

## ИССЛЕДОВАНИЕ СЕЧЕНИЯ ПРОЦЕССА ( $\pi^-$ , $p$ ) В ЗАВИСИМОСТИ ОТ АТОМНОГО НОМЕРА ЯДРА ПРИ ЭНЕРГИИ $\sim 1$ Гэв

*Б.М.Абрамов, И.А.Духовской, В.В.Кишкурно,  
Л.А.Кондратюк, А.П.Крутенкова, В.В.Куликов,  
М.А.Мацюк, И.А.Радкевич, Е.Н.Турдакина,  
В.С.Федорец, И.В.Чувило*

*И.Ю.Антипов, В.В.Варламов, Б.С.Ишханов, В.А.Хрущев*

*Э.А.Айрапетов, Э.В.Андрукович, Л.С.Багдасарян*

Измерена зависимость от атомного номера ядра  $A$ -сечений взаимодействия отрицательных пионов с импульсом  $1,43$  Гэв/с с атомными ядрами в реакции  $\pi^- + A \rightarrow p + \text{всё}$  при предельных передаваемых протону импульсах. Обнаружено, что при описании экспериментальных сечений зависимостью вида  $\sim A^n$  значение показателя  $n$  для легких ядер (от Li до Cu) приблизительно в два раза больше значения  $n$  для тяжелых ядер (от Cu до Bi).

На трехметровом магнитном спектрометре ИТЭФ [1, 2] с оптическими искровыми камерами измерялись спектры протонов из реакций

$$\pi^- + A \rightarrow p + \text{всё} \quad (1)$$

в области импульсов и углов вылета протона в лаб. системе, определяемых геометрической эффективностью установки  $\epsilon(p, \cos \theta)$  (рис. 1). В настоящей работе приводятся данные о сечениях  $\sigma$  процесса (1), ус-

редненных по области эффективной регистрации протонов:

$$\sigma = \int \frac{d^2 \sigma(1)}{dp d\Omega} \epsilon(p, \cos \theta) dp d\Omega. \quad (2)$$

Измерения выполнены на пучке  $\pi^-$ -мезонов с импульсом  $1,43 \text{ Гэв/с}$ . Эксперимент проводился на следующих ядерных мишенях:  ${}^6\text{Li}$ ,  ${}^7\text{Li}$ ,  ${}^9\text{Be}$ ,  ${}^{12}\text{C}$ ,  ${}^{27}\text{Al}$ ,  ${}^{32}\text{S}$ ,  $\text{Cu}$ ,  ${}^{115}\text{In}$ ,  ${}^{181}\text{Ta}$ ,  ${}^{209}\text{Bi}$ . Были выбраны в основном моноизотопы достаточной чистоты (исключение составляли мишени  ${}^7\text{Li}$ ,  $\text{Cu}$  — естественные смеси изотопов и мишень  ${}^6\text{Li}$ , которая содержала  $\sim 10\%$   ${}^7\text{Li}$ ). Для целей фоновых измерений и калибровки использовались также "пустая" и полиэтиленовая ( $\text{CH}_2$ ) мишени. Использувавшиеся мишени имели приблизительно одинаковую ядерную длину ( $\sim 0,1 \text{ л яд}$ ). Были приняты специальные меры для обеспечения практически одинаковых геометрических условий эксперимента для различных ядер. При вычислениях сечений использовались отношения чисел зарегистрированных быстрых протонов (срабатывания мастера) к числам пропущенных через мишени потоков  $\pi^-$ -мезонов. По результатам просмотра части фильмовой информации ( $\sim 5000$  снимков) были уточнены фоновые условия опыта и внесены соответствующие поправки. Обработка фотоснимков (более  $100000$ ) позволит получить детальные спектры процесса (1).

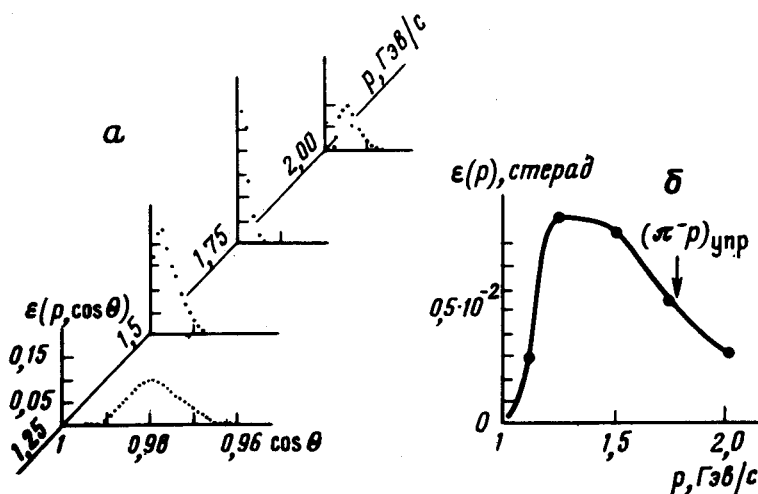


Рис. 1. Зависимость геометрической эффективности установки для регистрации протона из реакции  $\pi^- + A \rightarrow p + \text{все}$  при  $1,43 \text{ Гэв/с}$ : а — от угла вылета протона  $\theta$  для разных импульсов протонов, б — от импульса протона, проинтегрированная по захватываемому телесному углу

В итоговых величинах сечений помимо поправки на поглощение  $\pi^-$  и  $p$  в веществе мишеней ( $\sim 8,0\%$ ) [3] учтено также изменение геометрической эффективности регистрации протонов из-за ионизационных потерь энергии ( $\sim 2,5\%$ ).

На рис. 2 в логарифмическом масштабе в относительных единицах приведены полученные сечения и соответствующие статистические ошиб-

ки в зависимости от  $\ln A$  ( $A$  – атомный номер ядра). Анализ показал, что вся совокупность исследованных ядер не может быть описана единой показательной функцией типа  $\sigma \sim A^n$  (величина  $\chi^2 = 66$ ,  $P(\chi^2) \leq 10^{-4}$ ). Наилучшее приближение экспериментальных данных получено при изменении показателя степени  $n$  от  $n = 0,49 \pm 0,02$  в области ядер  ${}^7\text{Li} - \text{S}$  до  $n = 0,20 \pm 0,04$  в области ядер  $\text{Cu} - {}^{209}\text{Bi}$ . Другим интересным результатом является наличие значительных нерегулярностей в зависимости  $\sigma(A)$  в области легчайших из исследованных ядер ( ${}^6\text{Li} - {}^9\text{Be}$ ). Особый интерес представляет значительно выходящая за пределы ошибок эксперимента разница сечений процесса (1) на ядрах  ${}^6\text{Li}$  и  ${}^7\text{Li}$ , отличающихся друг от друга лишь одним нейтроном в оболочке  $1p_{3/2}$ .

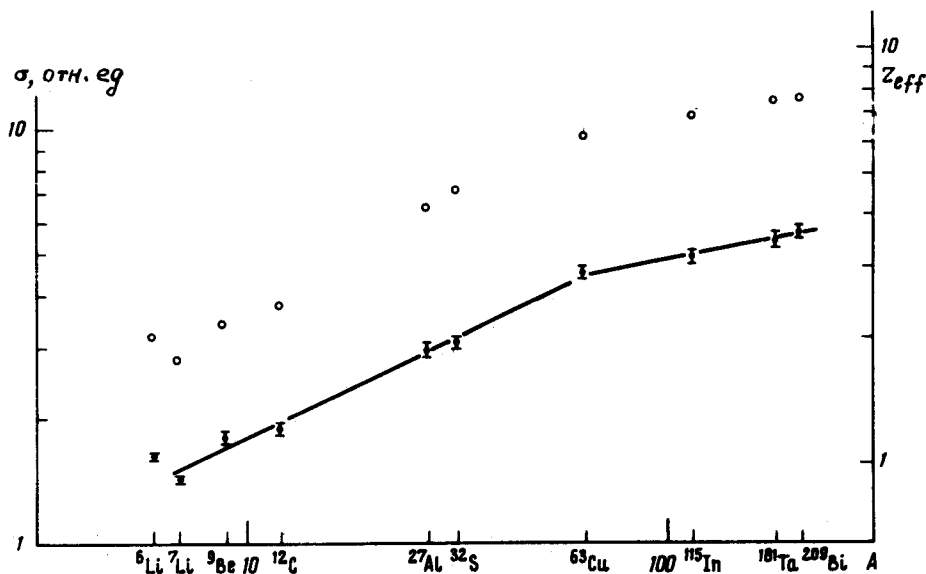


Рис. 2. ● – зависимость сечения реакции  $\pi^- + A \rightarrow p + \text{все}$  от атомного номера  $A$  ядра для энергичных протонов, вылетающих вперед под малым углом. ○ – зависимость эффективного числа протонов  $Z_{eff}$  от атомного номера ядра (теоретический расчет). Прямые – кусочная аппроксимация хода сечения зависимостью  $\sigma \sim A^n$

Для описания полученных результатов в качестве исходного приближения воспользуемся эйкональной моделью многократного перерасеяния, аналогичной глауберовскому приближению для некогерентных реакций. В этой модели для малых углов вылета энергичных протонов в реакции (1) имеет место следующее выражение для сечения:

$$\frac{d\sigma_A(1)}{d\Omega dp} = Z_{eff} \left[ \frac{d\sigma_p}{d\Omega dp} + \frac{N}{Z} \frac{d\sigma_n}{d\Omega dp} \right], \quad (3)$$

где  $p$  и  $\Omega$  – импульс и телесный угол, соответственно, вылета протона;  $\sigma_p$ ,  $\sigma_n$  – сечения реакции (1) на элементарных частицах – свободных

протоне и нейтроне,

$$Z_{eff} = Z \int d^2 \mathbf{b} dz \rho(\mathbf{b}, z) \exp \left[ -\sigma_0^{inel} \int_{-\infty}^z (A-1) \rho(\mathbf{b}, z') dz' \right] \times \quad (4)$$

$$\times \exp \left[ -\sigma_1^{inel} \int_z^{\infty} (A-1) \rho(\mathbf{b}, z') dz' \right],$$

$\rho(\mathbf{b}, z)$  — одночастичная плотность ядра, соответствующая для ядер Li, Be, C гармоническому осцилляторному потенциалу с параметрами, взятыми из работы [4], а для остальных ядер — плотность Вудса — Саксона с параметрами из [5];  $N$  — число нейтронов в ядре,  $Z$  — заряд ядра;

$$\sigma_1^{inel} = \frac{1}{A-1} \left[ (Z-1) \sigma_{\pi^-p}^{inel} + N \sigma_{\pi^-n}^{inel} \right], \quad (5)$$

$$\sigma_0^{inel} = \frac{1}{A-1} \left[ (Z-1) \sigma_{pp}^{inel} + N \sigma_{pn}^{inel} \right] \quad (6)$$

— есть неупругие сечения взаимодействия налетающего  $\pi^-$ -мезона и вылетающего протона с нуклонами ядра.

Результаты расчета  $Z_{eff}$  также приведены на рис. 2. При сопоставлении экспериментальных сечений с данными расчетов следует иметь в виду, что: а) квазиупругое рассеяние назад дает вклад только в  $\sigma_p$ ; б) инклюзивное сечение элементарной реакции (1) на протоне в области фрагментации пучка больше, чем сечение на нейтроне [6]. По этим причинам в первом приближении можно считать  $\sigma_n \ll \sigma_p$  и  $\sigma_A \sim Z_{eff}$ . Как видно, зависимость  $Z_{eff}(A)$  в основном повторяет ход измеренного сечения. Количественно это обстоятельство может быть связано с тем, что с ростом  $A$  прозрачность ядер уменьшается и выбиваемые протоны, в отличие от случая легких ядер, где они могли вылетать со всех прицельных расстояний, практически могут вылетать только из внешнего "кольца" (периферии) ядра толщиной  $x \sim l_{CB}^2/R$ , где  $l_{CB}$  — длина свободного пробега в ядре образованного протона. Площадь этого кольца остается  $\sim 2\pi R x \sim \text{const}$  при  $A \rightarrow \infty$ , что может приводить к существенному замедлению роста сечения с возрастанием  $A$ . Хорошее согласие  $Z_{eff}(A)$  с зависимостью  $\sigma(A)$  в области ядер  $^{12}\text{C} - ^{209}\text{Bi}$  в пределах точности эксперимента свидетельствует о том, что полученные данные при первичном импульсе 1,43 Гэв/с можно интерпретировать без привлечения гипотезы "голых" частиц [7, 8].

Близость хода  $Z_{eff}(A)$  с данными опыта для легких ядер, в частности изотопов Li, свидетельствует в пользу сделанного предположения, что  $\sigma_n \ll \sigma_p$ . Обращает на себя внимание то, что в теоретических расчетах для  $Z_{eff}(A)$ , учитывающих эффекты экранирования и распределе-

ние плотностей протонов и нейтронов в ядре, присутствуют нерегулярности в области легчайших ядер аналогичные тем, что обнаружены в зависимости  $\sigma(A)$ .

Институт теоретической  
и экспериментальной физики

Поступила в редакцию  
24 ноября 1976 г.

Институт ядерной физики  
Московского  
государственного университета  
им. М.В.Ломоносова

Физический институт  
Академии наук Армянской ССР

### Литература

- [1] Ю.А.Бородин и др. Препринт ИТЭФ №53, 1973.
  - [2] Ю.А.Бородин и др. ПТЭ, №3, 235, 1974.
  - [3] В.С.Барашенков, В.Д.Тонеев. М., Атомиздат, 1972.
  - [4] R. J. Glauber, G. Matthiae. Nucl. Phys., B21, 135, 1970.
  - [5] P. V. R. Murthy. Preprint UMHE 75-2, Univ. of Michigan, 1975.
  - [6] Б.М.Абрамов, И.А.Духовской, В.В.Кишкурно, Л.А.Кондратюк, А.П.Крутенкова, В.В.Куликов, И.А.Радкевич, Ю.Ф.Томашук, В.С.Федорец. Письма в ЖЭТФ, 23, 176, 1976.
  - [7] Е.Л.Файнберг. Проблемы современной физики, М., изд. Наука, 1972, стр. 248.
  - [8] Н.Н.Николаев. Препринт ИТФ-18, Москва, 1975.
-