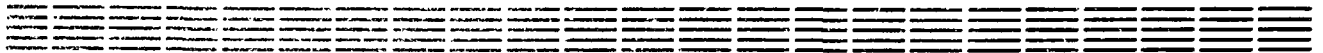


EFI

Препринт ЭФИ 150(27)-89

ԵՐԵՎԱՆԻ ՖԻԶԻԿԱԿԱՆ ԻՆՏԻՏՈՒՏ  
ЕРЕВАНСКИЙ ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ  
YEREVAN PHYSICS INSTITUTE



Г.Р.ГУЛКАНЯН, В.Г.КАКОЯН, А.Р.КАНЕЦЯН,  
З.А.КИРАКОСЯН, И.М.РАВИНОВИЧ, Г.А.ХУДАВЕРДЯН

**ИЗМЕРЕНИЕ НЕУПРУГОГО И ТОПОЛОГИЧЕСКИХ  
СЕЧЕНИЙ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ДЕЙТРОНОВ С ЯДРАМИ  
УГЛЕРОДА ПРИ ЭНЕРГИИ 1 ГэВ НА НУКЛОН**

Նախնատիպ եֆի- 1150(27)-69

Հ.Ռ.ԳՈՒԼՔԱՆՅԱՆ, Գ.Ա.ԽՈՒԴԱՎԵՐԿՅԱՆ, Վ.Հ.ԿԱԿՈՅԻՆ  
Ա.Ռ.ԿԱՆԵՑՅԱՆ, Զ.Ա.ԿՐԱԿՈՍՅԱՆ, Ի.Մ.ՌԱՎԻՆՈՎԻՉ

Ածխածնի Միջուկների ՀԵՏ ԴԵՏՏՐՈՆՆԵՐԻ ՓՈԽԱԶԻԵՑՈՒԹՅԱՆ՝  
ՈՉ-ԱՌԱՉԳԱԿԱՆ ԵՎ ՏՈՊՈԼՈԳԻԱԿԱՆ ԿՏՐՎԱԾՔՆԵՐԻ ՉԱՓՈՒՄԸ՝

1 ԳԷՎ Ք ԷՆԵՐԳԻԱՅԻ ԴԵՊՐՈՒՄ

ՄՀՄի-ի/Իու.քնա/ Չմ պրոպանային բշտիկային խցիկից ստացված պատ-  
կերների մշակման հիման վրա չափված է dC -փոխազդեցությունը: Ըրիվ ոչ-  
ստածգական կտրվածքը  $T = 1$  ԳԷՎ Ք ԷՆԵՐԳԻԱՅԻ ԴԵՊՐՈՒՄ՝

$\sigma_{dc}^{in} = /425 \pm 21/$  մբ: Որոշված են dC -փոխազդեցության տոպոլոգիա-  
կան կտրվածքները: Լիցքավորված մասնիկների միջին բազմակլություն հա-  
մար ստացվել է  $\langle N_{ch} \rangle = 2,74 \pm 0,03$   $\bar{N}$  -մեզոնների՝

$\langle N_{\pi^-} \rangle = 0,163 \pm 0,013$ , Լիցքավորված բարիոնների/հիմնականում պրո-  
տոնների/՝  $\langle N_p \rangle = 2,41 \pm 0,05$ :

Երևանի ֆիզիկայի ինստիտուտ

Երևան 1989



Preprint YERPHI 1150(27)-89

H.R. GULKANYAN, V.G. KAKOYAN, A.R. KANETSJIAN,  
Z.A. KIRAKOSSIAN, G.A. KHUDAVERDIAN, I.M. RAMINOVICH

MEASUREMENT OF INELASTIC AND TOPOLOGICAL  
CROSS SECTIONS OF INTERACTION OF DEUTERONS WITH  
CARBON NUCLEI AT ENERGY 1 GeV PER NUCLEON

The total inelastic cross section of dc-interaction at 1 GeV per nucleon,  $\sigma_{dc}^{in} = (425 \pm 21)$  mb is measured on the basis of analysis of photographs from a 2m-long propane bubble chamber, JINR. Topological cross sections of dc-interaction are determined. The mean multiplicity of charged particles  $\langle n_{ch} \rangle = 2.74 \pm 0.03$ , that of  $\pi$ -mesons  $\langle n_{\pi} \rangle = 0.163 \pm 0.013$ , that of charged baryons (mainly protons)  $\langle n_p \rangle = 2.41 \pm 0.05$ .

Yerevan Physics Institute

Yerevan 1989

Препринт ВФИ-1150(27)-89

УДК 53:539.1.073.7

Г.Р.ГУЛКАНЯН, В.Г.КАКОЯН, А.Р.КАНЕЦЯН,  
Э.А.КИРАКОСЯН, И.М.РАВИНОВИЧ, Г.А.ХУДАВЕРДЯН

ИЗМЕРЕНИЕ НЕУПРУГОГО И ТОПОЛОГИЧЕСКИХ  
СЕЧЕНИЙ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ДЕКТРОНОВ С ЯДРАМИ УГЛЕРОДА  
ПРИ ЭНЕРГИИ 1 ГэВ НА НУКЛОН

На основе обработки снимков с 2 м пропановой пузырьковой камеры ОИИИ измерено полное неупругое сечение  $d\sigma$  - взаимодействия при  $T = 1$  ГэВ на нуклон:  $\sigma_{dc}^{in} = (425 \pm 21)$  мб. Определены топологические сечения  $d\sigma$  - взаимодействия. Для средней множественности заряженных частиц получено  $\langle n_{ch} \rangle = 2,74 \pm 0,03$  для  $\pi^-$  - мезонов -  $\langle n_{\pi^-} \rangle = 0,163 \pm 0,013$ , для заряженных барионов (в основном протонов) -  $\langle n_p \rangle = 2,41 \pm 0,05$ .

Ереванский физический институт  
Ереван 1989

Данная работа является частью систематических исследований свойств неупругих ядро-ядерных столкновений, проводимых при помощи 2 м пропановой пузырьковой камеры (ППК) ЛВЭ ОИЯИ, облученной на пучках релятивистских ядер Дубненского синхротрона. Особый интерес представляет получение детальных данных о характеристиках взаимодействия дейтронов промежуточных энергий с легкими ядрами; эти данные могут быть использованы при определении оптимальных (с энергетической точки зрения) условий генерации пучков  $\mu^-$  - мезонов для применения последних в возможном катализе холодного термоядерного синтеза [1].

В данной работе представлены результаты измерения полного неупругого и топологических сечений взаимодействия дейтронов с энергией 1 ГэВ на нуклон с ядрами углерода. Просмотр фотографий с 2 м ППК проводился на просмотрных столах БИС-75. В результате двойного просмотра около 2 тысяч стереофотоснимков прослежено  $N_{\text{пучк}} = 9882$  трека пучковых дейтронов и в эффективном объеме камеры длиной  $\bar{l} = 37,2$  см (по пучку) зарегистрировано  $N_{\text{с.}} = 3515$  событий взаимодействия ядер дейтерия в пропане. Эффективность двойного просмотра равна  $\epsilon = 0,995$  (в том

числе для однолучевых событий  $\epsilon_1 = 0,975$ ). Наблюдаемая средняя длина взаимодействия дейтронов определялась по формуле

$$L_{\text{дз}} = \frac{(N_{\text{пучк}} \cdot N_{\text{дз}} / \epsilon) \cdot \bar{l} + \sum l_i / \epsilon}{N_{\text{дз}} / \epsilon} = (84,0 \pm 1,4) \text{ см},$$

где  $\sum l_i = 60111$  см - суммарная длина провзаимодействовавших первичных треков в эффективном объеме. Соответствующее сечение взаимодействия, приходящееся на молекулу протона, равно  $\sigma_{\text{сзНв}} = (2027 \pm 58)$  мб, где в указанной ошибке учтена также неопределенность в плотности пропана  $\rho_{\text{сзНв}} = (0,43 \pm 0,01)$  г/см<sup>3</sup>.

Нормировочное сечение с учетом эффективности просмотра равно  $\sigma_{\text{с}} = (0,574 \pm 0,016)$  мб/соб.

Выборка зарегистрированных событий содержит небольшую примесь событий упругого dC - рассеяния. К событиям-кандидатам во взаимодействия этого типа были отнесены однолучевые звезды с проекцией угла рассеяния на плоскость фотографирования  $\vartheta < 3^\circ$  и с импульсом вторичного трека, близким к начальному импульсу  $P_d = 3,4$  ГэВ/с. Было найдено  $N_{\text{упр}} = 224 \pm 20$  таких событий (эффективность просмотра которых  $\epsilon_{\text{упр}} = 0,958$ ); соответствующее им сечение  $\sigma_{\text{упр}} = (135 \pm 13)$  мб было вычтено из  $\sigma'_{\text{сзНв}}$ :  $\sigma_{\text{сзНв}} = \sigma'_{\text{сзНв}} - \sigma_{\text{упр}} = (1892 \pm 60)$  мб. Наблюдаемое неупругое сечение dC - взаимодействия определялось из выражения

$$\sigma_{\text{с}}' = \frac{1}{3} (\sigma_{\text{сзНв}} - 8\sigma_{\text{н}}) = (418 \pm 16) \text{ мб},$$

где  $\sigma_{\text{н}} = \sigma_{\text{др}}^{\text{tot}} - \Delta\sigma_{\text{др}}^{\text{el}} (|t| < t_{\text{пор}}) = 79,7 \pm 1,3$  мб - наблюдаемое сечение взаимодействия нейтрона с водородом,  $\sigma_{\text{др}}^{\text{tot}} = (83 \pm 1)$  мб - полное сечение dp - взаимодействия [2],  $\Delta\sigma_{\text{др}}^{\text{el}} (|t| < t_{\text{пор}})$  -

часть упругого сечения  $d\sigma$  - рассеяния с передачами квадрата четырехимпульса  $t$ , недостаточными для регистрации протона отдачи (т.е. когда пробег протона в пропане не превышает  $t_{\text{пор}} \sim 1 \text{ м.к.}$ , при этом пороговое значение  $t_{\text{пор}} \sim 0,012 (\text{ГэВ/с})^{-2}$ ). Воспользовавшись экспериментальными данными [3] по дифференциальному сечению  $d\sigma$  - рассеяния и с учетом неопределенности в значении  $t_{\text{пор}}$ , находим  $\Delta \sigma_{d\sigma}^{\text{эф}} (|t| < t_{\text{пор}}) = 3,3 \pm 0,6 \text{ мб.}$

Из приведенных значений сечений следует, что среди отобранных событий доля водородных взаимодействий составляет  $\sigma_{\text{H}} / \sigma_{\text{C}_2\text{H}_6} = (33,7 \pm 1,2) \%$ , а доля углеродных взаимодействий -  $(66,3 \pm 1,2) \%$ .

Отметим, что при исключении событий - кандидатов в упругое  $d\text{C}$  - рассеяние теряется также часть событий квазиупругого рассеяния дейтронов на ядре углерода с выбиванием нейтрона и без видимых следов развала ядра отдачи. Для оценки соответствующей этим потерям поправки ( $\Delta \sigma_q$ ) мы воспользовались предположением [4] о том, что сечение  $\sigma_q$  квазиупругого рассеяния дейтронов на поверхностных нуклонах ядра-мишени с атомным весом  $A$  составляет  $\sigma_q \approx 1,6 A^{1/3} \sigma_{\text{pd}}$  (по аналогии с нуклон-ядерным квазиупругим рассеянием [5]), и данными по дифференциальному сечению упругого  $d\text{p}$  - рассеяния [3]. Для верхней границы поправки к сечению, связанной с потерями ненаблюдаемых или исключенных однолучевых событий (см. выше), получена оценка  $\Delta \sigma_q < 14 \text{ мб.}$  Эта оценка может заметно уменьшаться, если принять во внимание затраты энергии на выбивание из ядра связанного нейтрона и то обстоятельство, что продукты развала ядра-остатка не должны оставлять видимых следов в пропане. Поскольку полный учет этих факторов не представляется возможным и ввиду того, что сама

величина поправки порядка погрешности измеренного сечения  $\sigma_c'$ , мы учли неопределенность при оценке  $\Delta\sigma_q$ , приписав ей значение  $\Delta\sigma_q = (7 \pm 7)$  мб с максимальной ошибкой. В результате для полного неупругого сечения  $d\sigma$ - взаимодействия получаем значение

$$\sigma_{dc}^{in} = \sigma_c' + \Delta\sigma_q = 425 \pm 21 \text{ мб.}$$

Полученное нами сечение сравнивается с данными других измерений [5,7] на рис.1. Видно, что в ГэВ-ной области энергий сечение неупругого  $d\sigma$ - рассеяния меняется слабо. Наблюдающаяся энергетическая зависимость, по-видимому, отражает аналогичное поведение полного сечения нуклон-нуклонного взаимодействия [1].

Лучевое распределение (лучом считается трек длиной не менее 1 мм) событий взаимодействия дейтронов в пропане и соответствующие топологические сечения  $\sigma_n(C_3H_8)$  приведены в табл.1 (из однолучевых исключены события - кандидаты в упругое  $d\sigma$ -рассеяние).

Таблица I

$n_{ch}$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ЧИСЛО СОБЫ- ТИЙ	11	466	1668	505	357	162	87	24	8	2	1
$\sigma(C_3H_8)$	6,3	271	957	290	205	93	50	13,8	4,6	1,1	0,6
мб	$\pm 1,9$	$\pm 19$	$\pm 23$	$\pm 13$	$\pm 11$	$\pm 7,3$	$\pm 5,3$	$\pm 2,8$	$\pm 1,6$	$\pm 0,7$	$\pm 0,6$

Топологические сечения  $\bar{\sigma}_n(\epsilon)$  неупругого  $d\epsilon$ - рассеяния находились из выражения

$$\bar{\sigma}_n(\epsilon) = \frac{\bar{\sigma}_n(\text{C}_3\text{H}_8) - 8\bar{\sigma}_n(\text{H})}{3},$$

где  $\bar{\sigma}_n(\text{H})$  - топологические сечения взаимодействия с водородом:  $\bar{\sigma}_1(\text{H})$  - сечение наблюдаемых "однолучевых" событий, соответствующих квазиупругому рассеянию  $dp \rightarrow ppp$  с невидимым следом протона отдачи (при передачах  $|t_{p \rightarrow p}| < t_{\text{пор}} \sim 0,012 (\text{ГэВ}/c)^2$ );

оценка этого сечения на основе имеющихся данных [2,9] дает

$\bar{\sigma}_1(\text{H}) = 2 \pm 1$  мб;  $\bar{\sigma}_2(\text{H}) = 73,9 \pm 1,5$  мб - сечение  $dp$  - взаимодействия с двумя заряженными частицами в конечном состоянии, из которого вычтены  $\bar{\sigma}_1(\text{H})$  и  $\Delta\bar{\sigma}_{dp}^{\text{el}}(|t| < t_{\text{пор}})$  (см. выше);

$\bar{\sigma}_4(\text{H}) = 3,8 \pm 0,2$  мб [8]; значениями  $\bar{\sigma}_{n>6}(\text{H})$  можно пренебречь.

Найденные таким образом топологические сечения  $\bar{\sigma}_n(\epsilon)$  приведены в табл.2. В  $\bar{\sigma}_1(\epsilon)$  учтена также поправка на потери событий квазиупругого  $d\epsilon$  - рассеяния.

Таблица 2

$n_{ch}$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\bar{\sigma}_n(\epsilon)$	2,1	92	122	96,7	58,2	31,0	16,7	4,6	1,5	0,4	0,2
мб	$\pm 0,6$	$\pm 10$	$\pm 8$	$\pm 4,3$	$\pm 3,7$	$\pm 2,5$	$\pm 1,8$	$\pm 0,9$	$\pm 0,5$	$\pm 0,2$	$\pm 0,2$

Отметим, что зарегистрированным 0 - лучевым событиям (II событий) соответствует, вероятнее всего, реакция квазиупругой перезарядки протона из состава дейтрона - снаряда на одном из нейтронов углерода - мишени без видимых следов развала

ядра – остатка; полученная оценка верхней границы сечения этого процесса равна  $\sigma_0(c) = 2,1 \pm 0,6$  мб.

Как видно из табл.2,  $\sigma_n(c)$  имеет максимум при  $n_{ch} = 2$  и отлично от нуля вплоть до  $n_{ch} = 10$ . Средняя множественность заряженных частиц равна  $\langle n_{ch} \rangle_{dc} = 2,74 \pm 0,05$ .

Распределение по числу  $\pi^-$ - мезонов и соответствующие сечения во взаимодействиях дейтронов в пропане приведены в табл.3.

Таблица 3

	0	1	2
$N_{\pi^-}$ ( $C_3H_8$ )	2866	397	8
$\sigma_{\pi^-}$ ( $C_3H_8$ ) мб	$1659 \pm 31$	$226 \pm 12$	$4,6 \pm 1,6$
$\sigma_{\pi^-}$ (H) мб	$75,9 \pm 1,1$	$3,8 \pm 0,2$	-
$\sigma_{\pi^-}$ (C) мб	$358 \pm 14$	$65,9 \pm 4,3$	$1,5 \pm 0,5$

Средняя множественность  $\pi^-$ - мезонов во взаимодействиях дейтронов в пропане равна  $\langle n_{\pi^-} \rangle = 0,125 \pm 0,006$ . В табл.3 приведены также топологические сечения реакций рождения  $\pi^-$ - мезонов в неупругих  $dc$ - взаимодействиях, которые получены методом вычитания вклада событий с использованием известных данных по  $pd$ - взаимодействиям [2,8]. Для инклюзивного сечения рождения  $\pi^-$ - мезонов получено значение  $\sigma_{\pi^-}(dc) = 66,9 \pm 4,4$  мб, для средней множественности -  $\langle n_{\pi^-} \rangle_{dc} = 0,163 \pm 0,013$ . Отметим для сравнения, что в нуклон-нуклонных взаимодействиях усредненное (по протонам и нейтронам) инклюзивное сечение рождения  $\pi^-$ - мезонов при  $T_N = 1$  ГэВ составляет  $\sigma_{\pi^-}(NN) = 6,5 \pm 0,5$  мб. а

их средняя множественность ( нормированная на усредненное полное сечение  $NN$  - взаимодействия) -  $\langle n_{\pi^-} \rangle_{NN} = 0,15 \pm 0,01$  [2] .

Отметим также, что, поскольку средние множественности  $\pi^+$  и  $\pi^-$  мезонов в  $dc$  - взаимодействиях ожидаются равными друг другу (в силу изотопической инвариантности), то приведенные выше данные позволяют также получить среднюю множественность заряженных барионов, подавляющую часть которых составляют протоны:  $\langle n_p \rangle_{dc} = 2,41 \pm 0,05$ .

В заключение авторы выражают благодарность М.И.Соловьеву за предоставление пленок с 2 м пропановой камеры ЛВЭ ОИЯИ.

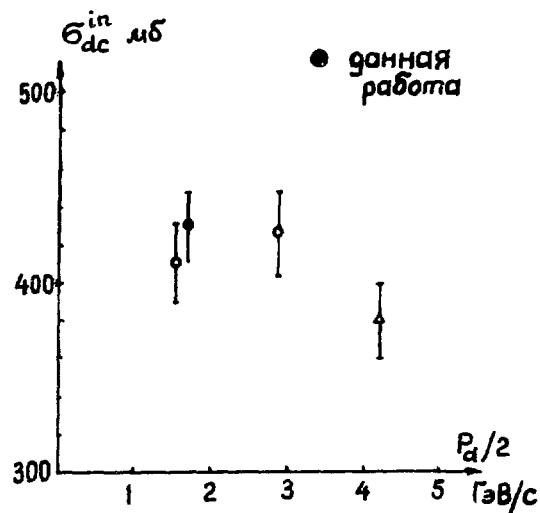


Рис.1 Полное неупругое сечение  $dc$  - взаимодействия.

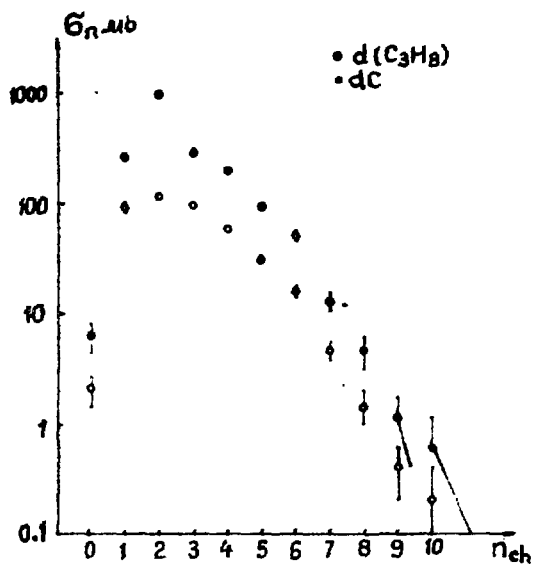


Рис.2 Топологические сечения взаимодействия дейтронов с пропаном и ядрами углерода при энергии  $T = 1$  ГэВ/с на нуклон.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Материалы Международного симпозиума по мюонному катализу. Гатчина, 26-29 мая 1987, Ленинград, 1987.
2. Flaminio V., Horhead W., Morrison D.R. et al. **Compilation of Cross-Sections.** CERN-HERA, 84-01, 1984.
3. Далхажав Н., Довински П.А., Заячки В.И и др. Итоговые данные по упругому  $pp$  и  $pd$  - рассеянию на малые углы и вещественная часть амплитуды  $pp$  - рассеяния в интервале энергий 1-10 ГэВ. ЯФ, 1968, т.8, с.343.
4. Ахабабян Н., Баатар Ц., Гаспарян А.П. и др. Методические вопросы определения сечения неупругих взаимодействий релятивистских ядер с ядрами. Сообщения ОИЯИ, I-12114, 1979.
5. Belletini G., Cocconi G., Diddens A.N. et al. **Proton-Nuclei Cross-Section at 20 GeV.** Nucl.Phys., 1966, vol.79, p.609.
6. Jaros J., Wagner A., Anderson L. et al. **Nucleus-Nucleus Total Cross-Sections for Light Nuclei at 1.55 and 2.89 GeV/c per Nucleon.** Phys.Rev.C., 1978, vol.18, p.2273.
7. Abdrahmanov E.O., Basina A.N., Chasnikov I.Ya. **Interaction Cross Sections and Negative Pion Multiplicities in Nucleus-Nucleus Collisions at 4.2 GeV/c per Nucleon.** Z.Phys.C, 1980, vol.5, p.1.
8. Kajita M. **Proc 1983 Int. Symp. on High Energy Photo-Nuclear Reactions and Related Topics.**
9. Menary O., Price R., Alexander G. **NN and ND Interactions (above 0.5 GeV/c)- A Compilation.** NCRL-20000 NN, 1970.

Рукопись поступила 4 апреля 1989 г.

Г.Р.ГУЛКЯН, В.Г.КАКОЯН, А.Р.КАНЕЦЯН, З.А.КИРАКОСЯН,  
И.М.РАВИНОВИЧ, Г.А.ХУДАВЕРДЯН

ИЗМЕРЕНИЕ НЕУПРУТОГО И ТОПОЛОГИЧЕСКИХ СЕЧЕНИЙ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ  
ДЕЙТРОНОВ С ЯДРАМИ УГЛЕРОДА ПРИ ЭНЕРГИИ 1 ГэВ НА НУКЛОН

Редактор Л.П.Мукаян

Технический редактор А.С.Абрамян

---

Подписано в печать 6/У1-89г. ВФ-02103 Формат 60x64/16

Офсетная печать. Уч. изд. л. 0,5

Тираж 299 экз. Ц. 8 к.

Зак. тип. № 855

Индекс 3649

---

Отпечатано в Ереванском физическом институте

Ереван 36, ул. Братьев Алиханян 2

The address for requests:  
Information Department  
Yerevan Physics Institute  
Alikhanian Brothers 2,  
Yerevan, 375036  
Armenia, USSR

**ИНДЕКС 3649**



**ЕРЕВАНСКИЙ ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ**

