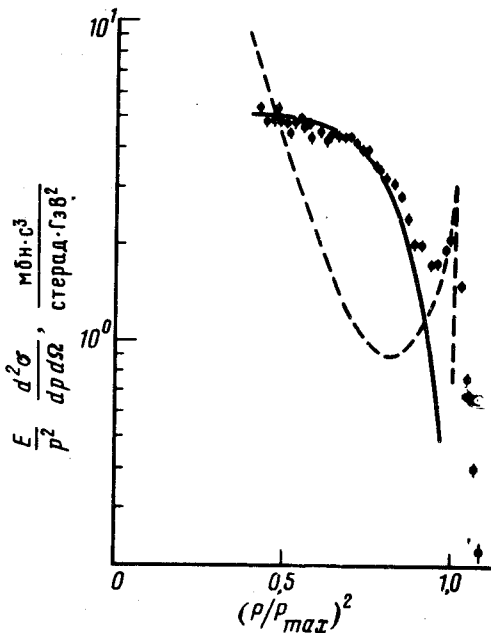


Рис.3.

Рис.3. Экспериментальная и расчетные инвариантные сечения образования протонов в КЗО из дейтона.

Штриховой линией показан результат расчета в модели квазисвободного рассеяния ⁶, сплошной кривой — результат вычисления диаграммы процесса перерассеяния Δ -изобары в промежуточном состоянии ⁸

Изменение наклона протонного спектра наблюдается также и на дейтоне. Форма спектров в этом случае наиболее резко отличается от зависимости, характерной для средних и тяжелых ядер. Указания на нерегулярность при импульсе 350 МэВ/с в спектрах протонов из дейтона были также получены в работе ⁵. Реакция на дейтоне является, очевидно, наиболее простым процессом с образованием протонов в КЗО. Изучение механизма этой реакции может существенно помочь в понимании аналогичных процессов и на других ядрах. В работе ⁶ была рассмотрена простая модель квазисвободного рассеяния протонов на дейтоне с использованием волновой функции дейтона для потенциала Рейда с мягким кором. Рассчитанный в рамках этой модели спектр протонов, образующихся под углом 180° при энергии налета-

ющих протонов 1 ГэВ, приведен на рис.3. Видно, что форма расчетного спектра не согласуется с результатом измерений. Использование волновой функции дейтона для потенциала Хамада — Джонстона с твердым кором и учет глауберовского экранирования качественно не изменяет результат расчета ⁷. Очевидно, при промежуточных энергиях налетающих частиц, кроме однократного взаимодействия, необходимо учитывать процессы перерасеяния, а также неупругие каналы реакции даже для самых легких ядер.

В работе ⁸ было показано, что существенный вклад в сечение образования протонов в КЗО из дейтона в интересующей нас области энергий и углов может быть обусловлен перерасеянием Δ -изобары в промежуточном состоянии. Результаты расчета в рамках такого механизма представлены на рис.3. Рассчитывался спектр протонов, образующихся в диапазоне углов $132 \div 180^\circ$ под действием протонов с энергией 977 МэВ. Как видно, форма расчетного спектра качественно согласуется с экспериментальным спектром. Близкий результат был получен также при расчете процесса образования протонов из дейтона, описываемого „треугольной” диаграммой с обменом Π -мезоном в промежуточном состоянии ⁹. В рамках такого механизма спектр протонов в КЗО подобен энергетическому спектру Π -мезонов, образующихся в реакции $NN \rightarrow NN\pi$, который при энергии налетающих протонов 1 ГэВ имеет резонансный характер, связанный с образованием Δ -изобары в промежуточном состоянии. Можно предположить далее, что нерегулярность в мягкой части спектров протонов из других легких ядер (рис.1) также связана с образованием Δ -изобары в промежуточном состоянии. Для ядер тяжелее углерода процессы многократного перерасеяния вылетающих протонов, вероятно, маскируют резонансный эффект.

В заключение авторы благодарят Л.А.Слива за постоянный интерес к работе, а также А.Кондратюка, В.Б.Копелиовича, М.И.Стрикмана и Л.Л.Франкфурта за полезные обсуждения.

Литература

1. Komarov V.I. et al. Nucl. Phys., 1979, A326, 297.
2. Amado R.D., Woloshyn R.H. Phys. Rev. Lett., 1976, 36, 1435.
3. Стрикман М.И., Франкфурт Л.Л. ЯФ, 1979, 29, 490.
4. Адроненко М.Н. и др. Препринт ЛИЯФ-698, 1981.
5. Аладашвили Б.С. и др. ЯФ, 1978, 27, 704.
6. Yukawa T., Furui S. Phys. Rev., 1979, C20, 2316.
7. Frankfurt L.L., Strikman M.I. Phys. Lett., 1979, 83B, 407.
8. Копелиович В.Б., Радоманов В.Б. ОИЯИ-Р2-11938, Дубна, 71978.
9. Амелин Н.С., Лыкасов Г.И. ЯФ, 1978, 28, 1258.