

Ереванский физический институт

На правах рукописи

КАКОЯН ВАНИК ГАЙКОВИЧ

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ОБРАЗОВАНИЯ π^- -МЕЗОНОВ ВО
ВЗАИМОДЕЙСТВИЯХ ДЕЙТРОНОВ С УГЛЕРОДОМ И БЕРИЛЛИЕМ
ПРИ ЭНЕРГИИ 1 ГэВ НА НУКЛОН

01.04.16 - Физика ядра и элементарных частиц

А в т о р е ф е р а т

диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Ереван-1991

Работа выполнена в Ереванском физическом институте

Научный руководитель: кандидат физико-математических наук
ГУЛКАНЯН Г.Р.

Официальные оппоненты: доктор физико-математических наук
ХУДАВЕРДЯН А.Г. (ЕГУ)
кандидат физико-математических наук
МАРГАРЯН А.Т. (ЕрФИ)

Ведущая организация: Научно-исследовательский институт
ядерной физики МГУ, г.Москва

Защита состоится "___" _____ 1991 г. в "___" часов на заседании специализированного совета Д 034.03.01 при Ереванском физическом институте (г.Ереван, ул.Бр.Алиханянов, 2).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Ереванского физического института.

Автореферат разослан "___" _____ 1991 г.

Ученый секретарь специализированного совета, кандидат физико-математических наук

В.А. Шахбазян
В.А. Шахбазян

I. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Интерес к экспериментальному исследованию процессов рождения отрицательных пионов во взаимодействиях дейтронов (тритонов) с ядрами легких элементов и с протяженными мишенями связан, в первую очередь, с задачей определения оптимальных с энергетической точки зрения условий формирования пучков π^- -мезонов при применении последних в катализе ядерных реакций синтеза в смеси изотопов водорода - процесса, который может стать основой для создания одной из альтернативных способов промышленного производства энергии. До выполнения настоящей работы имелись лишь весьма скудные экспериментальные данные по изучению характеристик процессов образования π^- -мезонов при взаимодействии тяжелых изотопов водорода с легкими ядрами в области начальных энергий 1-2 ГэВ на нуклон, в которой ожидается выполнение оптимальных условий производства энергии при помощи мюонно-каталического реактора. Совершенно отсутствовали экспериментальные данные по образованию π^- -мезонов на протяженных мишенях.

Получение детальных экспериментальных данных по множественным, инклюзивным, полуинклюзивным и корреляционным характеристикам неупругих ядро-ядерных столкновений имеет также важное значение для понимания механизмов этих реакций, проверки предсказаний и уточнения теоретических моделей, описывающих процессы образования адронов во взаимодействиях ядер с ядрами и протяженными мишенями.

Целью настоящей диссертационной работы является получение первых экспериментальных данных по средним множественностям и инклюзивным (в том числе - дважды дифференциальным) спектрам π^- -мезонов во всем телесном угле их рождения при взаимодействии дейтронов с энергией 1 ГэВ на нуклон с ядрами углерода и с протяженными бериллиевой и углеродной мишенями, проверка предсказаний теоретических моделей, применяемых в расчетах оптимальных конфигураций протяженных мишеней; изучение инклюзивных спектров π^- -мезонов во фрагментационных и центральной областях dC -взаимодействий и их сравнение с теоретическими предсказаниями, основанными на "правилах счета" и с установленными ранее для вза-

имедействий более тяжелых ядер эмпирическими закономерностями; экспериментальное исследование множественных, спектральных и корреляционных характеристик π^- -мезонов и сопутствующих им адронов в полуинклюзивных реакциях dC -взаимодействий, поиск рождения адронных резонансов в этих реакциях.

Новизна и научная ценность работы.

I. Впервые измерены выходы, импульсные, угловые и дважды дифференциальные спектры π^- -мезонов во взаимодействиях дейтронов с ядрами углерода и с бериллиевой и углеродной протяженными мишенями при энергии 1 ГэВ на нуклон, экспериментально оценены энергетические затраты на рождение π^- -мезона из протяженных мишеней, получены экспериментальные оценки вкладов различных вторичных процессов поглощения и дополнительного рождения π^- -мезонов в мишенях различных размеров. Выполнено сравнение полученных данных для протяженной углеродной мишени с результатами модельных расчетов и указаны возможные пути их совершенствования.

Впервые измерены неупругое и топологические сечения dC -взаимодействия при энергии 1 ГэВ на нуклон, выполнено первое измерение сечения dBe -взаимодействия.

2. Путем сопоставления результатов измерения инклюзивных спектров π^- -мезонов с теоретическими предсказаниями, основанными на "правилах счета", впервые получено указание на возможное различие механизмов фрагментации малонуклонной (дейтрон) и многонуклонной (углерод) систем в π^- -мезоны: в области фрагментации углерода инвариантный спектр π^- -мезона согласуется с предсказанием "нуклонного правила счета", в отличие от области фрагментации дейтрона, где имеет место согласие (установленное также и в более ранних работах) с предсказанием "кваркового правила счета".

Показано, что инвариантный спектр и величина выхода π^- -мезонов в центральной области dC -взаимодействия (характеризующегося в среднем весьма ограниченным числом участвующих в столкновениях нуклонов и родившихся пионов) подчиняются установленным ранее эмпирическим закономерностям множественного рождения пионов в многонуклонных взаимодействиях более тяжелых ядер.

3. Получены первые экспериментальные данные по множественным, спектральным и корреляционным характеристикам π^- -мезона и сопровождающих его адронов (π^+ -мезонов и протонов – в том числе кумулятивных и стриппинговых) в полуинклюзивных реакциях dC -взаимодействий при энергии 1 ГэВ на нуклон. Впервые для ядро-ядерных взаимодействий получены оценки инклюзивных сечений образования Δ^0 -изобары и подпорогового рождения ρ^0 -мезона.

Практическая ценность работы заключается в следующем:

Полученные экспериментальные данные могут быть использованы: для определения оптимальных условий генерации пучков μ^- -мезонов при применении последних в мюонном катализе синтеза легких ядер; для проверки предсказаний, уточнения и детализации теоретических моделей, описывающих процессы образования адронов во взаимодействиях ядер с ядрами и протяженными мишенями; при планировании новых экспериментов (в частности, по изучению малоизученных процессов образования адронных резонансов в ядро-ядерных взаимодействиях).

Апробация работы. Вошедшие в основу диссертации работы /I-II/ были доложены на Международном симпозиуме по мюонному катализу (Гатчина, 1987 г.); на III Всесоюзном семинаре по обработке физической информации (Цахкадзор, Ереван, 1985 г.); на IV конференции молодых ученых ЕрФИ (Нор-Амберд, Ереван, 1979 г.); на Совещаниях международного сотрудничества по исследованиям на двухметровой пропановой камере ЛВЭ ОИЯИ; на научных семинарах ЕрФИ.

Публикации. Основное содержание работы опубликовано в журнале "Muon Catalyzed Fusion", в препринтах и сообщениях ЕрФИ и ОИЯИ, в сборнике "Математические вопросы кибернетики и вычислительной техники".

Объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав и заключения, содержит 128 страниц машинописного текста, включая 55 рисунков и 18 таблиц. Список литературы содержит 55 наименований.

Автор защищает:

I. Результаты обработки и анализа более 10 тысяч событий взаимодействия дейтронов с энергией 1 ГэВ на нуклон в про-

пане и в углеродной и бериллиевой протяженных мишенях.

2. Экспериментальные данные, полученные при измерении неупругого и топологических сечений dC -взаимодействий при 1 ГэВ на нуклон, средней множественности, импульсных, угловых и дважды дифференциальных распределений, инвариантных спектров π^- -мезонов в этих взаимодействиях.

3. Экспериментальные данные, полученные при исследовании множественных, спектральных и корреляционных характеристик π^- -мезонов и сопутствующих им адронов в полунклюзивных реакциях dC -взаимодействий при 1 ГэВ на нуклон.

4. Экспериментальные данные, полученные при измерении: неупругого сечения dBe -взаимодействия, выходов, импульсных, угловых и дважды дифференциальных распределений π^- -мезонов, образованных при облучении протяженных мишеней из углерода и бериллия пучком дейтронов с энергией 1 ГэВ на нуклон; вкладов вторичных процессов поглощения и дополнительного рождения π^- -мезонов в протяженной пропановой мишени при ее облучении пучком дейтронов.

II. СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обосновывается актуальность проведенных исследований, сформулирована цель диссертационной работы, научная новизна и ценность полученных результатов, приведено краткое содержание диссертации.

В первой главе диссертации описаны методические вопросы получения и обработки экспериментальных данных.

Экспериментальный материал был получен при помощи двухметровой пропановой пузырьковой камеры ЛВЭ ОИЯИ, заполненной пропаном (C_3H_8), плотность которого равна 0.43 ± 0.01 г/см³. Часть экспериментального материала получена при помещении в объеме камеры углеродной (длина 30 см, диаметр 10 см, плотность 1.73 г/см³) или бериллиевой (длина 28 см, диаметр 6 см, плотность 1.848 г/см³) мишени, направление оси которой примерно совпадает с направлением пучка. Камера помещена в магнитном поле с напряженностью $H = 15$ кГс. Камера экспонировалась в пучках дейтронов на синхрофазотроне ОИЯИ при первичном

импульсе 1.7 ГэВ/с на нуклон (кинетическая энергия 1 ГэВ на нуклон). Приводятся общие характеристики камеры и системы фотографирования.

Просмотр стереоснимков и регистрация событий взаимодействия дейтронов в пропане и в углеродной и бериллиевой протяженных мишенях проводились на столах БПС-75. Отобранные события с рождением π^- -мезонов измерялись на полуавтоматах типа ПУОС-1, работающих в линию с ЭВМ М-6000. Описано созданное программное обеспечение автоматизированной системы измерения и предварительного анализа событий на базе мини-ЭВМ М-6000. Математическая обработка измеренных событий производилась с помощью программы геометрической реконструкции ГЕОФИТ на ЭВМ БЭСМ-6. Описан процесс подготовки ленты суммарных результатов, содержащей более 4 тысяч событий рождения π^- -мезонов.

Во второй главе проведено детальное исследование множественных и спектральных характеристик π^- -мезонов при взаимодействии дейтронов в пропане и с ядрами углерода.

Измерены средняя длина взаимодействия дейтронов в пропане $L = (84.0 \pm 1.4)$ см и соответствующее ей сечение $\sigma_{d(C_3H_8)} = (2027 \pm 58)$ мб, а также топологические сечения и средняя множественность π^- -мезонов $\langle n_{\pi^-} \rangle_{d(C_3H_8)} = 0.125 \pm 0.006$ в $d(C_3H_8)$ -взаимодействиях. Воспользовавшись известными данными по $p d$ -взаимодействиям, определены: полное неупругое $\sigma_{dC} = (425 \pm 21)$ мб и топологические сечения dC -взаимодействия, средние множественности заряженных частиц $\langle n_{ch} \rangle = 2.74 \pm 0.05$ и π^- -мезонов $\langle n_{\pi^-} \rangle_{dC} = 0.163 \pm 0.013$, полное инклюзивное сечение рождения π^- -мезонов $\sigma_{\pi^-(dC)} = (68.9 \pm 4.4)$ мб в dC -взаимодействиях.

В событиях с рождением π^- -мезона примерно 13% событий происходит на водороде. Водородные события (имеющие четырехлучевую топологию) идентифицировались путем кинематического анализа. В дальнейшем применялся известный статистический метод исключения их вклада при изучении характеристик dC -взаимодействий с рождением π^- -мезона.

На рис. 1а-1в показаны результаты измерения импульсного, углового и энергетического спектров π^- -мезонов в dC -взаимодействиях (двухмерное распределение энергия-угол вылета

приведено в этой же главе диссертации). Средние значения этих распределений представлены в табл. I. Зависимости среднего импульса от угла вылета и среднего угла от импульса π^- -мезона приведены на рис. 2а и 2б. Распределение по P_T^2 π^- -мезона (рис. 3) имеет приблизительно экспоненциальную форму с параметром наклона $\beta = (24.5 \pm 0.7) (\text{ГэВ}/c)^{-2}$; при фиксированных значениях продольного импульса P_L параметр наклона распределения по P_T^2 заметно зависит от P_L (табл. 2). На рис. 4 показано распределение по фейнмановской переменной $x = (P_{ii}^* / P_{max}^{NN})$ в с.ц.м. NN -взаимодействия; это распределение в областях $-1 < x < 0$ и $0 < x < 1$ может быть аппроксимировано зависимостью $\sim (1 - |x|)^n$ с показателями, соответственно, $n = 0.99 \pm 0.07$ и $n = 1.17 \pm 0.08$. Показано, что распределения по P_T^2 и по переменной x в dC -взаимодействиях обнаруживают более медленное падение, чем следует из данных (полученных в Дубне) по nP -взаимодействиям (рис. 3 и 4); такое различие может быть обусловлено Ферми-движением внутриядерных нуклонов и эффектом перерасеяния π^- -мезонов в ядрах (в основном, в углероде).

На рис. 5 приведены инвариантный и неинвариантный спектры π^- -мезонов при углах $\vartheta_{u.u.} = 90^\circ \pm 20^\circ$ (в с.ц.м. NN -взаимодействия), которые могут быть аппроксимированы экспоненциальной зависимостью с обратным параметром наклона, соответственно, $T_0 = (75 \pm 3) \text{ МэВ}$ и $T_v = (59 \pm 2) \text{ МэВ}$. Как было установлено ранее, инклюзивные спектры пионов, образованных в центральной области ($\vartheta_{u.u.} \sim 90^\circ$) столкновения более тяжелых ядер, имеют универсальный (не зависящий от атомных весов сталкивающихся ядер) вид, обусловленный многонуклонным характером взаимодействия, при котором возможно образование уплотненного, сильнонагретого ядерного вещества с "пионной температурой" T_v (в большинстве работ приводятся результаты измерения инвариантного спектра, характеризующегося наклоном T_0). Как показывает сравнение (рис. 6) наших данных с результатами измерения параметра T_0 в многонуклонных столкновениях более тяжелых ядер ($12 \leq A \leq 207$), универсальность спектра пионов сохраняется и для dC -взаимодействий, характеризующихся весьма ограниченным числом участвующих в столкновениях внутриядерных нуклонов и родившихся

пионов (при рассматриваемой начальной энергии рождается в основном один пион). Отсюда можно заключить, что энергетический спектр центральных пионов является более общей характеристикой процесса пионообразования в ядерных столкновениях, не требующей предположения о необычных свойствах возбужденной ядерной материи.

Определенной эмпирической закономерности подчиняется и величина дифференциального сечения $d\sigma/d\Omega$ образования пионов при $\vartheta_{u.u.} \sim 90^\circ$. Как установлено в ряде экспериментов по ядро-ядерным и протон-ядерным взаимодействиям при энергиях $T_{\text{пучк.}} \geq 400 \text{ МэВ}$, $d\sigma/d\Omega$ пропорционально скейлинговому фактору $(A \cdot B)^{2/3}$ (A и B - атомные веса сталкивающихся ядер) и монотонно растет с ростом $T_{\text{пучк.}}$ (рис. 7). Приведенные на том же рисунке наши данные показывают, что скейлинговый характер сечения образования пионов имеет место и для взаимодействий легчайших ядер (dC).

На рис. 8а и 8б приведены инвариантные спектры π^- -мезонов, вылетающих под малыми углами ($\vartheta < 20^\circ$, соответственно, в лабораторной и антилабораторной системах отсчета), в зависимости от скейлинговой переменной $x' = (P_{ii}^* / P_{max}^{AB})$, где P_{ii}^* - продольный импульс и P_{max}^{AB} - максимально возможный импульс пиона в общей с.ц.м. dC -столкновения. В соответствии с теоретическими предсказаниями, поведение инвариантных спектров в областях фрагментации ядер определяется характером короткодействующих нуклон-нуклонных сил в ядрах и при достаточно больших значениях $|x'|$ может быть представлено зависимостью

$$G^{inv}(x') \sim (1 - |x'|)^n \quad (I)$$

Если рассматривать внутриядерные нуклоны в качестве бесструктурных точечных объектов, то для показателя n предсказывается для областей фрагментации дейтрона и углерода, соответственно, $n_d = 5$ и $n_c = 25$ ("нуклонное правило счета"), в то время как при учете кварковой структуры нуклона ожидается $n_d = 9$ и $n_c = 69$ ("кварковое правило счета").

Приведенный на рис. 8а инвариантный спектр в области фрагментации дейтрона при $|x'| > 0.15$ или $|x'| > 0.20$ описывается зависимостью (I) с показателем, соответственно,

$n_d = 8.7 \pm 0.9$ и $n_c = 10.1 \pm 0.9$, согласующимся с "правилом кваркового счета" (на том же рисунке для сравнения приведены данные, полученные в Беркли). В области же фрагментации углерода (рис. 8б) при $|x'| > 0.02$ или $|x| > 0.05$ фитированное значение показателя $n_c = 21.7 \pm 1.3$ или $n_c = 24.5 \pm 1.8$, соответственно, находится в сильном противоречии с предсказанием "кваркового правила счета" и в пределах ошибок согласуется с предсказанием "нуклонного правила счета". Этот результат указывает на различие механизмов фрагментации в пион малонуклонных (d) и многонуклонных (C) систем.

В третьей главе исследуются множественные, спектральные и корреляционные характеристики полуинклюзивных процессов

$$dC \rightarrow \pi^- h X$$

где h означает тип сопровождающегося адрона ($h \equiv \pi^-$ и π^+ -мезоны, протон, в том числе кумулятивный \bar{p} и стриппинговый p_s). Для средних множественностей сопутствующих π^- -мезону адронов получено: $\langle n_{\pi^-} \rangle = 0.032 \pm 0.006$, $\langle n_{\pi^+} \rangle = 0.177 \pm 0.014$, $\langle n_p \rangle = 3.10 \pm 0.05$ (порог регистрации протона ~ 140 МэВ/с), $\langle n_{\bar{p}} \rangle = 0.30 \pm 0.02$.

Показано, что импульсные и угловые распределения π^- и π^+ -мезонов в полуинклюзивной реакции

$$dC \rightarrow \pi^- \pi^+ X \quad (2)$$

в пределах ошибок совпадают, что ожидалось в силу изотопической инвариантности сильных взаимодействий. В реакции (2) π^- -мезоны в среднем обладают меньшими импульсами ($\langle P_{\pi^-} \rangle = (0.258 \pm 0.013)$ ГэВ/с, $\langle P_{\pi^+} \rangle = (0.033 \pm 0.003)$ (ГэВ/с)²) и вылетают под большими углами ($\langle \mathcal{J}_{\pi^-} \rangle = 63.9 \pm 3.3^\circ$), чем в инклюзивном канале $dC \rightarrow \pi^- X$ (см. табл. I). В распределении по эффективной массе $M_{\pi^-\pi^+}$ в реакции (2) наблюдается превышение над фоновым распределением в области $0.75 < M_{\pi^-\pi^+} < 0.84$ ГэВ/с² (рис. 9), что может быть интерпретировано как подпороговое рождение ρ^0 -мезона с сечением $\sigma_{\rho^0} = (0.26 \pm 0.14)$ мб; соответствующая оценка средней множественности ρ^0 -мезона на одно неупругое dC -взаимодействие равна $\langle n_{\rho^0} \rangle = (6 \pm 3) \cdot 10^{-4}$.

Измерены полуинклюзивные спектры π^- -мезонов в

реакции

$$dC \rightarrow \pi^- \bar{p} X, \quad (3)$$

сопровождающейся кумулятивным (вылетающим назад в л.с.к.) протоном, и в реакции

$$dC \rightarrow \pi^- p_s X, \quad (4)$$

сопровождающейся образованием протона с импульсом $P_p > 1.2$ ГэВ/с и углом вылета $\mathcal{J}_p < 6^\circ$ (основная часть таких протонов является стриппинговыми). Средние значения импульсов π^- -мезонов в этих реакциях на (7-9)% меньше, а средние углы вылета лишь незначительно больше, чем в инклюзивном канале.

Инвариантные спектры по энергии протонов в полуинклюзивной реакции

$$dC \rightarrow \pi^- p X \quad (5)$$

представлены на рис. 10. При малых углах ($\mathcal{J}_p < 6^\circ$) основной вклад в спектр дают стриппинговые протоны (рис. 10а). При сравнительно больших углах в передней полусфере спектры описываются суммой двух экспонент (рис. 10б), а в задней полусфере ($\mathcal{J}_p > 90^\circ$) — одной экспонентой (рис. 10б и 10в). Обратные параметры наклона спектров для различных угловых интервалов представлены в табл. 3. Видно, что с увеличением угла параметр наклона T , уменьшается от ~ 40 МэВ до ~ 20 МэВ.

Исследован ряд корреляционных характеристик между π^- -мезоном и протоном в реакции (5). Наблюдена небольшая, но статистически обеспеченная корреляция между азимутальными углами пиона и протона в поперечной плоскости, по-видимому, обусловленная законом сохранения поперечного импульса. Между частотами π^- -мезона и протона не наблюдается статистически обеспеченных корреляций.

На рис. 11 приведено распределение по эффективной массе системы $(\pi^- p)$, обладающей суммарным продольным импульсом $(\vec{P}_{\pi^-} + \vec{P}_p)_\parallel > 0$ в с.ц.м. NN -взаимодействия. При этом малоэнергичные протоны с $P < 0.2$ ГэВ/с (основную часть которых составляют "испарительные" протоны) и стриппинговые протоны с $P > 1.4$ ГэВ/с и $\mathcal{J} < 4^\circ$ исключались из рассмотрения. Экспериментальное распределение в области $M_{\pi^- p} > 1149$ МэВ аппроксими-

мировалось выражением

$$dG/dM \sim F_p(M)[1 + a F_{\text{res}}(M)],$$

где фоновое распределение параметризовалось в виде $F_p(M) \sim \exp(-bM)$, (такая параметризация выбиралась исходя из вида распределения, получаемого путем "перемешивания" треков π^- -мезонов и протонов из разных событий), а вклад резонанса $F_{\text{res}}(M)$ — кривой Брейта-Вигнера. Масса M_0 и ширина Γ_0 резонанса рассматривались как свободные параметры.

Результаты фита представлены на рис. II, где показан также вклад резонанса, составляющий $(20 \pm 14)\%$ от площади фитуемого экспериментального распределения. Подогнанное значение ширины равно $\Gamma_0 = (105 \pm 72)$ МэВ, а значение массы $M_0 = (1289 \pm 19)$ МэВ превышает табличное значение массы Δ^0 -изобары. Последнее обстоятельство может быть связано с перерассеянием продуктов распада изобары в ядре углерода, приводящим к увеличению среднего угла между ними, т.е. к сдвигу эффективной массы в сторону больших значений. Исходя из результатов фита, получены оценки для инклюзивного сечения (при $X_F > 0$) образования Δ^0 -изобары $\sigma_{\Delta^0}(X_F > 0) = (26 \pm 18)$ мб и ее средней множественности в неупругих dC -взаимодействиях, $\langle n_{\Delta^0}(X_F > 0) \rangle = 0.06 \pm 0.04$.

В четвертой главе представлены результаты измерения выходов и спектральных характеристик π^- -мезонов во взаимодействиях дейтронов с протяженными углеродной и бериллиевой мишенями при 1 ГэВ на нуклон.

Измерено неупругое сечение dBe -взаимодействия: $\sigma_{dBe}^{\text{in}} = (359 \pm 18)$ мб. Измеренные неупругие сечения dC и dBe -взаимодействий согласуются с эмпирической зависимостью $\sigma_{A_p A_t}^{\text{in}} = 78 \cdot (A_p^{1/3} + A_t^{1/3} - 1.25)^2$ мб (рис. I2), установленной ранее в экспериментах в Беркли. Для выходов π^- -мезонов на одно налетающее на мишень ядро дейтерия получено: для углеродной мишени $\langle n_{\pi^-} \rangle_c = 0.121 \pm 0.007$ и для бериллиевой мишени $\langle n_{\pi^-} \rangle_{Be} = 0.135 \pm 0.012$, а на один провзаимодействовавший в мишени дейтрон $\langle n_{\pi^-} \rangle_{dC}^{\text{in}} = 0.173 \pm 0.010$ и $\langle n_{\pi^-} \rangle_{dBe}^{\text{in}} = 0.190 \pm 0.018$, соответственно. Энергетические затраты на рождение одного π^- -мезона составляют, соответственно, (16.5 ± 1.1) ГэВ и (14.8 ± 1.3) ГэВ. Сравнение $\langle n_{\pi^-} \rangle_{dC}^{\text{in}}$ с измеренной выше средней множественностью π^- -ме-

зонов во взаимодействиях дейтрона с ядром углерода, $\langle n_{\pi^-} \rangle_{dC} = 0.163 \pm 0.013$, показывает, что суммарный вклад вторичных процессов поглощения и дополнительного рождения π^- -мезонов в протяженной мишени незначителен. Для получения более детальной информации об этих процессах выполнен специальный просмотр снимков с пропановой камеры (без размещения ее в объеме мишени) для двух конфигураций пропановой мишени, имеющей продольный размер 16 Г/см^2 и 26.6 Г/см^2 . Было установлено, что вклад вторичных процессов поглощения π^- -мезонов (остановка в эффективном объеме, перезарядка или поглощение на лету) составляет, соответственно, $(9.6 \pm 1.5)\%$ и $(13.8 \pm 2.2)\%$ от среднего числа π^- -мезонов, образованных в первичном акте $d(C_3H_8)$ -взаимодействий, а вклад вторичных процессов рождения π^- -мезонов (в результате взаимодействия стриппингового протона или нейтрона) составляет, соответственно, $(8.0 \pm 1.5)\%$ и $(13.4 \pm 2.8)\%$. Как видно, вклады этих процессов (для мишеней рассматриваемых размеров) практически полностью компенсируют друг друга.

На рис. I представлены импульсные, угловые и энергетические спектры вылетающих из мишеней π^- -мезонов (двухмерные распределения энергия-угол вылета приведены в этой же главе диссертации, а для углеродной протяженной мишени — также и на рис. I3). Средние значения этих распределений приведены в табл. I. Для сравнения на рис. I и I3 и в табл. I приведены также данные для взаимодействия дейтронов с ядром углерода. Сравнение данных по dC и $dC_{\text{мишень}}$ -взаимодействиям показывает, что влияние мишени рассматриваемых размеров на угловые распределения не очень существенно (рис. I6), но приводит к некоторому сдвигу импульсного (рис. Iа) и энергетического (рис. Iв) распределений в сторону меньших значений (см. также табл. I), особенно при малых углах вылета пионов (рис. I3). Влияние мишени проявляется также в более крутом падении распределения по P_T^2 (см. табл. I и 2).

Выполнено сравнение данных для углеродной протяженной мишени с расчетами по разработанной в ЛИЯФ теоретической модели. В модели учитываются последовательные взаимодействия нуклонов налетающего ядра, а также ядерное поглощение π^- -мезонов (захват или перезарядка) в протяженной мишени. Расчетное зна-

чение выхода π^- -мезонов $\langle n_{\pi^-} \rangle_C^{расч.} = 0.13$ оказалось несколько больше экспериментально измеренного значения $\langle n_{\pi^-} \rangle_C = 0.121 \pm 0.007$ (см. выше), что, по-видимому, обусловлено неучетом потерь малоэнергичных пионов, останавливающихся в мишени. В целом неплохо согласуются и одномерные спектры по энергии (рис. 1в), углу вылета (рис. 1б). Расчетная зависимость среднего импульса от угла (рис. 2а) и особенно среднего угла от импульса (рис. 2б) получается более сильной, чем наблюдается на опыте. Разногласия между моделью и экспериментом заметнее проявляются для дважды дифференциальных спектров (рис. 1з), особенно в области малых углов. Указанные разногласия, по всей вероятности, связаны с тем, что в модели не учитываются ионизационные потери π^- -мезонов и процессы их рассеяния (не сопровождающиеся поглощением или перезарядкой) в протяженной мишени, а также Ферми-движением внутриядерных нуклонов. Для иллюстрации влияния ионизационных потерь π^- -мезонов выполнены расчеты (по методу Монте-Карло), в которых в качестве исходного использовались дважды дифференциальные спектры π^- -мезонов в dC -взаимодействиях. Как видно из рис. 1з, учет ионизационных потерь несколько улучшает согласие с экспериментом.

На основе сравнения экспериментальных данных с расчетами даны рекомендации для улучшения теоретической модели, описывающей процессы образования π^- -мезонов из протяженных мишеней.

В заключении сформулированы основные результаты и выводы, полученные в диссертации.

Таблица 1
Средние кинематические характеристики π^- -мезонов

Тип взаимодействия	$d(C_3H_8)$	dC	$dC_{мишень}$	$dBe_{мишень}$
$\langle P_{\pi^-} \rangle$ (ГэВ/с)	0.309 ± 0.004	0.307 ± 0.005	0.272 ± 0.004	0.276 ± 0.004
$\langle \vartheta_{\pi^-} \rangle$ (град.)	57 ± 1	57 ± 1	56 ± 1	62 ± 1
$\langle \cos \vartheta_{\pi^-} \rangle$	0.473 ± 0.013	0.457 ± 0.019	0.499 ± 0.012	0.405 ± 0.015
$\langle P_{\pi^-}^2 \rangle$ (ГэВ/с) ²	0.043 ± 0.001	0.043 ± 0.001	0.037 ± 0.001	0.038 ± 0.001

Таблица 2
Параметр наклона (в единицах $(ГэВ/с)^{-2}$) спектра по $P_{\pi^-}^2$ для разных интервалов по R

Тип взаимодействия P_{π^-} (ГэВ/с)	$d(C_3H_8)$	dC	$dC_{мишень}$	$dBe_{мишень}$
$P_{\pi^-} < 0$	41.6 ± 2.6	35.9 ± 2.5	45.0 ± 3.8	44.7 ± 3.2
$P_{\pi^-} = 0 \pm 0.1$	30.9 ± 1.9	29.6 ± 1.9	43.6 ± 3.5	37.2 ± 2.9
$P_{\pi^-} = 0.1 \pm 0.2$	28.2 ± 1.7	29.2 ± 1.9	36.2 ± 2.4	31.5 ± 2.6
$P_{\pi^-} = 0.2 \pm 0.35$	20.4 ± 1.4	19.6 ± 1.4	25.6 ± 1.7	25.3 ± 2.3
$P_{\pi^-} > 0.35$	19.1 ± 1.2	18.1 ± 1.2	19.1 ± 1.7	22.7 ± 1.7

Таблица 3
Обратные параметры наклонов инвариантного спектра протонов для различных угловых интервалов в реакции (5)

ϑ_p (град.)	T_1 (МэВ)	T_2 (МэВ)	χ^2/NDF
15+30	41 ± 14	258 ± 15	28/8
30+50	38 ± 5	174 ± 18	11.6/9
50+90	29 ± 2	159 ± 53	6.2/9
> 90	22 ± 2	-	5.8/5
90+120	24 ± 2	-	4/5
120+180	19 ± 2	-	2.4/5

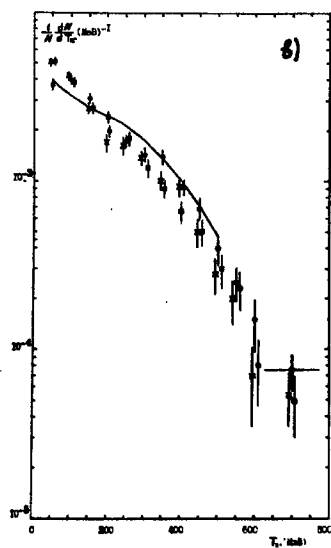
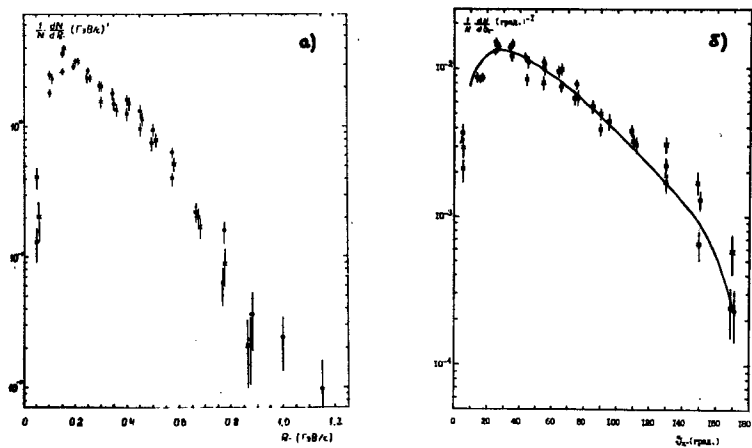


Рис. 1

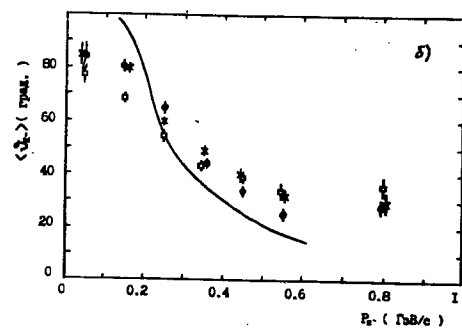
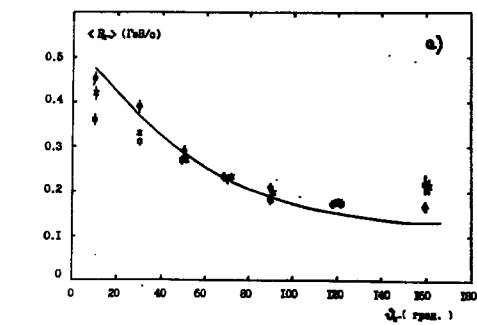


Рис. 2

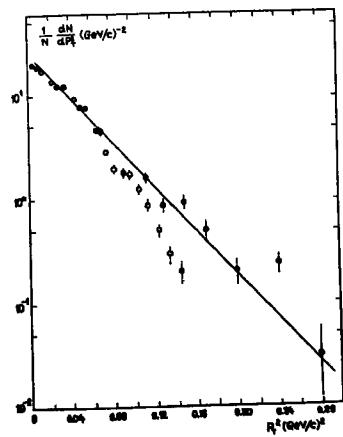


Рис. 3

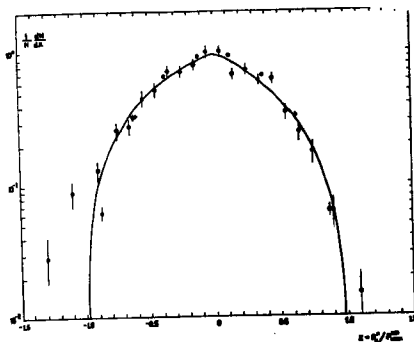


Рис. 4

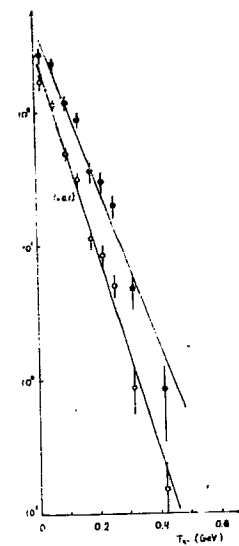


Рис. 5

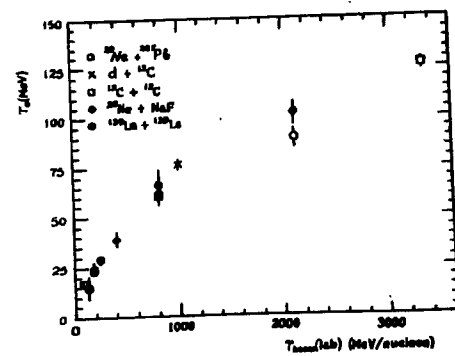


Рис. 6

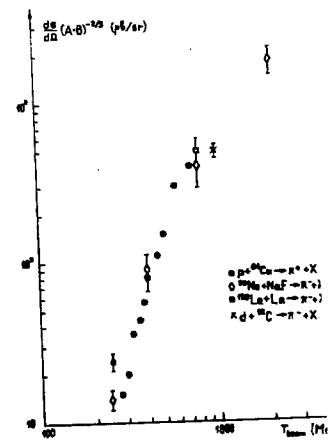


Рис. 7

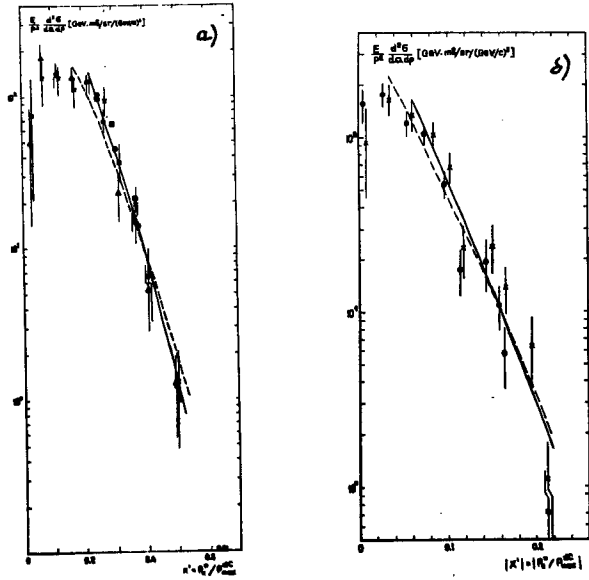


Рис. 8

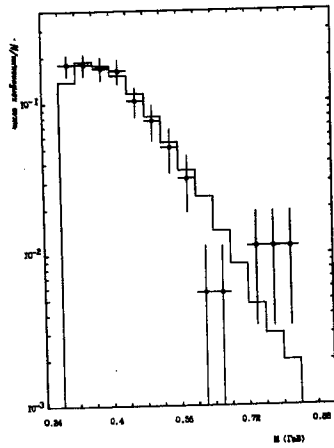


Рис. 9

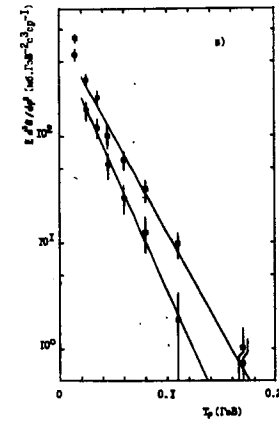
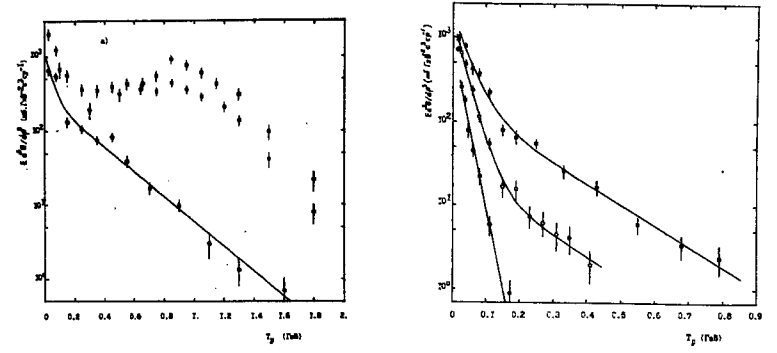


Рис. 10

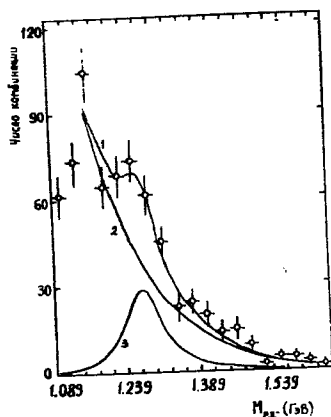


Рис. 11

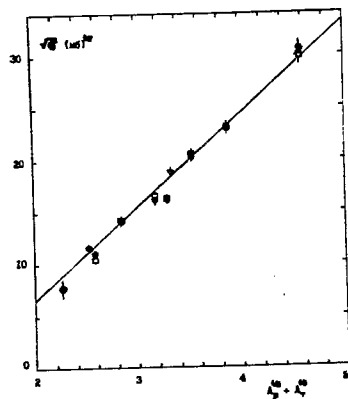


Рис. 12

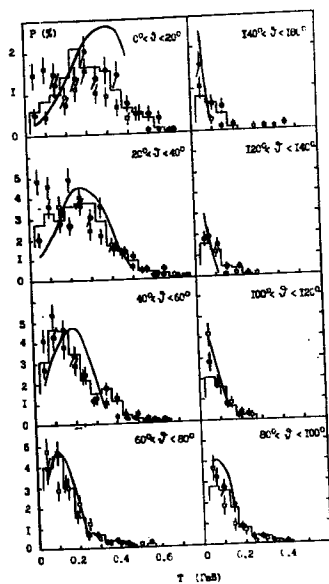


Рис. 13

Подписи к рисункам

- Рис. 1. Импульсные (а), угловые (б) и энергетические (в) спектры π^- -мезонов во взаимодействиях дейтронов с ядром углерода (\bullet) и с протяженными мишенями из углерода (\square) и бериллия (\times). Кривая — расчет для протяженной углеродной мишени.
- Рис. 2. Зависимость среднего импульса от угла вылета (а) и среднего угла от импульса π^- -мезона (б). Обозначения — как на рис. 1.
- Рис. 3. Распределения по P_T^2 π^- -мезона в dC (\bullet) и np (\circ)-взаимодействиях при ~ 1 ГэВ на нуклон. Показан также результат фита по экспоненциальной зависимости.
- Рис. 4. Распределение по фейнмановской переменной x π^- -мезонов в нуклон-нуклонной с.п.м. для dC -взаимодействия (\bullet). Кривые — результат аппроксимации зависимостью $\sim (1-|x|)^n$ в областях $-1 < x < 0$ и $0 < x < 1$. Показаны также данные для усредненных np - и pn -взаимодействий (\circ).
- Рис. 5. Инвариантный (\bullet) и неинвариантный (\circ) спектры π^- -мезонов, образованных под углами $\vartheta_{с.п.м.} = (90 \pm 20)^\circ$. Линии — результат экспоненциального фита.
- Рис. 6. Параметр наклона T_0 инвариантного спектра π^- -мезонов, образованных в центральной области в dC -столкновениях (\times) и в столкновениях более тяжелых ядер.
- Рис. 7. Нормированное на фактор $(A \cdot B)^{-2/3}$ дифференциальное сечение $d\sigma/d\Omega$ образования π^- -мезонов в центральной области dC -столкновения (\times). Показаны также результаты других работ.
- Рис. 8. Инвариантное сечение образования π^- -мезона в общей с.п.м. dC -взаимодействия:
 а) Область фрагментации дейтрона: \times — для $\vartheta_{а.а.д.} < 20^\circ$, \blacktriangle — для $\vartheta_{а.а.д.} < 25^\circ$. Сплошная (пунктирная) кривая — результат аппроксимации зависимостью $(1-x')^n$ в области $x' > 0.2$ ($x' > 0.15$);
 б) область фрагментации углерода: \times — для $\vartheta_{а.а.д.} < 20^\circ$, \bullet — для $\vartheta_{а.а.д.} < 25^\circ$. Сплошная (пунктирная) кривая — результат аппроксимации зависимостью $(1-|x'|)^n$ в об-

ласти $|x'| > 0.05$ ($|x'| > 0.02$).

Рис. 9. Распределение по эффективной массе $M_{\pi^+\pi^-}$ в реакции (2). Гистограммой показано фоновое распределение, полученное путем перемешивания π^- и π^+ -мезонов из разных событий.

Рис. 10. Инвариантные спектры протонов для различных угловых интервалов в реакции (5).

а) ■ - $\vartheta_p < 6^\circ$, □ - $\vartheta_p < 15^\circ$, ● - $\vartheta_p = (15+30)^\circ$;

б) ■ - $\vartheta_p = (30+50)^\circ$, ○ - $\vartheta_p = (50+90)^\circ$, ● - $\vartheta_p > 90^\circ$;

в) □ - $\vartheta_p = (90+120)^\circ$, ● - $\vartheta_p = (120+180)^\circ$.

Кривыми показан результат экспоненциального фита.

Рис. 11. Распределение по эффективной массе $M_{\pi^-\rho}$. Кривыми показаны результаты фита: 1 - суммарная кривая; 2 - вклад фона; 3 - вклад Δ^0 -изобары.

Рис. 12. Зависимость $(G_{A_p A_T}^{in})^{1/2}$ от $A_p^{1/3} + A_T^{1/3}$. Показаны наши данные: x (dC), ▽ (dBe) при 1 ГэВ на нуклон и данные Беркли при 0.87 (□) и 2.1 (●) ГэВ на нуклон. Линия - $\sqrt{78} (A_p^{1/3} + A_T^{1/3} - 1.25)$ мб.

Рис. 13. Распределение по кинетической энергии π^- -мезонов в различных угловых интервалах: □ - для $dC_{\text{мишень}}$ -взаимодействий, ● - для dC-взаимодействий. Кривые - расчет для углеродной мишени. Гистограммы - расчет по методу Монте-Карло с учетом ионизационных потерь π^- -мезонов.

Л и т е р а т у р а

1. Bekmirzaev R.N., Chubarian M.Ya., Ermakov K.N. et al. Study of π^- -Meson Characteristics in the Interactions of 1.7 GeV/c Deuterium with Hydrogen and Carbon Nuclei // Muon Catalyzed Fusion 3.- 1988.- P. 537-544. Proc. of Int. Symp. on Muon Catalyzed Fusion, Gatchina, 1987.
2. Гулкян Г.Р., Какоян В.Г., Канеян А.Р. и др. Измерение неупругого и топологических сечений взаимодействия дейтронов с ядрами углерода при энергии 1 ГэВ на нуклон. - Ереван, 1989. - II с. Препринт ЕФИ-1150(27)-89.
3. Вирясов Н.М., Григорян В.А., Гулкян Г.Р. и др. Импульсные

и угловые распределения π^- -мезонов, образующихся в dC-взаимодействиях при энергии 1 ГэВ/нуклон. - Дубна, 1989. - 6 с. Сообщение ОИЯИ PI-89-511.

4. Sheplakov A.P., Fadeev N.G., Gulkanian H.R. et al. General Characteristics of π^- -Mesons Produced in dC and α C Interactions at 1 GeV/N and 3.3 GeV/N // Muon Catalyzed Fusion 4.- 1989.- P. 399-408. Вирясов Н.М., Гулкян Г.Р., Какоян В.Г. и др. Общие характеристики π^- -мезонов, образованных в dC- и α C-взаимодействиях при энергии 1 и 3.3 ГэВ/нуклон. - Дубна, 1990. - 9 с. Сообщение ОИЯИ PI-90-521.
5. Гулкян Г.Р., Какоян В.Г. Образование π^- -мезонов во фрагментационных и центральной областях dC-взаимодействия при энергии 1 ГэВ на нуклон. - Ереван, 1991. - Препринт ЕФИ-1333(28)-91.
6. Гулкян Г.Р., Какоян В.Г., Худавердян Г.А., Шабельский Ю.М. Измерение выходов, импульсных и угловых распределений π^- -мезонов во взаимодействиях дейтронов с углеродной и бериллиевой протяженными мишенями при энергии 1 ГэВ на нуклон. - Ереван, 1991. Препринт ЕФИ-1354(49)-91.
7. Гулкян Г.Р., Какоян В.Г., Худавердян Г.А., Равинович И.М. Исследование реакций $dC \rightarrow \pi^-\rho$ и $dC \rightarrow \pi^-\pi^+x$ при энергии 1 ГэВ на нуклон. - Ереван, 1991. Препринт ЕФИ-1361(56)-91.
8. Авакян А.В., Вартанян Г.С., Григорян В.А. и др. Организация обслуживания группы измерительных установок для обработки фоновой информации с пузырьковой камеры, работающих на линии с УВК М-6000. - Ереван, 1979. - с. 98. Тезисы докладов IV конференции молодых ученых ЕРФИ.
9. Какоян В.Г. Программа-диспетчер для автоматизированной системы обработки фотоснимков с трековых камер на ЭВМ М-6000. - Ереван, 1984. - 14 с. Препринт ЕФИ-766(81)-84.
10. Григорян В.А., Навасардян Г.В., Какоян В.Г. Опыт обработки кинематических фотоснимков на полуавтоматических устройствах в ЕРФИ. - Ереван, 1985. - с. 174-175. Тезисы докладов III-ого Всесоюзного семинара по обработке физической информации.

II. Какоян В.Г. Организация вычислительного процесса мини-ЭВМ М-6000 для автоматизированной системы обработки фильмовой информации / В кн.: Труды ВЦ АН АрмССР и ЕГУ. - 1988. - Т. XV. - С. 63-70.

Технический редактор А.С. Абрамян

Подписано в печать 14.11.91г.
Офсетная печать.
Зак. тип. 175

Формат 60×84×16
Тираж 170 экз.

Отпечатано в Ереванском физическом институте
Ереван-36, ул. Братьев Алиханян 2.