

сообщения  
объединенного  
института  
ядерных  
исследований  
Дубна

P1-91-239

С. А. Авраменко, Ю. А. Беликов\*, А. Г. Гальперин,  
А. И. Голохвастов, В. П. Кондратьев\*, Л. В. Краснов\*,  
Б. А. Кулаков, Ю. Лукстиньш, П. А. Рукояткин,  
С. А. Седых, И. В. Степанов\*, С. А. Хорозов,  
И. Е. Шевченко\*

СЕЧЕНИЯ ПЕРЕЗАРЯДКИ  ${}^3\text{H} \rightarrow {}^3\text{He}$  НА ВОДОРОДЕ,  
УГЛЕРОДЕ, АЛЮМИНИИ, МЕДИ И СВИНЦЕ  
ПРИ 9 ГэВ/с

\*Ленинградский государственный университет

1991



Интерес к реакциям перезарядки ядер на ядрах обусловлен в значительной мере тем, что эксперименты /1,2/, проведенные в Дубне и Сакле, указывают на существенную роль эффектов коллективного возбуждения дельта-изобары в этих процессах. Детальный теоретический анализ этих эффектов, связанных с характеристиками взаимодействия дельта-изобары с ядерным веществом, требует значительно более полных, чем имеющиеся, экспериментальных данных. В частности, важную роль в анализе ситуации играют экспериментальные данные по полным сечениям перезарядки ядер на ядрах /3,4/.

В этой статье мы опишем метод и приведем результаты измерения сечений реакции перезарядки  ${}^3\text{H} + {}^3\text{He}$  на  $\text{H}$ ,  $\text{C}$ ,  $\text{Al}$ ,  $\text{Cu}$  и  $\text{Pb}$  при импульсе тритонов около 9 ГэВ/с.

Эксперимент проводился на выведенном пучке синхрофазотрона ЛВЭ ОИЯИ. Использовались счетчики и электроника триггерной системы установки ГИБС /5/. Поскольку ускорение ядер трития сопряжено с серьезными техническими проблемами, мы использовали вторичный тритиевый пучок, формируемый из фрагментов ускоренных ядер. В синхрофазотроне ускорялись ядра  ${}^4\text{He}$  до импульса 12 ГэВ/с. Пучок, выведенный из ускорителя, попадал на мишень из полистирола (около  $4 \text{ г/см}^2$ ). Все магнитные элементы (три поворотных магнита и семь дублетов линз), расположенные за мишенью, настраивались на транспортировку пучка  ${}^3\text{H}$  с импульсом 9 ГэВ/с.

Метод измерения сечений перезарядки трития в гелий основан на измерении амплитуд сигналов со сцинтиляционного счетчика, расположенного за мишенью. Аналогичный метод мы использовали для измерения сечений перезарядки лития в бериллий /6/.

В случае измерения сечений реакции  ${}^3\text{H} + {}^3\text{He}$  задача сводится к определению доли частиц с зарядом 2 за мишенью. Вероятность образования ядер  ${}^4\text{He}$  из трития при наших энергиях мала и в дальнейшем не учитывалась. Задающий счетчик (счетчик А) размером 3x5 см располагался на входе в магнит СП-4I. Мишени устанавливались непосредственно за счетчиком А. Четыре счетчика (группа С) размером 30x40 см каждый располагались за магнитом СП-4I приблизительно в 5 м от мишени. Сигналы с первого счетчика ( $C_1$ ) этой группы подавались через линейные ворота на анализатор ПТА. Сигналы с трех остальных счетчиков группы С подавались на формирователи, пороги которых устанавливались так, чтобы вероятность срабатывания счетчика от релятивистской частицы с зарядом 1 была около 0,5. Команда (строб) на измерение импульса счетчика  $C_1$  подавалась при одновременном срабатывании счетчика А и счетчиков  $C_2, C_3, C_4$ . Магнитное поле между мишенью и группой счетчиков С позволяло пропустить первичный пучок мимо этих счетчиков. Поэтому даже такой "мягкий" режим работы счетчиков  $C_2-C_4$  позволил снизить число стробов до нескольких десятков в цикл при интенсивности пучка тритонов около  $3 \cdot 10^4$  частиц в цикл. Вероятность же регистрации двухзарядной частицы, прошедшей через группу С, была практически 100%.

В качестве иллюстрации на рис. 1 приведен спектр сигналов анализирующего счетчика, полученный с углеродной мишенью толщиной  $8,50 \text{ г/см}^2$ .

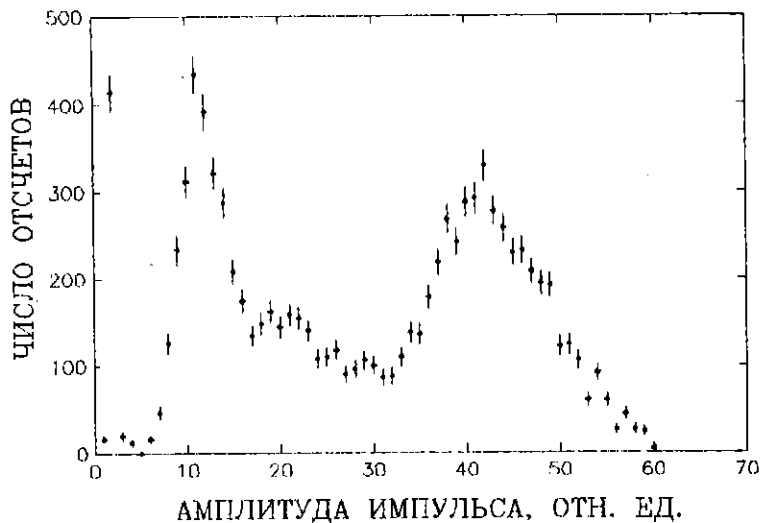


Рис. 1

В измерениях использовались мишени: С (3,45; 8,50 и 11,95 г/см<sup>2</sup>), Al (6,02 и 12,3 г/см<sup>2</sup>), Си (21,3 и 28,4 г/см<sup>2</sup>), Рb (11,4; 28,3 и 56,5 г/см<sup>2</sup>) и СН<sub>2</sub> (2,26 и 4,50 г/см<sup>2</sup>). Использование мишеней большой толщины требует введения поправок на поглощение в них как первичных ядер <sup>3</sup>Н, так и перезаряженных - <sup>3</sup>Не. Сечения поглощения <sup>3</sup>Н и <sup>3</sup>Не на ядрах предполагались одинаковыми и находились по данным работ /7,8/. В таблице приведены полученные нами данные по полным сечениям ( $\sigma_{се}$ ) перезарядки и зависимость относительной величины сечений перезарядки ( $R_1$ , сечение перезарядки на углероде принято за единицу) от атомного веса ядра-мишени. Сечение перезарядки на водороде получено по данным с углеродной и полиэтиленовой мишенями.

Ошибки в относительных величинах сечений включают, кроме статистических, ошибки, связанные с неточностью знания сечений поглощения трития и гелия в мишенях.

Таблица

| Мишень | $\sigma_{ce}$ (мб) | $R_1$           | $R_2$ |
|--------|--------------------|-----------------|-------|
| H      | $0,71 \pm 0,06$    | $0,36 \pm 0,02$ | -     |
| C      | $1,96 \pm 0,15$    | 1,00            | 1,00  |
| Al     | $2,55 \pm 0,20$    | $1,30 \pm 0,05$ | 1,22  |
| Cu     | $3,42 \pm 0,27$    | $1,75 \pm 0,10$ | 1,53  |
| Pb     | $4,88 \pm 0,39$    | $2,49 \pm 0,09$ | 2,14  |

В нашей работе /6/ было показано, что в рамках геометрической модели столкновений /9/ ядра-снаряда  $A_p$  с ядром-мишенью  $A_t$  зависимость сечений периферических столкновений от  $A_t$  должна описываться формулой:

$$\sigma_p \propto (A_p + A_t - b), \quad (1)$$

где параметр  $b$  определяется из аппроксимации данных по сечениям неупругих столкновений формулой:

$$\sigma_{in} \propto (A_p + A_t - b)^2. \quad (2)$$

К сожалению, экспериментальные данные по сечениям неупругих столкновений  ${}^3\text{He}$  ( ${}^3\text{H}$ ) имеются только на легких ядрах (Be, C, Al - см. /7/). Наилучшее значение параметра  $b$ , найденное по этим данным, равно 0,54. Если теперь использовать формулу (1) с  $b=0,54$  во всем диапазоне атомных весов ядер-мишеней, то для  $A_t$ -зависимости относительных сечений  $R_2$  периферических столкновений получатся значения, приведенные в четвертой колонке таблицы. Сравнение колонок 3 и 4 таблицы показывает, что сечения перезарядки трития в гелий с увеличением атомного веса мишени растут несколько быстрее, чем сечения периферических столкновений. Аналогичная особенность  $A_t$ -зависимости отмечалась нами в работе /6/ для реакции  ${}^7\text{Li} + A_t \rightarrow {}^7\text{Be} + \dots$ . Еще раз подчеркнем, что проведенный анализ предполагает справедливость геометрической модели столкновения ядер.

Ошибки измеренных полных сечений перезарядки, кроме уже упоминавшихся, включают:

- ошибку, связанную с возможной примесью в пучке трития протонов или дейтонов;
- ошибку, связанную с выделением частиц с зарядом 2 в спектре сигналов анализирующего счетчика;
- ошибки в расчетах аппаратурной и геометрической эффективностей регистрации  ${}^3\text{He}$ .

Геометрическая эффективность, т.е. вероятность ядру  ${}^3\text{He}$  попасть в счетчики группы С, оценивалась на основании экспериментальных данных /10/ об угловых и импульсных распределениях ядер трития, образовавшихся в реакции  ${}^3\text{He} + \text{C} \rightarrow {}^3\text{H} + \dots$ . Импульсно-угловые распределения  ${}^3\text{He}$  на разных мишенях предполагались одинаковыми. Правомерность такого предположения подтверждается экспериментальными данными /2/. Рассчитанная геометрическая эффективность оказалась равной  $0,90 \pm 0,05$ . Сравнительно низкая чувствительность рассчитанной геометрической эффективности к вариациям входных данных (угловое и импульсное распределение  ${}^3\text{He}$ , угловой и импульсный разброс пучка и т.д.) обусловлена довольно большим телесным углом, который перекрывали счетчики группы С.

В работе /10/ приведен результат измерения сечения перезарядки ( $1,4 \pm 0,4$  мб при  $6,81$  ГэВ/с) гелия-3 в тритий на углеродной мишени в кинематической области, не включающей процесс квазиупругой перезарядки. Если учесть вклад этого процесса по данным, приведенным в той же работе /10/, то получающаяся величина полного сечения перезарядки ( $1,75 \pm 0,5$  мб) хорошо согласуется с соответствующим сечением, измеренным нами ( $1,96 \pm 0,15$  мб).

Мы благодарим Ф.А.Гареева, С.М.Елисеева, В.И.Иноземцева, Ю.Л.Ратиса и Е.А.Строковского за плодотворные дискуссии и полезные замечания, а также персонал ускорителя за обеспечение устойчивой работы синхрофазотрона.

#### Литература

1. Аблеев В.Г. и др. Письма в ЖЭТФ, 1984, 40, 35. ЯФ, 1988, 48, 27.
2. Contardo D. et al. Phys.Lett., 1986, B168, 331.
3. Ableev V.G. et al. Proc. Int. Symp. "Modern Developments in Nuclear Physics", 1987, Novosibirsk, p.690. Edited by O.P.Sushkov. World Science Publ.Comp., Singapore, 1988.
4. Гареев Ф.А. и Ю.Л.Ратис. ОИЯИ, P2-89-805, Дубна, 1989.
5. Великов Ю.А. и др. ОИЯИ, P1-91-209, Дубна, 1991.
6. Авраменко С.А. и др. ОИЯИ, P1-91-206, Дубна, 1991.
7. Tanihata I. et al. Phys.Lett., 1985, B160, 380.
8. Абдуллин С.К. и др. ЯФ, 1989, 49, 169.
9. Bradt H.L. and V.Peters. Phys.Rev., 1950, 77, 54.
10. Аблеев В.Г. и др. ЯФ, 1991, 53, 457.

Рукопись поступила в издательский отдел  
29 мая 1991 года.



### НЕТ ЛИ ПРОБЕЛОВ В ВАШЕЙ БИБЛИОТЕКЕ?

Вы можете получить по почте перечисленные ниже книги, если они не были заказаны ранее.

|                |   |             |
|----------------|---|-------------|
| Д9-87-105      | Труды X Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Дубна, 1986. (2 тома)                     | 13 р. 45 к. |
| Д7-87-68       | Труды Международной школы-семинара по физике тяжелых ионов. Дубна, 1986.                                  | 7 р. 10 к.  |
| Д2-87-123      | Труды Совещания "Ренормгруппа - 86". Дубна, 1986.   | 4 р. 45 к.  |
| Д4-87-892      | Труды Международного совещания по теории малочастичных и кварк-адронных систем. Дубна, 1987.              | 4 р. 30 к.  |
| Д2-87-798      | Труды VIII Международного совещания по проблемам квантовой теории поля. Алушта, 1987.                     | 3 р. 55 к.  |
| Д14-87-799     | Труды II Международного симпозиума по проблемам взаимодействия мюонов и пионов с веществом. Дубна, 1987   | 4 р. 20 к.  |
| Д17-88-95      | Труды IV Международного симпозиума по избранным проблемам статистической механики. Дубна, 1987.           | 5 р. 20 к.  |
| Д14-88-833     | Труды рабочего совещания "Современные направления в активационном анализе ОИЯИ". Дубна, 1988              | 2 р. 40 к.  |
| Д13-88-938     | Труды XIII Международного симпозиума по ядерной электронике. Варна, 1988                                  | 4 р. 30 к.  |
| Д10-89-70      | Труды Международной школы по вопросам применения ЭВМ в физических исследованиях. Дубна, 1988.             | 2 р. 60 к.  |
| Р2-89-138      | Труды семинара "Гравитационная энергия и гравитационные волны". Дубна, 1988                               | 1 р. 10 к.  |
| Д19-89-143     | Труды рабочего совещания по генетическому действию корпускулярных излучений. Дубна, 1988                  | 4 р. 30 к.  |
| Д4-89-221      | Труды рабочего совещания по разработке и созданию излучателя и детектора гравитационных волн. Дубна, 1988 | 1 р. 60 к.  |
| Д9-89-52       | Труды XI Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Дубна, 1988 (2 тома)                     | 14 р. 35 к. |
| Д4,6,15-89-638 | Труды Международной конференции по избранным вопросам структуры ядра. Дубна, 1989                         | 3 р. 76 к.  |
| Д9-89-708      | Труды II Международного совещания по циклотронам и их применению. Бехин, ЧССР, 1989                       | 4 р. 00 к.  |

Заказы на упомянутые книги могут быть направлены по адресу: 101000 Москва, Главпочтамт, п/я 79. Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований.

ТЕМАТИЧЕСКИЕ КАТЕГОРИИ ПУБЛИКАЦИЙ  
ОБЪЕДИНЕННОГО ИНСТИТУТА ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ

| Индекс | Тематика   |
|--------|--|
| 1.     | Экспериментальная физика высоких энергий   |
| 2.     | Теоретическая физика высоких энергий   |
| 3.     | Экспериментальная нейтронная физика  |
| 4.     | Теоретическая физика низких энергий  |
| 5.     | Математика   |
| 6.     | Ядерная спектроскопия и радиохимия   |
| 7.     | Физика тяжелых ионов   |
| 8.     | Криогеника   |
| 9.     | Ускорители   |
| 10.    | Автоматизация обработки экспериментальных данных   |
| 11.    | Вычислительная математика и техника  |
| 12.    | Химия  |
| 13.    | Техника физического эксперимента   |
| 14.    | Исследования твердых тел и жидкостей ядерными методами   |
| 15.    | Экспериментальная физика ядерных реакций при низких энергиях   |
| 16.    | Дозиметрия и физика защиты   |
| 17.    | Теория конденсированного состояния   |
| 18.    | Использование результатов и методов фундаментальных физических исследований в смежных областях науки и техники |
| 19.    | Биофизика  |

Авраменко С.А. и др.

P1-91-239

Сечения перезарядки  ${}^3\text{H} \rightarrow {}^3\text{He}$  на водороде, углероде, алюминии, меди и свинце при 9 ГэВ/с

Проведенные измерения сечений перезарядки ядер трития (около 9 ГэВ/с) в ядра гелия-3 на разных мишенях дали следующие результаты: H —  $0,71 \pm 0,06$  мб, C —  $1,96 \pm 0,15$  мб, Al —  $2,55 \pm 0,20$  мб, Cu —  $3,42 \pm 0,27$  мб, Pb —  $4,88 \pm 0,39$  мб. Описана методика измерений. Рассмотрены основные источники возможных систематических ошибок.

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1991

Перевод Л.Н.Барабаш

Avramenko S.A. et al.

P1-91-239

Cross Sections of the  ${}^3\text{H} \rightarrow {}^3\text{He}$  Reaction on Hydrogen, Carbon, Aluminium, Copper and Lead at 9 GeV/c

The cross sections of the ( ${}^3\text{H}$ ,  ${}^3\text{He}$ ) reaction on nuclei at 9 GeV/c have been measured. The results obtained with different targets are the following: H —  $0,71 \pm 0,06$  mb, C —  $1,96 \pm 0,15$  mb, Al —  $2,55 \pm 0,20$  mb, Cu —  $3,42 \pm 0,27$  mb, Pb —  $4,88 \pm 0,39$  mb. The method of measurement is described. Possible sources of systematic errors are considered.

The investigation has been performed at the Laboratory of High Energies, JINR.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1991

17 коп.

Редактор Е.К.Аксенова. Макет Н.А.Киселевой.

Подписано в печать 5.06.91.

Формат 60x90/16. Офсетная печать. Уч.-изд. листов 0,58.

Тираж 470. Заказ 44387.

Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований.  
Дубна Московской области.