

ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ  
ДУБНА

P1-84-476

В.Г.Аблеев<sup>1</sup>, Г.Г.Воробьев, А.П.Гаспарян,  
Н.С.Григалашвили<sup>2</sup>, С.В.Джмухадзе<sup>3</sup>, С.А.Запорожец,  
А.А.Номофилов, Н.М.Пискунов, И.М.Ситник,  
Е.А.Строковский, Л.Н.Струнов, П.П.Темников<sup>4</sup>,  
А.П.Чеплаков, В.И.Шаров

ПОИСК АНОМАЛЬНЫХ ДЕЙТРОНОВ  
В РЕАКЦИИ  ${}^3\text{He} + \text{C} \rightarrow \text{d} + \text{X}$   
ПРИ  $P_3 \text{He} = 10,8 \text{ ГэВ/с}$

Направлено в журнал "Ядерная физика"

<sup>1</sup> НИИЯФ Московского государственного университета

<sup>2</sup> ИФВЭ Тбилисского государственного университета

<sup>3</sup> ЦИЯИ, Россендорф, ГДР

<sup>4</sup> ИЯИЯЭ БАН, София, НРБ

1984

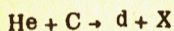


## 1. ВВЕДЕНИЕ

В последнее время большой интерес экспериментаторов и теоретиков вызывает проблема аномалонов. В частности, обсуждалась <sup>1/1</sup> возможность существования аномальных дейтронов - "демонов", или  $\delta$ -дейтронов, состоящих из трех дикварков. Этот объект может иметь необычные квантовые числа, запрещающие распад как по каналу сильных взаимодействий, так и по обычным электромагнитным каналам. Основные ожидаемые характеристики  $\delta$ -дейтрона <sup>1/1</sup>: масса  $m_\delta \sim 2$  ГэВ; время жизни  $\tau_\delta \sim 10^{-10}$  с, причем превращение его в обычный дейтрон должно протекать по дважды запрещенному электромагнитному каналу с излучением трех  $\gamma$ -квантов; ожидается большое сечение ядерного взаимодействия:  $\sigma_\delta \approx 2\sigma_d$ , где  $\sigma_d$  - сечение ядерного взаимодействия для обычного дейтрона.

## 2. ПОСТАНОВКА ЭКСПЕРИМЕНТА

2.1. Идея поискового эксперимента заключалась в следующем. Если в реакции фрагментации



/1/

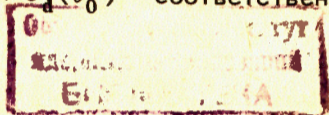
с вылетом дейтронов в фиксированные интервалы углов  $\theta_{\min} \leq \theta_d \leq \theta_{\max}$  и импульсов  $|P - \bar{P}| \leq \Delta P$  с вероятностью  $\alpha$  рождается  $\delta$ -дейтрон, то зависимость выхода регистрируемых дейтронов от толщины  $x$  мишени будет различной для нормального и  $\delta$ -дейтрона, из-за различия в величине сечения взаимодействия с веществом. В принципе, вероятность  $\alpha$  рождения  $\delta$ -дейтрона может зависеть как от угла  $\theta_d$ , так и от импульса  $P_d$  регистрируемого дейтрона. В данном эксперименте мы выбрали  $P_d \approx 2/3 P_{\text{He}}$  и регистрировали дейтроны вблизи направления импульса ядра-снаряда:  $0 \leq \theta_d \leq \theta_0$ .

Зависимость выхода дейтронов от толщины мишени определяется выражением

/2/

$$\frac{N_d}{N_0} = \alpha F(x, \sigma) + (1-\alpha)F(x, \sigma), \quad F(x, \sigma) = \frac{\sigma_\tau}{\sigma_{\text{He}} - \sigma} [e^{-\alpha \sigma x} - e^{-\alpha \sigma_{\text{He}} x}].$$

Здесь  $N_d(\theta_0)$  - число вылетевших в интервал  $\theta \leq \theta_0$  дейтронов;  $N_0$  - число первичных ядер  ${}^3\text{He}$ ;  $\alpha$  - относительный вклад  $\delta$ -дейтронов;  $\sigma_\tau(\theta_0)$  - сечение рождения дейтронов в реакции /1/;  $\sigma_{\text{He}}(\theta_0)$ ,  $\sigma_\delta(\theta_0)$  и  $\sigma_d(\theta_0)$  - соответственно сечения "поглощения"

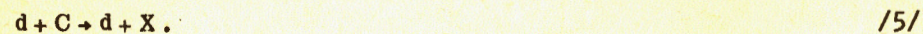
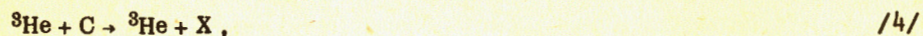




релятивистских ядер  ${}^3\text{He}$ ,  $\delta$ -дейтронов и обычных дейтронов, отвечающие их выбыванию из телесного угла  $\Omega(\theta_0)$ . С ростом толщины мишени  $x$  функция  $F(x, \sigma)$  возрастает, достигая максимума при

$$x_m = \frac{\ln(\sigma_{\text{He}}/\sigma)}{n(\sigma_{\text{He}} - \sigma)}, \quad /3/$$

и затем плавно убывает. Если распадная длина  $\delta$ -дейтронов  $l_{\text{расп.}} = \gamma c \tau_{\delta} \geq x_m$ , то эффект их аномального взаимодействия можно обнаружить, измерив функцию /2/ в достаточно широкой области значений  $x$ . При этом необходимо в том же эксперименте получить сечения  $\sigma_{\text{He}}(\theta_0)$  и  $\sigma_d(\theta_0)$ , измеряя количество начальных частиц, оставшихся в телесном угле  $\Omega(\theta_0)$ , при разных толщинах мишени для реакций



Измеренные таким образом сечения  $\sigma(\theta_0)$  будут стремиться к  $\sigma_{\text{tot}}$  с уменьшением телесного угла  $\Omega(\theta_0)$  и к  $\sigma_{\text{ин}}$  с ростом  $\Omega(\theta_0)$ .

Как уже отмечалось, данный метод поиска применим при условии, что время жизни  $\tau_{\delta} \geq x_m / c\gamma$ . Величину  $\tau_{\delta}$  в интервале  $10^{-11} \div 10^{-9}$  с можно оценить, сравнив выход дейтронов в реакции /1/ на сплошной мишени толщиной  $x_0 = x_m$  и на мишени, состоящей из двух частей толщиной  $x/2$ , раздвинутых на расстояние  $l > l_{\text{расп.}}$ . Число дейтронов, образовавшихся на сплошной мишени, должно быть меньше, чем на составной, поскольку  $\delta$ -дейтроны, родившиеся в 1-й половине этой мишени, могут, пролетая между частями мишени, превратиться в обычные дейтроны, которые более слабо поглощаются во 2-й половине мишени. Аналогичная постановка опыта была независимо предложена в работах /2,3/.

2.2. Измерения были выполнены на пучке ядер  ${}^3\text{He}$  с импульсом 10,78 ГэВ/с и интенсивностью  $\sim 10^5$  частиц/цикл, который выводился из синхрофазотрона за время  $0,3 \div 0,5$  с. Примесь однозарядных частиц в пучке не превышала 0,5%. Эксперимент проводился с помощью магнитного спектрометра "Альфа" /4/, схема которого показана на рис.1\*.

Толщина углеродной мишени увеличивалась от 0,6 до 70 см /использовался графит с плотностью  $\rho = 1,67$  г/см<sup>3</sup>/ . Для получения данных о времени жизни  $\delta$ -дейтрона использовалась мишень толщиной 20 см и две последовательно расположенные мишени толщиной

\*В близкой геометрии опыта нами ранее выполнены измерения сечений рассеяния и фрагментации релятивистских ядер, в частности, стриппинга дейтронов на углероде при импульсе 8,9 ГэВ/с /5/.

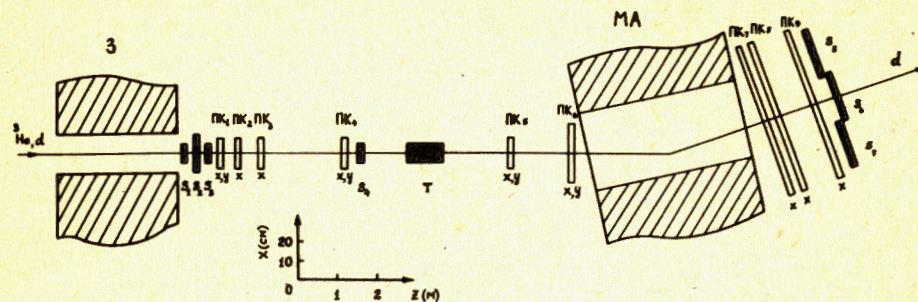


Рис.1. Схема спектрометра, с помощью которого проводились измерения: С - сцинтилляционные счетчики, ПК - пропорциональные камеры; Т - мишень, МА - анализирующий магнит, З - защита. За магнитом показаны направления пучка регистрируемых дейтронов (d).

по 10 см каждая, разделенные прослойкой воздуха 65 см. В целях контроля аналогичные измерения были выполнены и для реакций /4,5/.

Из падающего на мишень пучка совпадениями  $M = S_1 \wedge S_2 \wedge S_3 \wedge S_4$ , к которым добавлялось условие срабатывания в каждой из плоскостей камер ПК1, ПК4 одной и только одной сигнальной проволоки, выделялись мониторные частицы. Треки этих частиц имели нужные пространственные и угловые параметры относительно оси установки. Их заряд определялся по амплитуде сигнала от счетчика  $S_4$ .

Запись событий на магнитную ленту производилась при условии, что в одном из счетчиков  $S_5, S_6, S_7$ , расположенных за анализирующим магнитом, регистрируется частица с зарядом 1. Ток в магните подбирался так, чтобы дейтроны с импульсом  $P_d = 2/3 P_{{}^3\text{He}}$  попадали в центр счетчика  $S_6$ . Импульсное и угловое разрешение спектрометра составляло  $\Delta P/P = 0,5\%$ ,  $\sigma_{\theta} = 0,8$  мрад. Угловой захват спектрометра перекрывал интервал углов  $0 \leq \theta \leq 20$  мрад. Таким образом, регистрировались практически все дейтроны, образующиеся в периферическом процессе фрагментации ядер  ${}^3\text{He}$ . Зависимость геометрической эффективности спектрометра ( $\epsilon$ ) от угла вылета дейтрона ( $\theta$ ) приведена на рис.2.

Всего было накоплено для реакций /1,4,5/ около 200 тыс. триггеров\* /включая измерения с удаленными из пучка мишенями/.

2.3. В экспериментальные данные, полученные для реакции /1/, необходимо было внести ряд поправок. Коррекция связана с уче-

\*При измерении выхода дейтронов в реакции /5/ пучок дейтронов получался после фрагментации ядер  ${}^3\text{He}$  при 10,8 ГэВ/с на мишени, удаленной от спектрометра на расстояние более 50 м.



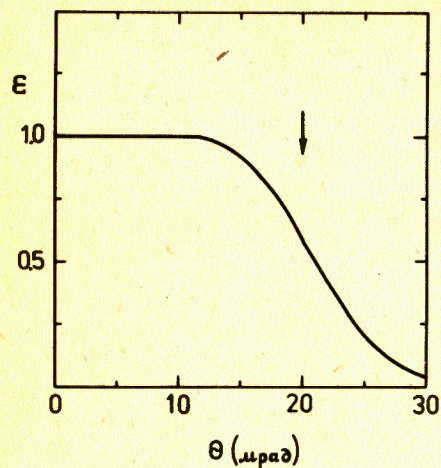


Рис.2. Геометрическая эффективность спектрометра в зависимости от угла вылета дейтрона.

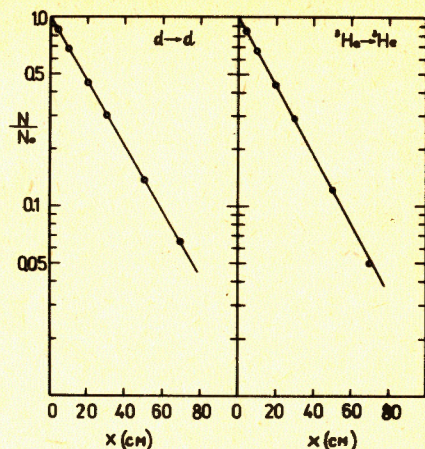


Рис.3. Относительные выходы дейтронов и ядер гелия-3 в зависимости от толщины мишени в реакциях  $d + C \rightarrow d + X$  и  ${}^3\text{He} + C \rightarrow {}^3\text{He} + X$ .

том выбывания дейтронов фрагментации из перекрываемого установкой телесного угла  $\Omega(\theta_0)$  вследствие многократного кулоновского и кратного упругого ядерного рассеяния. С этой целью, наряду с измерениями сечений  $\sigma_{{}^3\text{He}}(\theta_0)$  и  $\sigma_d(\theta_0)$  в реакциях /4/ и /5/, были измерены угловые распределения рассеянных ядер  ${}^3\text{He}$  и  $d$ . Величина поправки на выбывание дейтронов оценивалась на основе моделирования распределений по углу  $\theta_d$ . При этом использовались измеренные на тонких мишенях угловое распределение дейтронов фрагментации /1/ и угловые распределения ядер  ${}^3\text{He}$  и  $d$  из реакций /4/ и /5/, измеренных на мишенях разной толщины. Максимальное значение поправки для мишени толщиной  $x_0 \geq 50$  см не превышало 5%. Учитывались также поправки на эффект "пустой" мишени, аппаратную и геометрическую эффективности спектрометра.

### 3. РЕЗУЛЬТАТЫ

3.1. Сечения поглощения дейтронов и ядер гелия-3 были найдены в результате аппроксимации функцией  $N/N_0 = \exp(-\rho\sigma x)$ , измеренного относительно выхода  $d$  и  ${}^3\text{He}$  в реакциях /4/ и /5/ при разной толщине мишени /рис.3/. Величины сечений составляют соответственно  $470 \pm 5$  мб и  $1500 \pm 5$  мб. Они находятся в согласии с имеющимися экспериментальными данными по  $dC$ - и  ${}^4\text{He}C$ -взаимодействиям /6/ и близки к ожидаемым по формуле Брэдта-Петерса /7/.

3.2. Импульсный спектр дейтронов фрагментации из реакции /1/ имеет форму, близкую к гауссовой кривой с параметрами  $P_d = 2/3 P_{{}^3\text{He}}$  /т.е. 7,1 ГэВ/с/ и  $\sigma_{P_d} = 0,2$  ГэВ/с, что характерно для спекторного механизма фрагментации на периферии ядра-мишени. Угловое распределение дейтронов почти полностью сосредоточено в конусе  $\theta_0 \leq 20$  мрад. Получено сечение фрагментации ядра гелия-3 в реакции /1/ с вылетом дейтронов в этот угловой интервал и интервал импульсов  $|\bar{P}_d - P_d| \leq 4\sigma_{P_d}$ . Величина  $\sigma_t(\theta_0)$  /см. формулу /2// составляет  $160 \pm 2$  мб.

3.3. Отношения выходов дейтронов в реакции /1/ на сплошной и составной мишенях представлены в табл.1. Из данных следует, что если  $\delta$ -дейтрон /1/ образуется в реакции /1/, то его время жизни  $\tau_\delta$  лежит вне интервала  $10^{-11} \leq \tau_\delta \leq 10^{-9}$  с.

Таблица 1

Отношения выходов дейтронов и ядер гелия-3 на сплошной и разреженной мишенях

Реакция	$d + C \rightarrow d + X$	${}^3\text{He} + C \rightarrow {}^3\text{He} + X$	${}^3\text{He} + C \rightarrow d + X$
$R \left( \frac{\text{сплошная}}{\text{составная}} \right)$	$1,03 \pm 0,02$	$1,01 \pm 0,02$	$0,99 \pm 0,02$

С другой стороны, пучок дейтронов, на котором измерялась величина  $\sigma_d$ , был также получен в реакции фрагментации. Мишень при этом была удалена на 50 м от спектрометра. Поэтому сигнал об эффекте аномального взаимодействия  $\delta$ -дейтронов мог бы быть зарегистрирован в данном эксперименте при условии, что  $\tau_\delta \leq 4 \cdot 10^{-8}$  с. Следовательно, приводимые ниже ограничения на долю  $\delta$ -дейтронов в зависимости от отношения  $\sigma_\delta / \sigma_d$  справедливы, если  $10^{-11} \leq \tau_\delta \leq 4 \cdot 10^{-8}$  с /что вытекает из условия проведения данного эксперимента/.

3.4. Экспериментальные значения выходов дейтронов в реакции фрагментации /1/ в зависимости от толщины мишени показаны на рис.4 и в табл.2. Сплошная линия на рис.4 соответствует зависимости, ожидаемой при нормальном сечении взаимодействия дейтронов  $\sigma_d = 470$  мб. Штриховая линия соответствует образованию в 10% событий  $\delta$ -дейтронов с сечением взаимодействия  $\sigma_\delta = 940$  мб, а штрих-пунктирная - случаю, когда все образующиеся дейтроны являются "демонами". Наименьшее значение  $\chi^2/\text{степ.своб.} \approx 0,4$  получается при нормальном сечении  $\sigma_d = 470$  мб.

На рис.5 показаны полученные из наших данных ограничения на долю  $\delta$ -дейтронов ( $\alpha$ ) при различных величинах  $\sigma_\delta / \sigma_d$  - отношения сечений взаимодействия  $\delta$ -дейтронов и нормальных дейтронов.



Выходы дейтронов  $N_d/N_0$  в интервале импульсов  $|P_d - P_d| \leq 4\sigma_{P_d}$  и углов  $\theta \leq 20$  мрад в процессе фрагментации  ${}^3\text{He} + \text{C} \rightarrow \text{d} + \text{X}$  в зависимости от толщины мишени

X/см/	0,6	1,8	4	10	14	20	24	30	40	50	60	70
$\frac{N_d}{N_0} \times 10^8$	$3,0 \pm 0,15$	$8,7 \pm 0,35$	$17,5 \pm 34,4$	$41,2 \pm 46,1$	$47,7 \pm 45,4$	$41,7 \pm 33,9$	$33,9 \pm 27,3$	$20,0 \pm 17,3$	$11,0 \pm 9,8$	$7,0 \pm 6,0$	$5,0 \pm 4,5$	$3,5 \pm 3,0$
			$0,5$	$1,0$	$1,0$	$1,0$	$1,0$	$1,0$	$1,0$	$1,0$	$1,0$	$0,7$

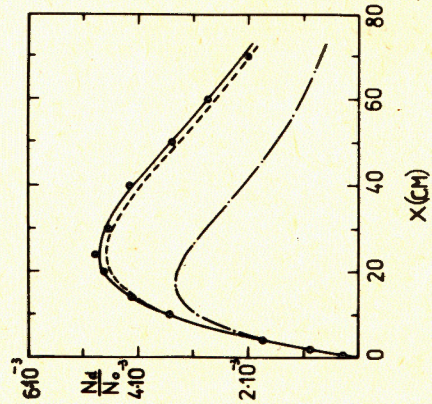
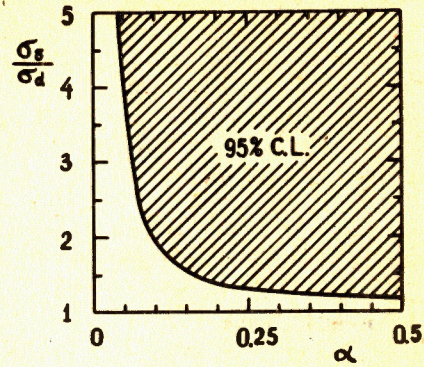


Рис. 4. Выходы дейтронов в интервале импульсов  $|P_d - P_d| \leq 4\sigma_{P_d}$  и углов  $\theta \leq 20$  мрад в процессе фрагментации  ${}^3\text{He} + \text{C} \rightarrow \text{d} + \text{X}$  в зависимости от толщины мишени. Штрихованная линия соответствует ожидаемой зависимости при нормальном сечении  $\sigma_d = 470$  мб. Штриховая линия отвечает 10% вкладу "демонов"  $1/\tau$  с сечением  $\sigma_\delta = 940$  мб. Штрих-пунктирная линия соответствует случаю, когда все дейтроны - аномальные.

Рис. 5. Ограничения на долю аномальных дейтронов  $\alpha$  при различных величинах отношений  $\sigma_\delta/\sigma_d$  сечений аномальных дейтронов к нормальным. Заштрихованная область соответствует 95% уровню достоверности гипотезы, отвергающей существование "демонов" с временем жизни  $10^{-11} \leq \tau_\delta \leq 4 \cdot 10^{-8}$  с.



Заштрихованная область соответствует 95% уровню достоверности гипотезы, отвергающей существование "демонов" с временем жизни  $10^{-11} \leq \tau_\delta \leq 4 \cdot 10^{-8}$  с. Таким образом, если, например,  $\delta$ -дейтроны имеют сечение, в два раза превышающее нормальное, то их вклад меньше 10% с 95% уровнем достоверности.

В дальнейшем, повысив точность измерений выходов дейтронов до  $\sim 1 \pm 1,5\%$ , можно существенно уменьшить неисследованную область относительных вкладов  $\alpha$  и сечений  $\sigma_\delta$  - взаимодействия  $\delta$ -дейтронов.

#### 4. ВЫВОДЫ

Полученные экспериментальные данные закрывают возможность существования аномальных дейтронов с временем жизни  $10^{-11} \leq \tau_\delta \leq 4 \cdot 10^{-8}$  с в большой области значений ожидаемых сечений их генерации и взаимодействия с веществом. По-видимому, большой интерес может представлять поиск  $\delta$ -дейтронов, имеющих поперечные импульсы  $P_\perp > 0,3$  ГэВ/с.

Методика мишеней с изменяющейся толщиной может быть использована и на пучках других релятивистских ядер в экспериментах по поиску аномалонов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Fredrikson S., Jändel M. Phys.Rev.Lett., 1982, 48, p.14.
2. Amado R.D., Dar A. Phys.Rev.C, 1983, 27, p.1325.
3. Gustafsson H.A. et al. Phys.Rev.Lett., 1983, 51, p.363.
4. Аблеев В.Г. и др. ПТЭ, 1978, 2, с.63; ПТЭ, 1983, 1, с.33.
5. Аблеев В.Г. и др. ЯФ, 1983, 37, с.132.
6. Jaros J.A. Preprint LBL-3849, Berkeley, 1975.
7. Bradt H.L., Peters V. Phys.Rev., 1950, 77, p.54.
8. Карманов В.А. УФН, 1983, 141, с.525.

Рукопись поступила в издательский отдел  
5 июля 1984 года.



В Объединенном институте ядерных исследований начал выходить сборник "Краткие сообщения ОИЯИ". В нем будут помещаться статьи, содержащие оригинальные научные, научно-технические, методические и прикладные результаты, требующие срочной публикации. Будучи частью "Сообщений ОИЯИ", статьи, вошедшие в сборник, имеют [REDACTED] статус официальных публикаций ОИЯИ.

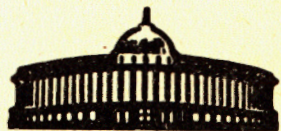
Сборник "Краткие сообщения ОИЯИ" будет выходить регулярно.

The Joint Institute for Nuclear Research begins publishing a collection of papers entitled *JINR Rapid Communications* which is a section of the JINR Communications and is intended for the accelerated publication of important results on the following subjects:

Physics of elementary particles and atomic nuclei.  
Theoretical physics.  
Experimental techniques and methods.  
Accelerators.  
Cryogenics.  
Computing mathematics and methods.  
Solid state physics. Liquids.  
Theory of condensed matter.  
Applied researches.

Being a part of the JINR Communications, the articles of this new collection [REDACTED] have the status of official publications of the JINR.

*JINR Rapid Communications* will be issued regularly.



Аблеев В.Г. и др.

P1-84-476

Поиск аномальных дейтронов в реакции  ${}^3\text{He} + \text{C} \rightarrow \text{d} + \text{X}$  при  $P_{{}^3\text{He}} = 10,8 \text{ ГэВ/с}$

Поиск аномальных дейтронов проводился с помощью магнитного спектрометра "Альфа" в пучке релятивистских ядер гелия-3 на дубненском синхрофазотроне при импульсе  $P_{{}^3\text{He}} = 10,8 \text{ ГэВ/с}$ . Исследовался выход дейтронов в реакции фрагментации гелия-3 в дейтрон на углеродной мишени в зависимости от ее толщины в угловом конусе с раствором  $\theta = 20$  мрад. Определены сечения взаимодействия с углеродом ядер гелия-3 и дейтерия, а также сечение фрагментации. Полученные данные исключают рождение аномальных дейтронов в широкой области ожидаемых значений сечений их генерации и взаимодействия с веществом.

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1984

Перевод О.С.Виноградовой

Ableev V.G. et al.

P1-84-476

The Search for Anomalous Deuterons in the  ${}^3\text{He} + \text{C} \rightarrow \text{d} + \text{X}$  Reaction at  $P_{{}^3\text{He}} = 10.8 \text{ GeV/c}$

Using the magnetic spectrometer "Alpha" in the beam of relativistic helium-3 nuclei from the Dubna accelerator at  $P_{{}^3\text{He}} = 10.8 \text{ GeV/c}$  momentum the search for anomalous deuterons was carried out. The deuteron yield in the reaction of fragmentation of helium-3 into deuteron in dependence on the thickness of carbon target in the forward cone  $\theta = 20$  mrad was investigated. The interaction cross sections of helium-3 and deuteron with carbon nuclei and cross section of fragmentation was obtained. The data obtained exclude the production of anomalous deuterons in a wide region of expected values of their generation cross sections and those for interaction with matter.

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

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1984