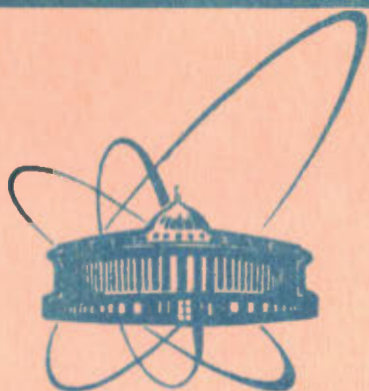


2/01/84



СООБЩЕНИЯ  
ОБЪЕДИНЕННОГО  
ИНСТИТУТА  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ  
ДУБНА

1-84-202

ПОЛНАЯ ДЕЗИНТЕГРАЦИЯ ЯДРА ГЕЛИЯ  
В  ${}^4\text{He}$  - ВЗАИМОДЕЙСТВИЯХ  
ПРИ 8,6 ГэВ/с

Сотрудничество: Дубна - Варшава - Кошице -  
Москва - Страсбург - Тбилиси

1984

В.В.Глаголев, Р.М.Лебедев, Г.Д.Пестова, Й.Урбан  
Объединенный институт ядерных исследований, Дубна

П.Зелински, Т.Собчак, И.Стэпаняк  
Институт ядерных проблем, Варшава

М.Бано, М.Семан, Л.Шандор  
Институт экспериментальной физики САН, Кошице, ЧССР

Й.Главачова, Г.Мартинска, Й.Паточка  
Университет им. П.Й.Шафарика, Кошице

К.У.Хайретдинов  
Физический институт им. П.Н.Лебедева АН СССР, Москва

Г.Браун, Ж.-П.Жербер, П.Жюйо, А.Мишалон  
Центр ядерных исследований, Страсбург, Франция

А.К.Качарава, М.С.Ниорадзе, З.Р.Салуквадзе  
Институт физики высоких энергий ТГУ, Тбилиси

## 1. ВВЕДЕНИЕ

В последнее время значительно возрос интерес к исследованиям реакций полного развала легких ядер адронами <sup>1/1/</sup>. Среди множества ядерных процессов эти реакции остаются пока еще мало изученными, особенно при импульсах свыше 1 ГэВ/с <sup>1-3/</sup>. Трудность изучения реакции полного развала связана с тем, что для выделения реакции полной дезинтеграции ядер необходима идентификация всех вторичных заряженных частиц, т.е. проведение эксперимента в 4π-геометрии. Кроме того, с ростом энергии увеличивается число вторичных частиц, что значительно усложняет процесс обработки и анализа такого рода реакций.

Настоящая работа является продолжением исследований взаимодействия ядер <sup>4</sup>Не с водородом при импульсе 8,6 ГэВ/с, проводимых на ВПК-100 ОИЯИ. В <sup>2,4/</sup> показано, что в результате такого взаимодействия примерно в 30% случаев происходит безмезонный развал ядер <sup>4</sup>Не с различной степенью фрагментации:

${}^4\text{He} \rightarrow {}^3\text{H}pp$ ,	/1/
${}^4\text{He} \rightarrow {}^3\text{He}np$ ,	/2/
${}^4\text{He} \rightarrow ddp$ ,	/3/
${}^4\text{He} \rightarrow dppn$ ,	/4/
${}^4\text{He} \rightarrow ppp + \text{/нейтральные/}$ .	/5/

Если первые три из указанных реакций идут, главным образом, через квазиупругое рассеяние <sup>2/</sup>, то реакция /4/, в основном, - через двукратное взаимодействие протона с нуклонами налетающего ядра <sup>4/</sup>. В данной работе мы предприняли попытку исследования механизма реакции /5/. В <sup>4,5/</sup> показано, что, изучая корреляции азимутальных углов вторичных нуклонов, можно понять некоторые особенности механизма реакций. Аналогичный подход мы применили и для анализа реакции /5/.

## 2. ЭКСПЕРИМЕНТ

Работа выполнена с помощью 100-см жидководородной пузырьковой камеры, экспонированной в пучке ядер <sup>4</sup>Не с импульсом 8,6 ГэВ/с на синхрофазотроне ЛВЭ ОИЯИ.

Обработка снимков велась в лабораториях сотрудничества по стандартной процедуре. Пространственная реконструкция и кинематический анализ событий проводились с использованием адаптированной библиотеки программ CERN-HYDRA. Представленные результаты основаны на статистике 2780 однозначно идентифицированных событий реакции /5/. Полное число событий этой реакции равно 3086. Максимальная примесь событий с дейтронами в конечном состоянии не превышает 10%. Примесь каналов с образованием  $\pi^+$ -мезонов незначительна, т.к. импульсный спектр  $\pi$ -мезонов кончается в районе 1 ГэВ/с - в этой области протоны хорошо разделяются с  $\pi^+$ -мезонами по ионизации.

Использование пучка ускоренных ядер позволило, практически без потерь, изучить указанную реакцию, т.к. фрагменты ядер являются быстрыми, хорошо измеряются и идентифицируются.

При описании результатов все величины приводятся в системе покоя ядер  $^4\text{He}$ , ошибки в определении поперечных сечений - статистические.

### 3. РЕЗУЛЬТАТЫ

#### а/ Поперечное сечение реакции $^4\text{He} \rightarrow ppp + \text{/нейтральные/}$ .

Поперечное сечение реакции /5/ определялось исходя из полного сечения  $^4\text{He}$ -взаимодействий при 2,1 ГэВ/с:  $\sigma_{^4\text{He}} = 143,0 \pm 1,6$  мбн<sup>6/</sup>. При этом миллибарн-эквивалент трехлучевого события на магнитных лентах суммарных результатов составил  $3,40 \pm 0,06$  мкб/соб. Сечение реакции /5/ оказалось равным  $\sigma_{^4\text{He} \rightarrow ppp + \text{/нейтральные/}} = 10,29 \pm 0,19$  мб; или  $\approx 7\%$  от полного сечения  $^4\text{He}$ -взаимодействий при 8,6 ГэВ/с<sup>2/</sup>. Часть событий этого канала, имеющих импульс недостающей массы по величине больший, чем импульс любой пары протонов, мы отнесли к каналу с перезарядкой  $\sigma_{C-E} = 3,36 \pm 0,11$  мб. Остальные события реакции /5/ составили прямой канал  $\sigma_{dir} = 6,93 \pm 0,16$  мб/. На рис.1 приведены импульсные и угловые распределения протонов в прямом канале и в канале с перезарядкой. Видно отсутствие лидирующих протонов в случае перезарядки.

Проведенное деление реакции /5/ на прямой канал и перезарядку носит условный характер из-за влияния примеси реакции



/6/

Вклад реакции /6/ в прямой канал, по нашим оценкам, составил  $30 \pm 5\%$ . Такую оценку мы получили из сравнения распределений по недостающей массе в прямом канале и по эффективной массе  $pp$ -комбинаций из канала с перезарядкой, нормированных на два интервала в максимуме /рис.2/. Провести подобную оценку в канале

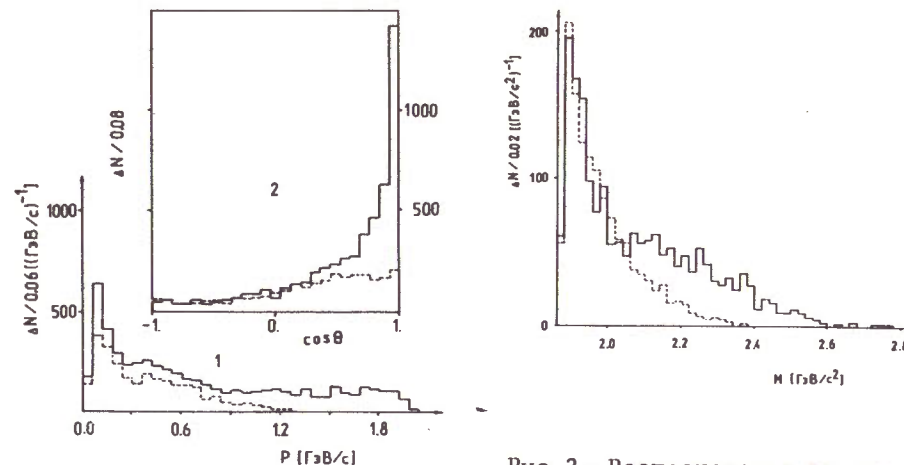


Рис.1. Импульсные /1/ и угловые распределения /2/ протонов из прямого канала /сплошная/ и канала с перезарядкой /пунктир/.

Рис.2. Распределения по недостающей массе в прямом канале /сплошная/ и эффективной массе  $(pp)$ -комбинаций из канала с перезарядкой /пунктир/.

с перезарядкой оказалось невозможным, т.к. распределение по эффективным массам  $pp$ -комбинаций из прямого канала практически совпадает с распределением по недостающим массам канала с перезарядкой. В связи с этим при рассмотрении общих характеристик реакции /5/ использовались, в основном, события прямого канала.

#### б/ Общие характеристики реакции $^4\text{He} \rightarrow ppp + \text{/нейтральные/}$

Рассмотрение общих характеристик реакции /5/ нагляднее провести, если упорядочить протоны по величине импульса. На рис.3 приведены импульсные и угловые распределения отдельно для быстрых протонов (f), протонов среднего импульса (m) и самых медленных (s) протонов из прямого канала. Заметна большая доля протонов малого импульса с максимумом 100-120 МэВ/с - спектаторные протоны. В угловом распределении им соответствует изотропная часть. Видно также, что среди трех наблюдаемых протонов мы имеем еще некоторую часть лидирующих нуклонов и нуклонов отдачи /в предположении, что мы пренебрегаем механизмом взаимодействия в конечном состоянии, продуктами распада возбужденных состояний и т.д./.

Мы попытались оценить среднее число провзаимодействовавших нуклонов ядра, предполагая равенство сечений упругого  $pp$ - и  $pn$ -рассеяний  $\sigma_{pp} = 19,8 \pm 0,7$  мб и  $\sigma_{pn} = 19,5 \pm 2,5$  мб при 2,2 ГэВ/с<sup>17/</sup>. При этом принималось во внимание, что независимо от вида взаимодействия первой, второй или третьей кратности, провзаимодействовавший нуклон становится неспектаторным.

Таблица 1

Нуклонные индексы нейтронов и протонов						
Индексы протонов	Индексы нейтронов в pp-комбинации					
	2,3	2,4	2,5	3,4	3,5	4,5
f	1	1	1	1	1	1
m	4	3	3	2	2	2
s	5	5	4	5	4	3

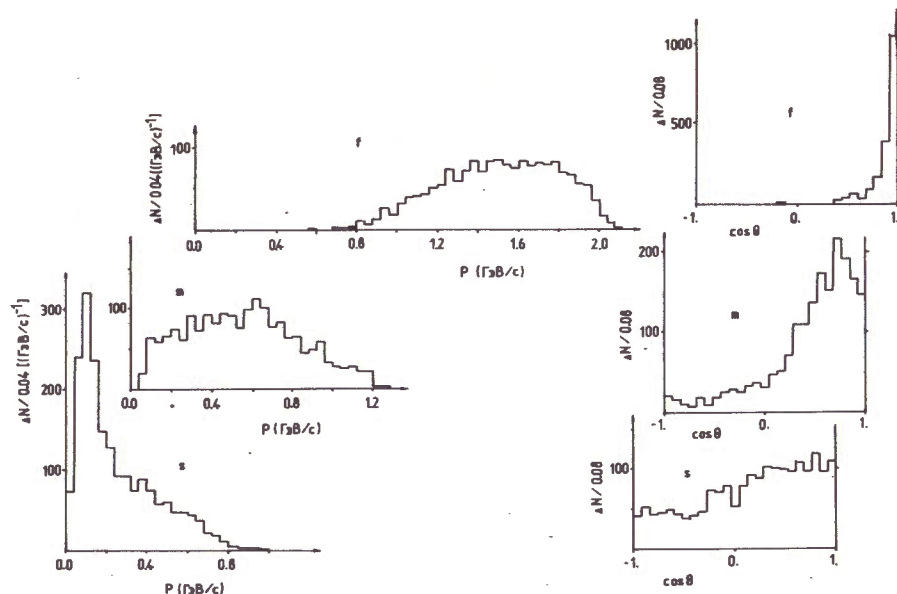


Рис.3. Импульсные и угловые распределения быстрых (f), средних (m) и медленных (s) протонов из прямого канала.

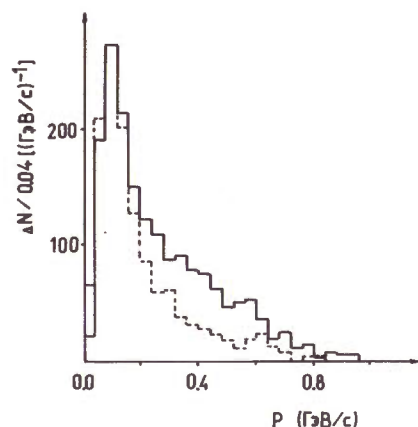


Рис.4. Импульсные спектры протонов из самой медленной pp-комбинации /сплошная/ и протонов, вылетающих в интервале  $\cos \theta [-1; -0,5]$  /пунктир/.

Оценка доли несекторных нуклонов основана на сравнении импульсных спектров протонов из самой медленной pp-комбинации /среди протонных комбинаций и недостающей массы/ со спектром протонов, вылетающих назад в интервале  $\cos \theta [-1; -0,5]$ . Считается, что последний имеет секторный вид /с точностью до неучитываемых процессов, дающих изотропный вклад/.

Оба распределения приведены на рис.4 и нормированы в максимуме. Пунктиром проведено распределение протонов, вылетающих назад. Разница в спектрах обусловлена несекторными протонами. Их доля составляет  $0,37 \pm 0,05$ .

Простая комбинаторика позволяет нам связать долю несекторных протонов в самой медленной pp-комбинации со средним числом взаимодействовавших нуклонов /см. табл. 1/. В таблице сопоставлены индексы протонов f, m, s с индексами нуклонов 1-5, упорядоченных по убыванию величины импульса. Нейтроны и протоны выступают при этом на равных правах. Таблица приведена для случая прямого канала, когда лидирующим нуклоном является протон /индекс f, нуклонный индекс -1/. Для остальных нуклонов перебираются все возможные комбинации.

Учитывая, что самая медленная комбинация двух протонов имеет наибольшую сумму индексов и что в случае равенства суммы индексов у pp- и pp-пар, для pp-комбинаций берется вес 0,5, можно оценить долю несекторных протонов для любого числа взаимодействовавших нуклонов. Так, например, самую медленную pp-комбинацию в прямой реакции будут составлять группы протонов:  $(P_4, P_5) + (P_3, P_5) + 1/2(P_3, P_4) + 1/2(P_2, P_5)$ . Если теперь предположим двухсекторный механизм, т.е. нуклоны с индексом 4 и 5 будем считать секторными, то доля несекторных протонов /индексы 2,3/ в самой медленной pp-комбинации окажется равной 1/3. Аналогичный подсчет можно провести для случаев, когда число взаимодействовавших нуклонов будет равно одному или трем.

Результат этих оценок можно представить в виде графика /рис.5/, связывающего долю несекторных протонов в спектре самой медленной pp-комбинации с числом взаимодействовавших нуклонов. Видно, что полученное в эксперименте значение числа несекторных протонов  $0,37 \pm 0,05$  соответствует на графике числу взаимодействовавших нуклонов, равному  $2,18 \pm 0,20$ .

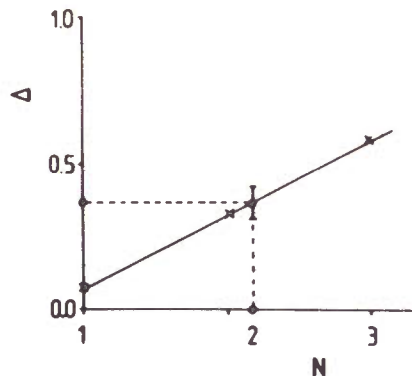
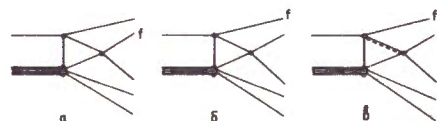


Рис.5. График зависимости доли несекторных протонов ( $\Delta$ ) от числа провзаимодействовавших нуклонов ( $N$ ).

Рис.6. Диаграммы, соответствующие двукратному рассеянию быстрого нуклона /а/, рассеянию нуклона отдачи /б/ и наличию изобары в промежуточном состоянии /в/.



Сказанное позволяет нам изобразить основную часть протекающих процессов в виде диаграмм а/ и б/, представленных на рис.6. Здесь а/ - двукратное рассеяние падающего нуклона, б/ - перерассеяние нуклона отдачи.

Следствием такого механизма реакции могут явиться азимутальные корреляции пар протонов, принадлежащих одному из актов взаимодействия. Для проверки этого предположения были построены распределения по относительному азимутальному углу двух протонов ( $f_m$ ,  $f_s$ ,  $m_s$  - см. табл.2/. Величина этого угла может меняться от 0, когда поперечные импульсы обоих протонов совпадают по направлению, до  $\pi$ -радиан, когда поперечные импульсы направлены в противоположные стороны. Величины асимметрий этих распределений, вычисленные как

$$A = \frac{\sigma(\phi > \pi/2) - \sigma(\phi < \pi/2)}{\sigma(\phi > \pi/2) + \sigma(\phi < \pi/2)},$$

приведены в табл.2 /при таком определении положительные значения  $A$  соответствуют вылету нуклонов в противоположные стороны/.

Очевидно, что в случае механизма упругого перерассеяния наиболее скоррелированными будут лидирующий протон ( $f$ ) и протон ( $m$ ), получивший наиболее переданный импульс. Корреляция, но более слабая, будет для  $f$ - и  $s$ -протонов. Данные табл. 2 не противоречат этому.

Видно, что самая сильная корреляция в прямом канале наблюдается для пар с участием лидирующей частицы ( $f$ ). Степень асимметрии для пар, включающих  $f$ -протоны, возрастает с увеличением значения переданного импульса, что отвечает диаграмме а/ на рис.6

Таблица 2

Прямой канал

Пары протонов	Асимметрия		
	все $ t $	$ t  < 0,5$ /ГэВ/с/ <sup>2</sup>	$ t  > 0,5$ /ГэВ/с/ <sup>2</sup>
$f_m$	0,54 $\pm$ 0,03	0,42 $\pm$ 0,03	0,69 $\pm$ 0,04
$f_s$	0,22 $\pm$ 0,03	0,16 $\pm$ 0,03	0,30 $\pm$ 0,03
$m_s$	0,13 $\pm$ 0,02	0,21 $\pm$ 0,03	0,01 $\pm$ 0,03

/граница разбиения по  $|t|$  выбрана из условия примерного равенства числа событий в обеих областях прямого канала/. В событиях с меньшими переданными импульсами должна возрасти роль вторичных процессов /например, взаимодействия нуклона отдачи из первого акта с нуклонами ядра и др./. Именно такую картину мы наблюдаем в прямом канале при  $|t| < 0,5$  /ГэВ/с/<sup>2</sup>, где отмечается увеличение значения асимметрии для  $m_s$ -протонов, что соответствует диаграмме б/ на рис.6.

При исследовании реакции  ${}^4\text{He} \rightarrow dppn$  было показано<sup>/4/</sup>, что в случае перезарядки азимутальные углы вылета  $m_s$ -пары нуклонов оказались сильнее скоррелированными по сравнению с прямым каналом. Это позволило авторам сделать заключение о том, что в механизме реакции  ${}^4\text{He} \rightarrow dppn$  дает заметный вклад диаграмма в/ на рис.6, т.е. сделать вывод о необходимости учета доли неупругих взаимодействий, идущих через  $\Delta_{3,3}$ -изобару в промежуточном состоянии.

В исследуемой реакции невозможно составить комбинацию протонов, в точности соответствующую предыдущему случаю /см. табл.1/. Однако возможно приближение, когда мы в прямом канале берем пару ( $m_s$ ) наиболее медленных протонов при условии, что импульс недостающей массы минимален, а в перезарядке - пару наиболее быстрых протонов ( $f_m$ ), но для области импульсов недостающей массы меньше 1,8 ГэВ/с. При этом в первом случае будут преобладать события с двумя нейтронами-спектаторами, а во втором - с одним протоном-спектатором. Проведенные таким образом оценки степени асимметрии дали следующий результат: для прямого канала  $A = 0,14 \pm 0,03$ , для канала с перезарядкой  $A = 0,35 \pm 0,03$ . Видно, что для канала с перезарядкой имеется увеличение асимметрии распределения по относительному азимутальному углу, хотя эффект, естественно, не такой сильный, как в реакции  ${}^4\text{He} \rightarrow dppn$ .

#### 4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Получено поперечное сечение реакции  ${}^4\text{He} \rightarrow \text{ppp} + \text{/нейтральные/}$  при импульсе 8,6 ГэВ/с,  $\sigma_{\text{tot}} = /10,29 \pm 0,19/$  мб. Определены сечения прямого канала и канала с перезарядкой  $/\sigma_{\text{dir}} = /6,93 \pm 0,16/$  мб и  $\sigma_{\text{C-E}} = /3,36 \pm 0,11/$  мб, соответственно. Оценено сечение полного прямого безмезонного развала ядра  ${}^4\text{He}$ :

$$\sigma_{{}^4\text{He} \rightarrow \text{pppp}}^{\text{dir}} = /4,85 \pm 0,17/ \text{ мб.}$$

Исследованы общие характеристики реакции  ${}^4\text{He} \rightarrow \text{ppp} + \text{/нейтральные/}$  и показано, что среднее число провзаимодействовавших нуклонов равно  $2,18 \pm 0,20$ . При этом механизм двукратного взаимодействия осуществляется как через двукратное рассеяние лидирующего протона на нуклонах ядра, так и через квазидвухчастичное взаимодействие нуклонов отдачи.

Усиление азимутальных корреляций протонов в реакции с перезарядкой может служить указанием на необходимость учета взаимодействий, идущих через  $\Delta_{3,3}$ -изобару в промежуточном состоянии.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Джibuти Р.И. ЭЧАЯ, 1983, т. 14, вып. 4, с. 742.
2. Glagolev V.V. et al. JINR, E1-12943, Dubna, 1979; Глаголев В.В. и др. ОИЯИ, 1-80-244, Дубна, 1980.
3. Chuvilo I.V. et al. ITER-36, 1981; Vlinov A.V. et al. ITER-130, 1981.
4. Зелински П. и др. ОИЯИ, P1-83-565, Дубна, 1983.
5. Зелински П. и др. ОИЯИ, 1-83-566, Дубна, 1983.
6. Jaros J. et al. Phys.Rev.C, 1978, 18(5), p. 2273.
7. Banary O. et al. NN, ND Interactions - a Compilation UCRL-20000 NN, 1970.

Рукопись поступила в издательский отдел  
30 марта 1984 года.

Глаголев В.В. и др. 1-84-202  
Полная дезинтеграция ядра гелия в  ${}^4\text{He}$ -взаимодействиях при 8,6 ГэВ/с

Проведен анализ механизма реакции  ${}^4\text{He} \rightarrow \text{ppp} + \text{/нейтральные/}$  при импульсе 8,6 ГэВ/с. Эксперимент выполнен на синхрофазотроне ЛВЭ ОИЯИ с помощью 100-см пузырьковой камеры. Показано, что изучаемая реакция идет, главным образом, через двукратное взаимодействие протона с нуклонами ядра  ${}^4\text{He}$ . Определено полное сечение реакции  ${}^4\text{He} \rightarrow \text{ppp} + \text{/нейтральные/}$ :  $\sigma_{\text{tot}} = /10,29 \pm 0,19/$  мб; а также оценено сечение полного прямого безмезонного развала ядра  ${}^4\text{He}$ :  $\sigma_{\text{dir}}({}^4\text{He} \rightarrow \text{pppp}) = /4,85 \pm 0,17/$  мб. Отмечено усиление азимутальных корреляций протонов в реакции с перезарядкой, что может служить указанием на необходимость учета взаимодействий, идущих через  $\Delta_{3,3}$ -изобару в промежуточном состоянии.

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1984

Перевод О.С.Виноградовой.

Glagolev V.V. et al. 1-84-202  
Total Desintegration of Helium Nucleus in  ${}^4\text{He}$ -Interactions at 8.6 GeV/c

The mechanism of the  ${}^4\text{He} \rightarrow \text{ppp} + (\text{neutral})$  reaction at 8.6 GeV/c is analysed. The experiment has been performed at JINR HEP synchrophasotron by means of the 100-cm bubble chamber. It is shown that the reaction goes mainly via double interaction of proton with nucleons of  ${}^4\text{He}$  nucleus. Total cross section of the  ${}^4\text{He} \rightarrow \text{ppp}$  (neutral) reaction is determined:  $\sigma_{\text{tot}} = (10.29 \pm 0.19)$  mb and the cross section of total direct nonmesonic desintegration of  ${}^4\text{He}$  nucleus:  $\sigma_{\text{dir}}({}^4\text{He} \rightarrow \text{pppp}) = (4.85 \pm 0.17)$  mb. The enhancement of proton azimuthal correlations in the charge exchange reaction is noticed that points to the necessity of making allowance for interactions via  $\Delta_{3,3}$  isobar in an intermediate state.

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

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1984