

31/x-83



сообщения
объединенного
института
ядерных
исследований
Дубна

5767/83

9/11-83

1-83-566

ПОЛНАЯ ДЕЗИНТЕГРАЦИЯ ЯДРА ${}^4\text{He}$
В РЕАКЦИИ ${}^4\text{He} + p \rightarrow p + p + p + p + \pi^-$

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

1983

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

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

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

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

В.В.Гладун, 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, З.Р.Ментешавили, Д.Г.Мирианшвили, М.С.Ниорадзе,
З.Р.Салуквадзе
Институт физики высоких энергий ТГУ, Тбилиси

ВВЕДЕНИЕ

При взаимодействии релятивистских ядер ${}^4\text{He}$ с протонами большая часть реакций идет как безмезонный развал ядра с различной степенью фрагментации. Это реакции ${}^4\text{He} \rightarrow {}^3\text{He}p$, ${}^4\text{He} \rightarrow {}^3\text{He}n$, ${}^4\text{He} \rightarrow ddp$, ${}^4\text{He} \rightarrow dppn$ и ${}^4\text{He} \rightarrow ppppn$. Первые три идут через квазиупругое нуклон-нуклонное рассеяние^{1,2}, реакция ${}^4\text{He} \rightarrow dppn$ главным образом - через двукратное взаимодействие. Характеристики реакции полного безмезонного развала ядра ${}^4\text{He}$ нельзя исследовать в эксклюзивной постановке, т.к. из-за наличия двух нейтронов она нефитируема. Кроме того, используемая методика не позволяет отделить канал ${}^4\text{He} \rightarrow ppppn$ от канала ${}^4\text{He} \rightarrow ppppn\pi^0$.

В общих чертах характер протекающих при полной дезинтеграции ядра ${}^4\text{He}$ процессов можно проследить на примере фитируемой /1с-фит/ реакции ${}^4\text{He} \rightarrow ppppn\pi^-$; для которой допускается полный эксклюзивный анализ. Такая попытка и сделана в настоящей работе, в предположении, что π^- -мезон рождается в отдельном нуклон-нуклонном акте и существенно не искажает корреляций между вылетающими нуклонами.

ЭКСПЕРИМЕНТ

Работа выполнена в пучке ускоренных на синхрофазотроне ЛВЭ ОИЯИ ядер ${}^4\text{He}$ с помощью 100-сантиметровой водородной пузырьковой камеры. Импульс ${}^4\text{He}$ был равен 8,6 ГэВ/с. Обработка снимков велась в лабораториях сотрудничества по стандартной процедуре. Пространственная реконструкция и кинематический анализ событий проводились по программам адаптированной библиотеки CERN-HYDRA. Представленные результаты основаны на статистике 723 событий реакции ${}^4\text{He} \rightarrow ppppn\pi^-$.

Использование пучка ускоренных ядер, когда после взаимодействия фрагменты являются быстрыми, позволило практически без потерь изучить указанную реакцию. При описании результатов все величины приводятся в системе покоя ядра ${}^4\text{He}$.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Полное сечение реакции ${}^4\text{He} \rightarrow ppppn\pi^-$ равно $1,75 \pm 0,10$ мбн, что составляет около 1,2% от полного сечения ${}^4\text{He}$ -взаимодействия при данной энергии.

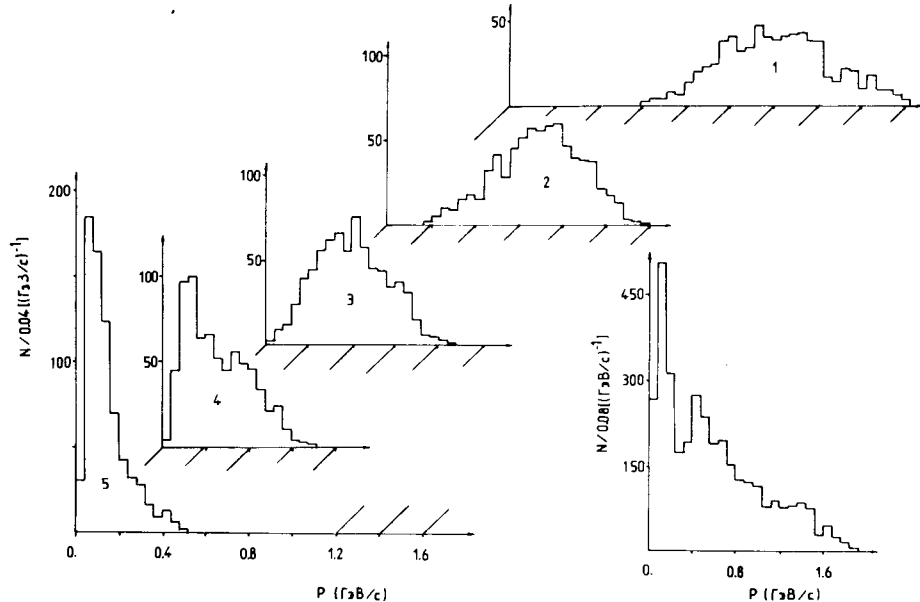


Рис.1. Импульсные спектры нуклонов из реакции ${}^4\text{He} + p \rightarrow ppppp + \pi^-$. Номерами от 1 до 5 обозначены парциальные спектры упорядоченных по величине импульса нуклонов. Отдельно приводится суммарный спектр.

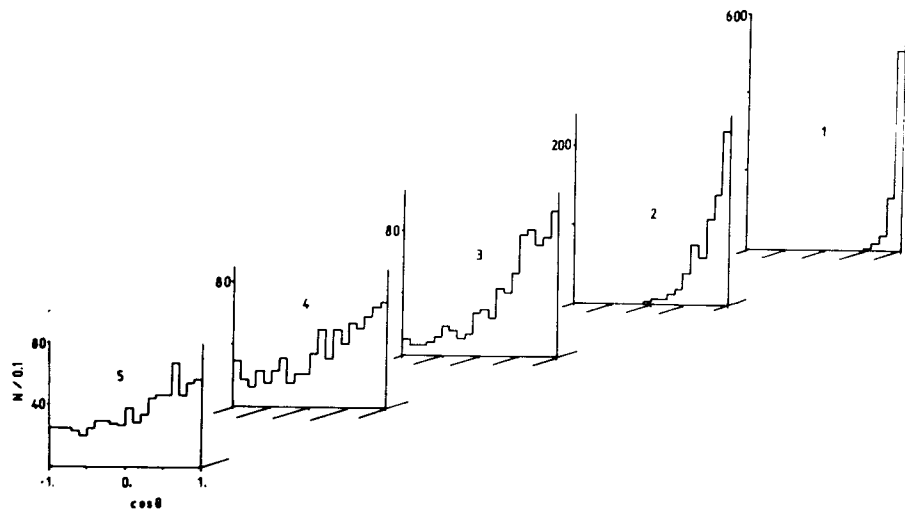


Рис.2. Распределения нуклонов, упорядоченных по величине импульса, по пространственному углу вылета.

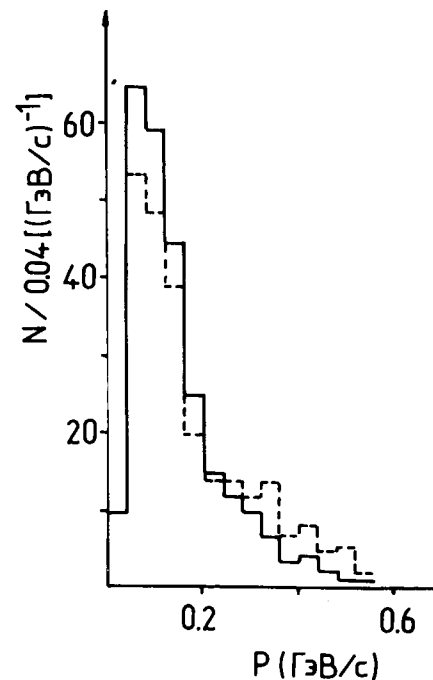


Рис.3. Импульсные спектры нуклонов: — нуклоны группы 5, - - - нуклоны из реакции ${}^4\text{He} + p \rightarrow ppppp + \pi^-$, вылетающие в интервале $\cos \theta \in [-1, 0] \div [-0,5, 0]$.

Для обсуждения особенностей реакции мы упорядочили нуклоны по величине импульса и присвоили им цифровые индексы /1-5/, начиная с самого быстрого и кончая самым медленным нуклоном. На рис.1 представлены импульсные спектры каждого из нуклонов, а также суммарный спектр. Виден непрерывный характер суммарного спектра и условность деления - парциальные спектры заметно перекрываются.

На рис.2 даны угловые распределения упорядоченных по величине импульса нуклонов, которые становятся все более изотропными

с уменьшением их среднего импульса. Если предположить, что нуклоны, вылетающие в заднюю четверть телесного угла, т.е. имеющие $\cos \theta \in [-1, 0] \div [-0,5, 0]$, где их угловое распределение изотропно, являются частицами-спектаторами, то можно попытаться сопоставить им группу самых медленных нуклонов /5/.

На рис.3 представлены отнормированные импульсные распределения всех нуклонов, вылетающих в заднюю четверть, а также нуклонов группы 5. Видно их качественное совпадение. Указанный результат позволил нам оценить долю неспектаторных нуклонов в группе 4, отнормировав части спектров групп 4 и 5 до импульса 120 МэВ/с.

Оценка показала, что в группе 4 содержится около 60% неспектаторных нуклонов. Это означает, что в 40% случаев реакция ${}^4\text{He} + p \rightarrow ppppp + \pi^-$ идет через двукратное взаимодействие /с двумя спектаторами/, а в остальных случаях и третий нуклон ядра вовлечен во взаимодействие. Сказанное можно схематично представить в виде диаграмм /рис.4/. Здесь π^- -мезон условно приписан к одному из узлов диаграммы. Следствием такого механизма реакции могли явиться азимутальные корреляции пар нуклонов, принадлежащих одному из актов взаимодействия.

Для проверки этого предположения были построены распределения по относительному азимутальному углу двух нуклонов для всех десяти возможных комбинаций. Величины асимметрий этих распре-

	I				II				III		IV	Статистическая погрешность
	I-2	I-3	I-4	I-5	2-3	2-4	2-5	3-4	3-5	4-5		
Весь ${}^4\text{He} \rightarrow \text{ppppn} \pi^-$	0.51	0.34	0.19	0.001	0.32	0.21	0.11	0.09	0.04	-0.11		± 0.04
$P_{4,5} < 200$	0.61	0.24	0.10	0.02	0.32	0.18	0.08	0.10	0.06	-0.19		± 0.06
$P_{4,5} \geq 200$	0.43	0.41	0.25	0.01	0.32	0.23	0.13	0.23	0.03	-0.06		± 0.05
$ \xi < 0.5$	0.37	0.24	0.17	0.06	0.50	0.36	0.12	0.04	0.08	-0.07		± 0.06
$ \xi \geq 0.5$	0.63	0.41	0.18	0.05	0.19	0.16	0.11	0.12	0	-0.15		± 0.05

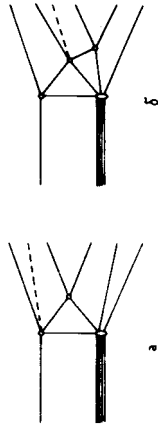


Рис. 4. Диаграммы, соответствующие двухспектраторному /а/ и односпектраторному /б/ механизмам реакции.

делений, вычисленные как

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

приводятся в таблице.

Видно, что самая сильная корреляция наблюдается для пар с участием лидирующей частицы. Величина асимметрии систематически падает с ростом индекса второго нуклона. Аналогичное поведение наблюдается и во второй группе пар нуклонов /II/, хотя и при относительно меньших величинах асимметрии.

Граничное значение импульса 200 МэВ/с связывалось с надеждой разделить события на одно- и двухспектраторные. Из таблицы видно, что действительно в случае ($P_{4,5}$) ≥ 200 МэВ/с происходит относительное увеличение корреляций для пар 1-4, 3-4, т.е. заметно вовлечение третьего нуклона ядра во взаимодействие.

В событиях с относительно меньшими переданными импульсами должна возрастать роль вторичных процессов /например, взаимодействие нуклона отдачи из первого акта, виртуальные возбужденные состояния и т.д./. Видно, что при $|t| < 0,5$ /ГэВ/с² корреляция среди пар нуклонов /1,2/ минимальная, а среди пар /2,3/ - максимальная.

Таким образом, картина двухнуклонных корреляций не противоречит предполагаемой схеме реакции.

То, что указанные корреляции носят ярко выраженный кинематический характер, видно хотя бы из того факта, что максимальная из наблюдаемых асимметрий в таблице /0,63 \pm 0,05/ близка по величине к асимметрии по относительно азимутальному углу двух протонов в квазидвухнуклонном процессе ${}^4\text{He} \rightarrow {}^3\text{He} \text{pp} \pi^-$, равной 0,65 \pm 0,04.

Мы попытались систематизировать полученные значения асимметрии в виде зависимости ее от суммы средних кинетических энергий. Указанное представление данных является инвариантным, т.к. распределения по азимутальному углу инвариантны по отношению к лоренцевой трансформации вдоль оси столкновения, а кинетическая энергия в системе фрагментирующего ядра является частным случаем инвариантной величины $b_{11} = \frac{P_1 P_1}{m_1} - m_1$, введенной в одной из работ А.М.Балдина /3/.

Результат такой систематизации приведен на рис.5 для изучаемой реакции в целом. На том же рисунке даны индексы пар нуклонов. Хорошо видно разделение групп I, II таблицы. Наибольшие корреляции связаны с группой I /кратное рассеяние лидирующей частицы/, а также с группой II /вторичные взаимодействия продуктов первого столкновения/.

В связи с наблюдением особенностей в распределениях по эффективной массе пар протонов из реакции ${}^4\text{He} \rightarrow \text{pp} \pi^-$ /4/, мы попытались искать их в тех комбинациях нуклонов реакции ${}^4\text{He} \rightarrow \text{pppp} \pi^-$

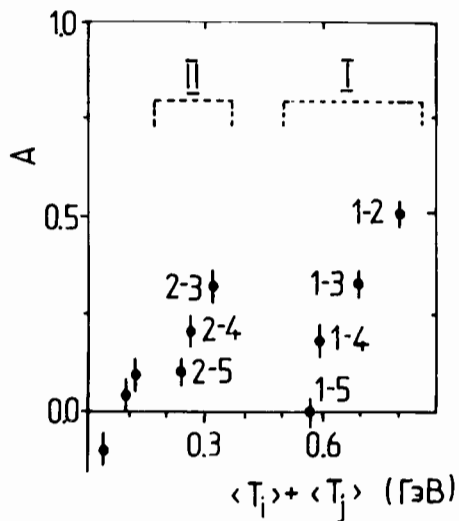


Рис.5. Зависимость асимметрии по относительному азимутальному углу пары нуклонов от суммы средних кинетических энергий. Около точек проставлены индексы нуклонов, входящих в пару.

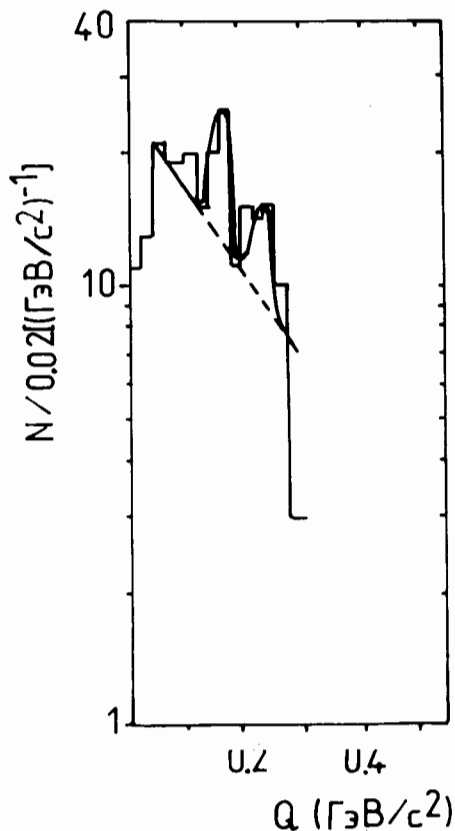


Рис.6. Распределение по величине $Q_{pp} = M_{pp} - 2m_p$ для пар протонов групп 2,4. Кривая — результат фитирования данных экспонентой с двумя функциями Брейта-Вигнера.

которые по своим характеристикам были аналогичны двум протонам из реакции ${}^4\text{He} \rightarrow dppn$. Такими были комбинации 2-3, 2-4, 3-4 в случае, когда импульсы самых медленных нуклонов /4,5/ были больше 200 МэВ/с. Этим исключались спектаторные нуклоны.

В отобранных таким образом комбинациях эффективных масс двух протонов проявляются особенности, наблюдаемые в реакции ${}^4\text{He} \rightarrow dppn$, причем наилучшим образом в паре 2-4. Результаты показаны на рис.6. Кривая соответствует сумме экспоненты и двух функций Брейта-Вигнера. Фитирование проводилось без закрепления параметров $\chi^2/N_p = 4,7/5$.

Получены следующие параметры особенностей: $M_1 = /2036 \pm 15/ \text{МэВ}/c^2$; $\Gamma_1 = /27 \pm 25/ \text{МэВ}/c^2$; превышение над фоном $4,2 \pm 1,4$ стандартных отклонений; $M_2 = /2126 \pm 15/ \text{МэВ}/c^2$; $\Gamma_2 = /41 \pm 38/ \text{МэВ}/c^2$; превышение над фоном $3,1 \pm 1,4$ стандартных отклонений.

Первая особенность хорошо совпадает со значением $/2037 \pm 15/ \text{МэВ}/c^2$, а вторая несколько сдвинута влево, что может быть следствием влияния границы фазового объема реакции.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рассмотрены некоторые особенности реакции ${}^4\text{He} \rightarrow pppn\pi^-$. На основании распределений нуклонов по углам и импульсам сделана оценка доли двухспектаторной дезинтеграции ядра ${}^4\text{He}$, которая составила около 40%.

Изучение характера парных корреляций нуклонов по относительному азимутальному углу показало, что реакция идет с участием как двух, так и трех нуклонов ядра ${}^4\text{He}$. При этом четко выделяются перерассеяние лидирующего нуклона и квазидвухчастичное взаимодействие вторичных фрагментов.

В распределении по эффективным массам двух протонов наблюдаются особенности при $/2036 \pm 15/ \text{МэВ}/c^2$ и $/2126 \pm 15/ \text{МэВ}/c^2$, т.е. там же, где и в реакции ${}^4\text{He} \rightarrow dppn$.

В заключение авторы считают своим приятным долгом поблагодарить персонал группы 100-сантиметровой водородной пузырьковой камеры ЛВЭ ОИЯИ, а также отдела обработки फिल्मовой информации ЛВТА ОИЯИ и других лабораторий сотрудничества.

Авторы благодарны В.Г.Иванову и Г.И.Лыкасову за помощь в работе и полезные обсуждения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Glagolev V.V. et al. Dubna-Kosice-Moscow-Strasbourg-Tbilisi-Warsaw Collaboration. Phys.Rev., 1978, C18, p.1382.
2. Glagolev V.V. et al. Dubna-Kosice-Moscow-Strasbourg-Tbilisi-Warsaw Collaboration. JINR, E1-12943, Dubna, 1979.
3. Балдин А.М. ДАН СССР, 1975, 222, с.1064.
4. Glagolev V.V. et al. Dubna-Kosice-Moscow-Strasbourg-Tbilisi-Warsaw Collaboration. JINR, E1-83-59, Dubna, 1983.

Рукопись поступила в издательский отдел
3 августа 1983 года.

НЕТ ЛИ ПРОБЕЛОВ В ВАШЕЙ БИБЛИОТЕКЕ?

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

ДЗ-11787	Труды III Международной школы по нейтронной физике. Алушта, 1978.	3 р. 00 к.
Д13-11807	Труды III Международного совещания по пропорциональным и дрейфовым камерам. Дубна, 1978.	6 р. 00 к.
	Труды VI Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Дубна, 1978 /2 тома/	7 р. 40 к.
Д1,2-12036	Труды V Международного семинара по проблемам физики высоких энергий. Дубна, 1978	5 р. 00 к.
Д1,2-12450	Труды XII Международной школы молодых ученых по физике высоких энергий. Приморско, НРБ, 1978.	3 р. 00 к.
	Труды VII Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц, Дубна, 1980 /2 тома/	8 р. 00 к.
Д11-80-13	Труды рабочего совещания по системам и методам аналитических вычислений на ЭВМ и их применению в теоретической физике, Дубна, 1979	3 р. 50 к.
Д4-80-271	Труды Международной конференции по проблемам нескольких тел в ядерной физике. Дубна, 1979.	3 р. 00 к.
Д4-80-385	Труды Международной школы по структуре ядра. Алушта, 1980.	5 р. 00 к.
Д2-81-543	Труды VI Международного совещания по проблемам квантовой теории поля. Алушта, 1981	2 р. 50 к.
Д10,11-81-622	Труды Международного совещания по проблемам математического моделирования в ядерно-физических исследованиях. Дубна, 1980	2 р. 50 к.
Д1,2-81-728	Труды VI Международного семинара по проблемам физики высоких энергий. Дубна, 1981.	3 р. 60 к.
Д17-81-758	Труды II Международного симпозиума по избранным проблемам статистической механики. Дубна, 1981.	5 р. 40 к.
Д1,2-82-27	Труды Международного симпозиума по поляризационным явлениям в физике высоких энергий. Дубна, 1981.	3 р. 20 к.
Р18-82-117	Труды IV совещания по использованию новых ядерно-физических методов для решения научно-технических и народнохозяйственных задач. Дубна, 1981.	3 р. 80 к.
Д2-82-568	Труды совещания по исследованиям в области релятивистской ядерной физики. Дубна, 1982.	1 р. 75 к.
Д9-82-664	Труды совещания по коллективным методам ускорения. Дубна, 1982.	3 р. 30 к.
ДЗ,4-82-704	Труды IV Международной школы по нейтронной физике. Дубна, 1982.	5 р. 00 к.

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

Зелински П. и др. 1-83-566
Полная дезинтеграция ядра ${}^4\text{He}$ в реакции ${}^4\text{He} \rightarrow pppp\pi^-$

Проведен анализ поведения корреляций пар нуклонов по относительным азимутальным углам в реакции ${}^4\text{He} \rightarrow pppp\pi^-$. Эксперимент выполнен на синхротроне ЛВЭ ОИЯИ с помощью 100-сантиметровой водородной пузырьковой камеры. Показано, что изучаемая реакция идет, главным образом, с участием как двух, так и трех нуклонов ядра ${}^4\text{He}$. Выделяются две группы взаимодействий: перерасеяние лидирующего нуклона и взаимодействие вторичных фрагментов. В распределении по эффективным массам двух протонов наблюдаются особенности при $/2036+15/$ МэВ/с² и $/2126+15/$ МэВ/с².

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1983

Zelinski P. et al. 1-83-566
Total Desintegration of ${}^4\text{He}$ Nucleus in the ${}^4\text{He} \rightarrow pppp\pi^-$ Reaction

The correlation of nucleon pairs in the ${}^4\text{He} \rightarrow pppp\pi^-$ reaction is analysed over their relative azimuthal angles. The experiment has been realised on the JINR LHE synchrotron by means of the 1m hydrogen bubble chamber. It has been found that mainly two or three nucleons of the ${}^4\text{He}$ nucleons take part in the studied reactions. The events may be divided into two groups, those with the rescattering of the leading nucleon and with the interaction of secondary fragments. Some irregularities have been observed in the two-proton effective mass distribution, one at $/2036+15/$ MeV/c² and the second at $/2126+15/$ MeV/c².

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

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1983

Перевод О.С.Виноградовой