

СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА

Г 859

P1-88-821

ИССЛЕДОВАНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ ИЗОБАРЫ
 $\Delta^{++}(1232)$ ВО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯХ
ЛЕГКИХ ЯДЕР ($p, d, {}^4\text{He}, {}^{12}\text{C}$)
С ЯДРАМИ УГЛЕРОДА И ВОДОРОДА
ПРИ ИМПУЛЬСЕ 4,2 ГэВ/с на нуклон

1988

В.Г.Гришин, Л.А.Диденко, И.А.Ивановская, Т.Канарек,
Е.Н.Кладницкая, В.Б.Любимов, К.Миллер, В.Ф.Никитина,
Я.Плюта, М.И.Соловьев, П.Тас, Р.Тогоо, А.П.Чеплаков
Объединенный институт ядерных исследований, Дубна

Е.Валса, О.Валса, В.Болдоа, Т.Понта, С.Хакман
Центральный институт физики, Вукарост

В.Вартко, М.Копальски
Институт ядерной физики, Краков, ПНР

Р.Н.Вокмирзапов, У.Д.Шоркулов
Самаркандский государственный университет

Е.Биалковска, Е.Богданович
Институт ядерных исследований, Свекр-Отвоцк, ПНР

Н.С.Григалашвили, З.В.Метревели
Институт физики высоких энергий ТГУ, Тбилиси

И.Долейши, З.Трка, Я.Тркова
Карлов университет, Прага

И.М.Равинович, М.Я.Чубарян
Ереванский физический институт

А.Н.Соломин, Г.П.Тонеева, Л.М.Щеглова
Научно-исследовательский институт ядерной физики МГУ, Москва

1. ВВЕДЕНИЕ

Цель данной работы — получить с помощью анализа спектра эффективных масс ($p\pi^+$) информацию о генерации изобары $\Delta(1232)$ в релятивистских ядро-ядерных взаимодействиях.

Вопрос о рождении барионных резонансов, в частности резонанса $\Delta(1232)$, играет важную роль при описании механизма ядро-ядерного взаимодействия. Здесь имеются в виду взаимодействия, происходящие при импульсе несколько ГэВ/с на нуклон, в нашем случае при импульсе 4,2 ГэВ/с на нуклон. Ряд авторов предполагают возникновение в области взаимодействия большого количества возбужденных нуклонов (изобар). В работах^{1/} рассмотрена также возможность скоррелированных распадов резонансов, приводящих к квазилазерному явлению рождения π -мезонов.

Экспериментальные поиски рождения изобар в ядро-ядерных взаимодействиях первоначально не давали положительных результатов, так как имевшиеся в распоряжении инклюзивные экспериментальные данные давали возможность сравнивать с теоретическими предсказаниями только импульсные и угловые спектры π -мезонов. Полученные результаты, казалось, указывали на слабую генерацию резонанса $\Delta(1232)$ в ядро-ядерных взаимодействиях.

В то же время известно, что некоторые свойства ядро-ядерных взаимодействий могут быть описаны посредством представления их как совокупность нуклон-нуклонных (N-N)-взаимодействий, а в (N-N)-взаимодействиях в области рассматриваемых энергий рождение барионных резонансов является доминирующим процессом (в частности, как механизм рождения π -мезонов). Вследствие этого можно было ожидать сильной генерации резонансов в ядро-ядерных столкновениях. В последнее время в работах^{2,3/} методом недостающих масс было обнаружено рождение резонанса $\Delta(1232)$ при взаимодействии легких ядер с импульсами в диапазоне 2-16 ГэВ/с.

При таких обстоятельствах естественно было проделать анализ, который проведен в этой работе, а именно сравнение спектра эффективных масс ($p\pi^+$), полученных для ядро-ядерных взаимодействий, со спектрами эффективных масс ($p\pi^+$) в (N-N)-взаимодействиях.

2. МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Экспериментальный материал был получен с помощью двухметровой пропановой пузырьковой камеры ЛВЭ ОИЯИ, облученной в пучках протонов, дейтронов, ядер гелия и углерода при импульсе 4,2 ГэВ/с

на нуклон. Камера находилась в магнитном поле со средней индуктивностью 1,5 Тл.

Данная работа и использованный в ней экспериментальный материал являются частью большой программы по изучению релятивистских ядро-ядерных взаимодействий, осуществляемой сотрудничеством по исследованиям на двухметровой пропановой камере.

Взаимодействия, зарегистрированные на пленке и отобранные при просмотре снимков, измерялись на полуавтоматах и затем обсчитывались с помощью соответствующих программ. В данной работе анализируются взаимодействия первичных частиц с пропаном (C_3H_8), происходящие в рабочем объеме камеры. В каждом событии измерялись все треки (4 π -геометрия) с целью определения импульсов частиц и направлений их вылета. Число неизмеренных треков составило меньше 1%. Средняя ошибка в измерении углов составляла $0,5^\circ$, а средняя относительная ошибка в определении импульса — 12%.

В работе использовались данные по протонам и π^+ -мезонам. Измерены практически без потерь треки π^+ -мезонов с импульсом более 70 МэВ/с и протоны с импульсом больше 200 МэВ/с. В области импульсов до 0,6 ГэВ/с протоны и π^+ -мезоны различались уверенно с использованием зависимости импульс — пробег — ионизация. В области 0,6–1,0 ГэВ/с часть положительно заряженных частиц (~ 50%) оставалась неразделенной. Дальнейший анализ показал, что подавляющее большинство из них являются протонами. В данной работе частицы, классифицированные как неразделенные, не использовались. (Они составляют ~ 5% от всех положительно заряженных частиц).

Все частицы с импульсом $P > 1$ ГэВ/с считались протонами. Если предположить, что импульсные распределения π^+ -мезонов и π^- -мезонов одинаковы, то можно оценить, что примесь π^+ в области $P > 1$ ГэВ/с для рассматриваемых реакций не превышает 10% всех положительных частиц.

Для построения спектров эффективных масс ($p\pi^+$) из каждого взаимодействия использовались все однозначно идентифицированные (со сделанными выше оговорками) протоны и π^+ -мезоны и брались все комбинации p и π^+ . Было проверено, что ложные комбинации не меняют форму спектра.

Все приведенные распределения нормированы на одинаковое число комбинаций, т.е. по площади, в интервале эффективных масс от 1,1 до 1,95 ГэВ.

3. РЕЗУЛЬТАТЫ

Цель этой работы — проанализировать общие свойства спектров эффективных масс ($p\pi^+$) в разных реакциях и найти ответ, рождается ли $\Delta(1232)$ в ядро-ядерных взаимодействиях. Для этого сравнивались спектры эффективных масс ($p\pi^+$) для взаимодействий ($p, d, ^4He,$

^{12}C) + C_3H_8 со спектрами эффективных масс ($p\pi^+$) в (p-p)-взаимодействиях при близком импульсе 4,0 ГэВ/с, взятыми из работы ^{4,5/}.

Распределения, представленные на рисунках 1-10, раскрывают общие черты исследуемого процесса рождения резонансов в ядро-ядерных взаимодействиях.

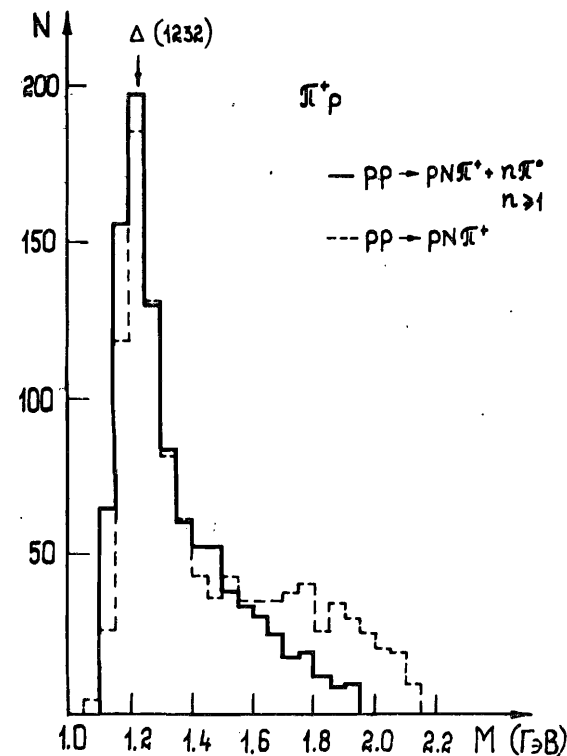
Мы не приводим здесь результатов других анализов спектра эффективных масс, которые оказались неэффективными для рассматриваемых процессов, т.е. не привели к определению сечения рождения $\Delta(1232)$; например, сравнения спектра эффективных масс с фоновым спектром, полученным путем использования протонов и π^+ -мезонов из разных событий, или фитирования спектра эффективных масс суммой общеупотребляемой фоновой функции и функцией Брейта — Вигнера, соответствующей резонансу $\Delta(1232)$ с шириной 110 МэВ.

Так как результаты нашей работы будут сравниваться с результатами, полученными на пузырьковой водородной камере, необходимо детально проанализировать и сопоставить между собой распределения, полученные в (p-p)-взаимодействиях.

На рис.1,2,3 приведены распределения по эффективным массам ($p\pi^+$) для неупругих (p-p)-взаимодействий при импульсе первичных протонов 4,0 ГэВ/с, полученные в работах ^{4,5/}.

Авторами этих работ выделены отдельные каналы реакций и установлено рождение резонанса $\Delta(1232)$ путем сравнения спектра ($p\pi^+$) со спектром ($p\pi^+$), полученным для фазового пространства. Авторы показали, что сечение рождения резонанса $\Delta(1232)$ в отдельных каналах реакции составляет от 50% до 90% сечения данного канала.

Рис.1. Сравнение спектра эффективных масс ($p\pi^+$), полученного для реакций $pp \rightarrow pp\pi^+ + n\pi^0$ ($n \geq 1$) (сплошная линия) с соответствующим распределением для реакции $pp \rightarrow pN\pi^+$ (штриховая линия).



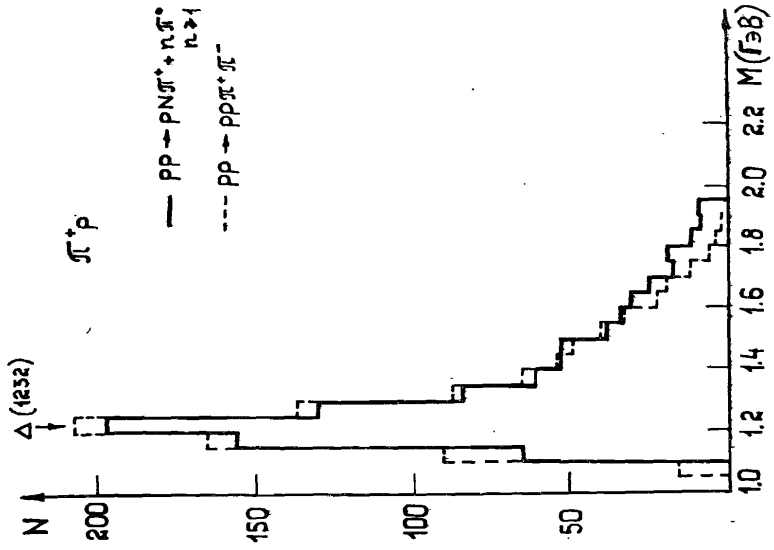


Рис.3. Спектры эффективных масс ($p\pi^+$) для взаимодействий $pp \rightarrow pN\pi^+ + n\pi^0$ ($n \geq 1$) (сплошная линия) и $pp \rightarrow pp\pi^+\pi^-$ (штриховая линия).

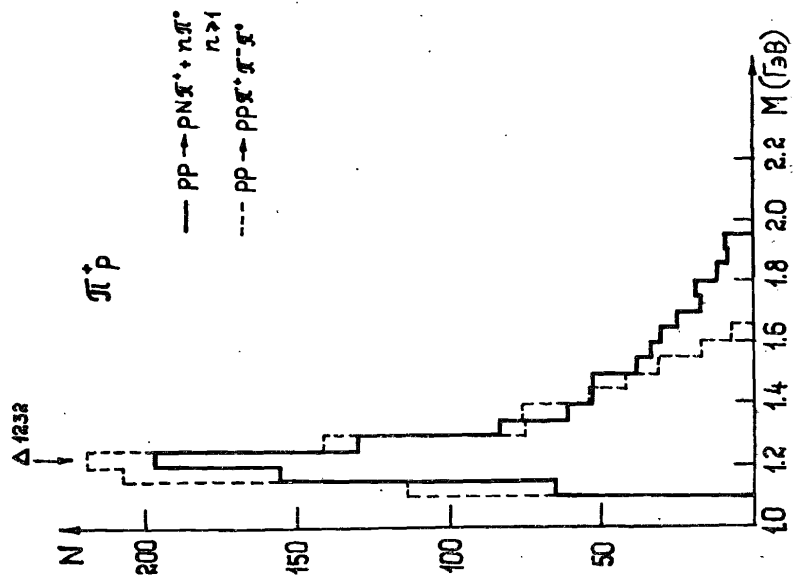


Рис.2. Спектр эффективных масс ($p\pi^+$) во взаимодействиях $pp \rightarrow pN\pi^+ + n\pi^0$ ($n \geq 1$) (сплошная линия) и во взаимодействиях $pp \rightarrow pp\pi^+\pi^-$ (штриховая линия).

На рис.1 представлены спектры ($p\pi^+$) для реакций $pp \rightarrow pn\pi^+$ (n — нейтрон) и $pp \rightarrow pn\pi^+ + m\pi^0$ ($m \geq 1$). Для реакции $pp \rightarrow pn\pi^+$ наблюдается довольно четко выраженная нерезонансная часть спектра эффективных масс в области $1,4 \div 2,3$ ГэВ. Если в такой реакции добавочно рождается один или больше π^0 -мезонов, число событий в области $1,4 \div 2,2$ ГэВ значительно уменьшается.

На рис.2 сравниваются спектры для той же реакции $pp \rightarrow pn\pi^+ + m\pi^0$ ($m \geq 1$) и реакции $pp \rightarrow pp\pi^+\pi^-$. Видно, что для последней реакции практически отсутствует нерезонансная часть спектра ($p\pi^+$).

На рис.3 приведено еще распределение ($p\pi^+$) для канала $pp \rightarrow pp\pi^+\pi^-$. Видно, что оно с хорошей точностью совпадает с уже рассмотренным распределением для реакции $pp \rightarrow pn\pi^+ + m\pi^0$ ($m \geq 1$).

Это последнее распределение выбрано нами для дальнейших сравнений со спектрами ($p\pi^+$) в ядро-ядерных взаимодействиях. По форме оно является средним среди спектров эффективных масс ($p\pi^+$) для различных каналов pp -взаимодействий.

В рассматриваемых ядро-ядерных взаимодействиях не выделялись отдельные каналы реакции, поэтому естественно для сравнения пользоваться средним распределением. Эта процедура является приближением к более точному подходу (который невозможно осуществить из-за отсутствия в литературе ряда экспериментальных данных), а именно: сложению спектров эффективных масс ($p\pi^+$) для отдельных каналов реакции нуклон-нуклон с использованием не только данных для взаимодействий протон-протон, но и протон-нейтрон и нейтрон-нейтрон.

Следует иметь в виду (это подчеркивают и авторы работ^{4,5/}), что точное определение сечения рождения $\Delta(1232)$ -резонанса в отдельном канале зависит от формы используемого фона, т.к. имеется некоторая свобода выбора формы фона.

На рис.4-7 приведено сравнение спектра эффективных масс ($p\pi^+$) для реакции $pp \rightarrow pn\pi^+ + m\pi^0$ ($m \geq 1$) со спектрами эффективных масс ($p\pi^+$) во взаимодействиях с пропаном ядер $p, d, {}^4\text{He}, {}^{12}\text{C}$.

Из рис.4 видно, что форма спектра эффективных масс ($p\pi^+$) практически не меняется при переходе от взаимодействия протона с протоном к взаимодействию протона с пропаном, т.е. когда в основном (в 67% случаев) происходит взаимодействие с ядром углерода.

Этот основной факт, как видно и из рис.5-7, имеет место и для взаимодействий других ядер с пропаном. Небольшие различия между спектрами не превышают 15% и не меняют этого основного факта. Сравнение спектров эффективных масс ($p\pi^+$) для реакции pp и для реакции $d + \text{C}_3\text{H}_8$ (рис.5), реакции ${}^4\text{He} + \text{C}_3\text{H}_8$ (рис.6), ${}^{12}\text{C} + \text{C}_3\text{H}_8$ (рис.7) показывает, что основные черты явления остаются теми же. В спектре масс ($p\pi^+$) для реакции ${}^{12}\text{C} + \text{C}_3\text{H}_8$ можно заметить небольшое увеличение числа событий в области малых масс ($1,05 \div 1,15$ ГэВ).

Следует отметить, что количественный анализ этих небольших расхождений в спектрах требует особого исследования и выходит за рамки этой работы: с экспериментальной точки зрения необходимо ввести ве-

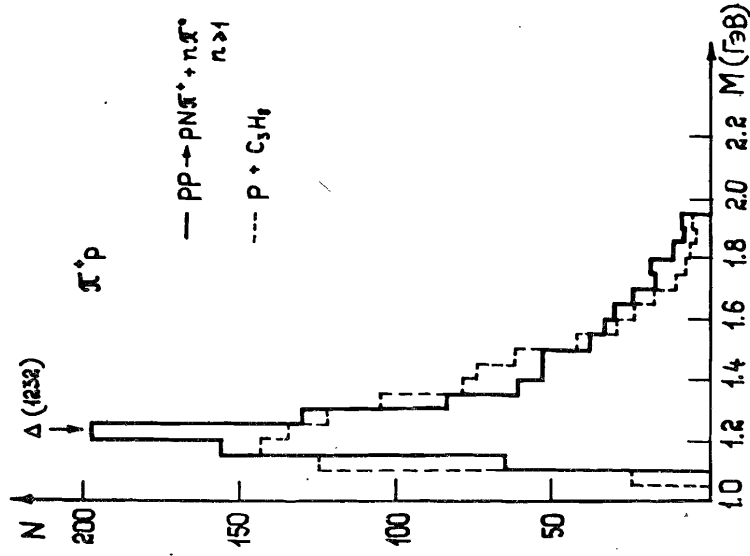


Рис. 4. Сравнение спектра эффективных масс ($p\pi^+$) для реакции $pp \rightarrow pN\pi^+ + \pi^0$ ($n \geq 1$) (сплошная линия) со спектром ($p\pi^+$). В реакции $p - C_3H_8 \rightarrow$ все каналы (штрихованная линия).

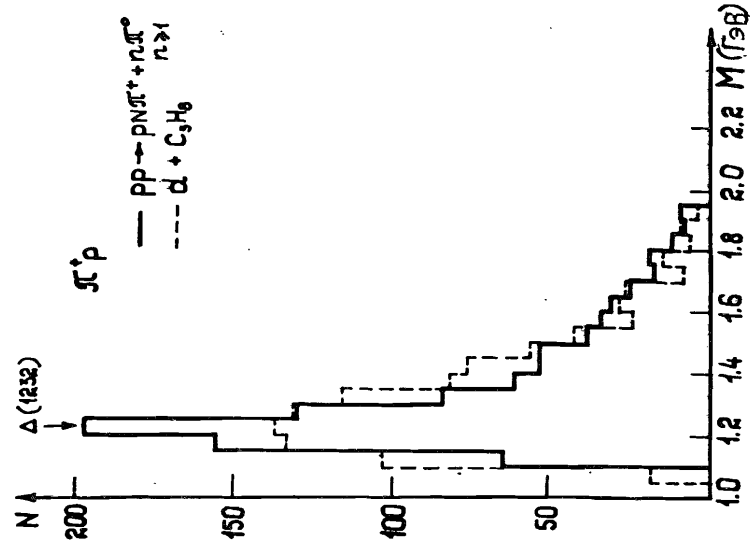


Рис. 5. Распределение эффективных масс ($p\pi^+$) в реакции $pp \rightarrow pN\pi^+ + \pi^0$ ($n \geq 1$) (сплошная линия) и в реакции $d - C_3H_8 \rightarrow$ все каналы (штрихованная линия).

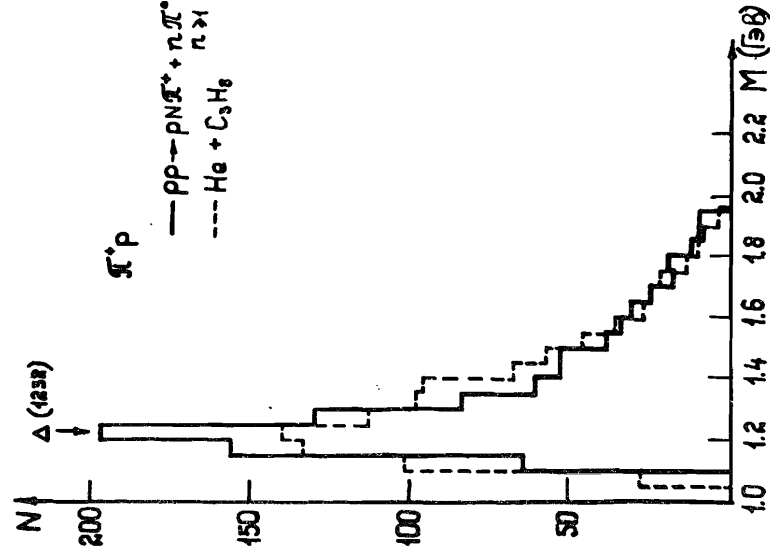


Рис. 6. Распределение эффективных масс ($p\pi^+$) в реакциях: $pp \rightarrow pN\pi^+ + \pi^0$ ($n \geq 1$) (сплошная линия) и $He - C_3H_8 \rightarrow$ все каналы (штрихованная линия).

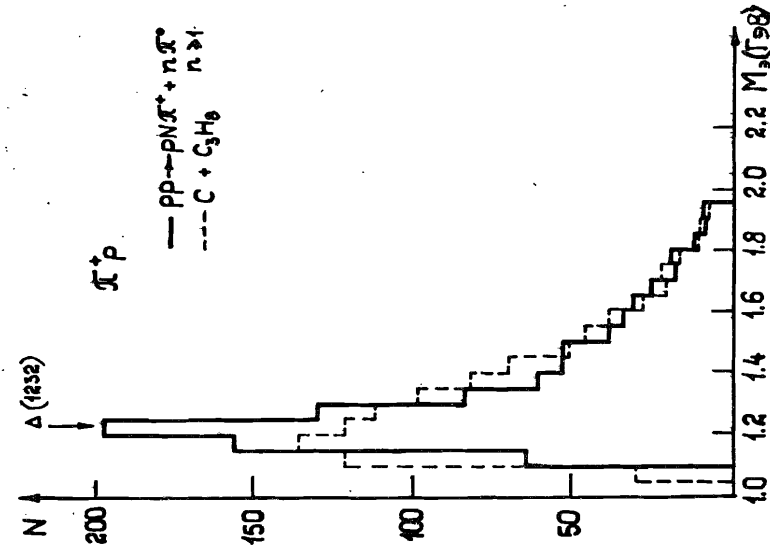


Рис. 7. Распределение эффективных масс ($p\pi^+$) в реакциях: $pp \rightarrow pN\pi^+ + \pi^0$ ($n \geq 1$) (сплошная линия) и $C - C_3H_8 \rightarrow$ все каналы (штрихованная линия).

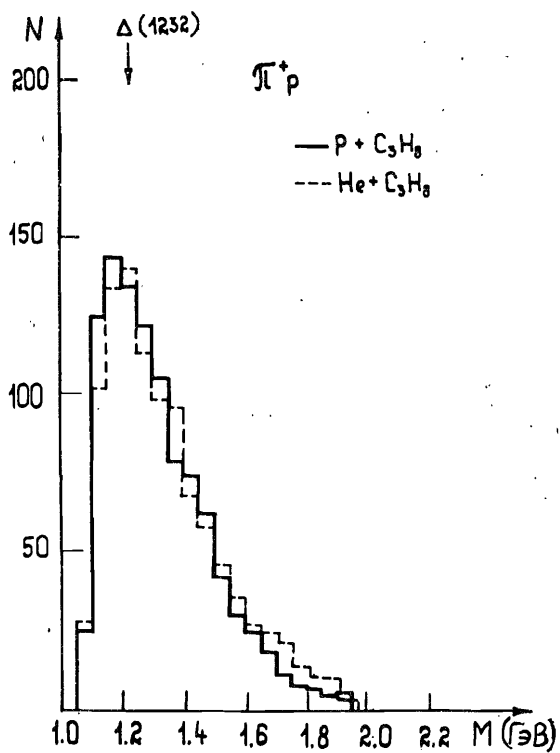


Рис.8. Сравнение спектра эффективных масс ($p\pi^+$) для реакции $p-C_3H_8 \rightarrow$ все каналы (сплошная линия) со спектром эффективных масс ($p\pi^+$) для реакции $He-C_3H_8 \rightarrow$ все каналы (штрихованная линия).

са для треков, связанные с геометрическими потерями, и включить, с соответствующими весами, неоднозначно идентифицированные треки; теоретически нужно более детально рассматривать процесс рождения и распада Δ , и перераспределения продуктов распада в зависимости от ядра-снаряда и ядра-мишени, а также в зависимости от параметра столкновения.

На рис.8-10 приведено сравнение спектра эффективных масс ($p\pi^+$) для реакции $^4He + C_3H_8$ (все каналы) со спектрами эффективных масс ($p\pi^+$) во взаимодействиях:

$p + C_3H_8$ (рис.8)

$d + C_3H_8$ (рис.9)

$^{12}C + C_3H_8$ (рис.10).

На рис.8-10 показана близость сравниваемых спектров. Сходство спектров можно было ожидать, учитывая, что спектры эффективных масс для ядро-ядерных взаимодействий, как это было показано ранее, каждый в отдельности похож на спектр для pp -взаимодействий. Сходство этих спектров является доказательством сходства процессов, лежащих в основе релятивистских взаимодействий различных легких ядер.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ, проведенный в этой работе, приводит к заключению, что механизм рождения π^+ -мезонов во взаимодействиях легких ядер при 4,2 ГэВ/с на нуклон подобен механизму рождения π^+ -мезонов в pp -

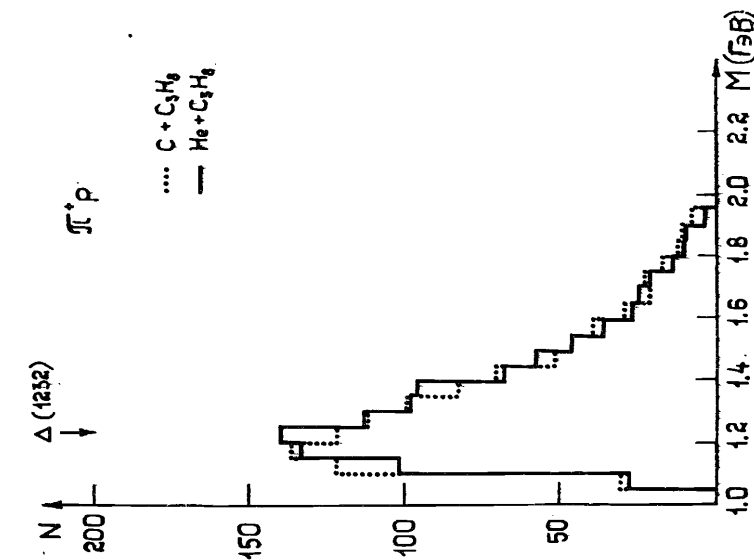


Рис.10. Распределение эффективных масс ($p\pi^+$) в реакциях: $He-C_3H_8 \rightarrow$ все каналы (сплошная линия) и $C-C_3H_8 \rightarrow$ все каналы (пунктирная линия).

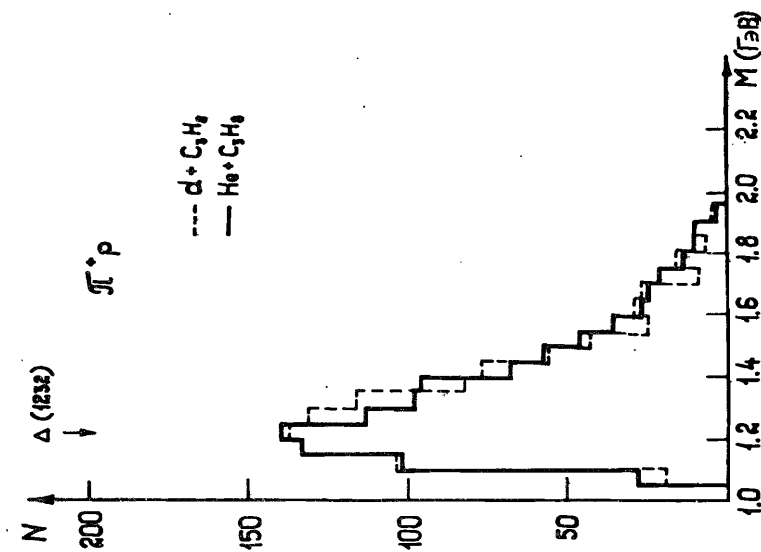


Рис.9. Распределение эффективных масс ($p\pi^+$) в реакциях: $He-C_3H_8 \rightarrow$ все каналы (сплошная линия) и $d-C_3H_8 \rightarrow$ все каналы (штрихованная линия).

взаимодействиях, где основным механизмом является рождение $\Delta(1232)$ -резонанса. Как было показано в работах^{4, 5/}, в pp-взаимодействиях не меньше 50% всех π^+ -мезонов рождается через Δ -резонанс. Общность этого процесса имеет свое подтверждение и в сходстве импульсных и угловых распределений рождаемых π^+ -мезонов при взаимодействиях различных легких ядер^{6/}.

Авторы выражают благодарность коллективу, обслуживающему двухметровую пропановую камеру, и лаборантам за проделанную большую работу по получению и обработке снимков.

ЛИТЕРАТУРА

1. Wakamatsu M. — Nuovo Cimento, 1967, 56A, p.336.
2. Аблеев В.Г. и др. — ЯФ, 1988, 48, с.27.
3. Contardo D. et al. — Phyth. Lett., 1986, 168B, p.331.
4. Coletti S. et al. — Nuovo Cimento, 1967, 49A, p.479.
5. Vodini L. et al. — Nuovo Cimento, 1968, 58A, p.475.
6. Гаспарян А.П. и др. ОИЯИ, 1-84-312, Дубна, 1984.

Рукопись поступила в издательский отдел
5 декабря 1988 года.

Гришин В.Г. и др.

P1-88-821

Исследование образования изобары $\Delta^{++}(1232)$ во взаимодействиях легких ядер ($p, d, {}^4\text{He}, {}^{12}\text{C}$) с ядрами углерода и водорода при импульсе 4,2 ГэВ/с на нуклон

Экспериментальный материал был получен с помощью двухметровой пропановой пузырьковой камеры ЛВЭ ОИЯИ, облученной в пучках протонов, дейтронов, ядер гелия и углерода при импульсе 4,2 ГэВ/с на нуклон. Данная работа и исследованный в ней экспериментальный материал являются частью большой программы по изучению релятивистских ядро-ядерных взаимодействий, осуществляемой сотрудничеством по материалам на 2-метровой пропановой камере. Анализировались взаимодействия первичных частиц с пропаном (C_3H_8). Использовались данные по протонам и π -мезонам и строились спектры эффективных масс ($p\pi^+$). Сравнивались эти спектры со спектрами эффективных масс ($p\pi^+$) в pp-взаимодействиях при том же импульсе. Проведенный анализ приводит к заключению, что механизм рождения π -мезонов во взаимодействиях легких ядер при 4,2 ГэВ/с на нуклон подобен механизму рождения π -мезонов в pp-взаимодействиях, где не меньше 50% всех π -мезонов рождается через Δ -резонанс.

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1988

Перевод О.С.Виноградовой

Grishin V.G. et al.

P1-88-821

Investigation of $\Delta^{++}(1232)$ Isobar Generation in Light Nucleus ($p, d, {}^4\text{He}, {}^{12}\text{C}$) Interactions with Carbon and Hydrogen Nuclei at 4.2 GeV/c Momentum

The experimental data have been obtained using the 2-meter propane bubble chamber of LHE, JINR irradiated by proton, deuteron, helium and carbon beams with 4.2 GeV/c momentum per nucleon. This work and studied experimental data are the part a large relativistic nucleus-nucleus collision research program realized by 2-m propane bubble chamber collaboration. Interactions of beam particles with propane (C_3H_8) were analysed. The data on protons and π -mesons were used to calculate effective mass spectra ($p\pi^+$). These spectra were compared with effective mass spectra ($p\pi^+$) obtained in pp-interactions for the same momentum. The performed analysis leads to the conclusion that the mechanism of π -generation in light nucleus interactions at 4.2 GeV/c per nucleon is similar to the mechanism of π -generation in pp-interactions in which not less than 50% of all π -mesons is generated through Δ -resonance.

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

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1988