

К-63



ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

1-81-750

КОМАРОВ

Владимир Иванович

**ПРОТОН-ЯДЕРНЫЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ
ПРИ СРЕДНИХ ЭНЕРГИЯХ
И БОЛЬШИХ ПЕРЕДАЧАХ
ЭНЕРГИИ И ИМПУЛЬСА КЛАСТЕРАМ**

**Специальность: 01.04.16 - физика атомного ядра
и элементарных частиц**

**Автореферат диссертации на соискание ученой
степени доктора физико-математических наук**

Дубна 1981

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем Объединенного института ядерных исследований.

Официальные оппоненты:

доктор физико-математических наук, профессор	Г.А.Лексин (ИТЭФ)
доктор физико-математических наук, профессор	С.Г.Кадменский (Воронежский гос. университет)
доктор физико-математических наук	В.Б.Флягин (ОИЯИ)

Ведущее предприятие - Институт ядерных исследований АН СССР,
Москва.

Защита диссертации состоится " " 1982 г.
в " " часов на заседании Специализированного совета
Д-047.01.03 при Лаборатории ядерных проблем Объединенного инсти-
тута ядерных исследований, г. Дубна Московской области.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ОИЯИ.

Автореферат разослан " " 198 г.

Ученый секретарь
Специализированного совета
доктор физико-математических наук

Ю.А.Батусов

Взаимодействие частиц средних и высоких энергий с атомными ядрами с определенной вероятностью приводит к событиям такого типа, когда резко изменяется состояние групп из нескольких нуклонов ядра: суммарный импульс групп оказывается значительно более высоким, чем характерный импульс внутриядерного движения нуклонов в основном состоянии ядра, а энергия в системе центра масс группы значительно превышает типичные энергии связи нуклонов в ядре. Такое изменение состояния сопровождается переходом нуклонов группы в непрерывный спектр, образованием пионов и легких ядерных фрагментов в конечном состоянии. Остальные нуклоны ядра сравнительно мало затрагиваются взаимодействием, и их роль сводится к созданию общего ядерного потенциала, в котором двигаются до вылета из остаточного ядра нуклоны первой группы. При изучении таких ядерных событий возникает ряд вопросов, составляющих основное содержание проблемы, рассматриваемой в диссертации:

- Какова вероятность передать малонуклонной группе 3-импульс выше ~ 300 МэВ/с, увеличив при этом ее инвариантную массу более чем на ~ 200 МэВ? Являются ли подобные события редкими или они составляют заметную часть полного сечения взаимодействия быстрых частиц с ядром?
- В каких конкретных формах проявляются эти процессы, какие наблюдаемые особенности реакций можно связать с такими соударениями?
- Существуют ли определенные общие свойства, характерные для таких соударений?
- Каков механизм процессов? Что играет в них основную роль - высокоимпульсная структура начального состояния ядра, специфический механизм формирования высоковозбужденных малонуклонных групп в ходе реакции или внутренние свойства самих малонуклонных групп, обусловленные "неэлементарностью" нуклонов, их способностью к возбуждению?
- Насколько доступны обсуждаемые процессы для экспериментального исследования на современном техническом уровне и как наиболее целесообразно эмпирически описывать их?

Цель настоящей работы состояла в экспериментальном изучении прямых ядерных реакций на легких ядрах под действием протонов средних энергий в условиях передачи малонуклонным группам импульса выше 300 МэВ/с и энергии выше 200 МэВ, а также анализе данных для выяснения механизма таких реакций и свойств малонуклонных групп, участвующих в них.

1982 г.

Актуальность проблемы. Возникновение проблемы исследования свойств малонуклонных систем (легчайших ядер или кластеров в ядрах) при передаче им больших импульсов и энергий может быть отнесено к концу 50^х годов. В это время были обнаружены экспериментальные факты упругого протон-дейтронного рассеяния назад (Лексин Г.А. ЖЭТФ, 1957, 32, с.445) и квазиупругого выбивания дейтронов из ядер под малыми углами к пучку протонов средней энергии (Ажгирей Л.С. и др. ЖЭТФ, 1957, 33, с.1186). Однако в течение длительного времени основное внимание при исследовании прямых ядерных реакций обращалось на более простые и более типичные явления, в которых взаимодействие с ядром может быть сведено к соударению налетающей частицы с отдельным ядерным нуклоном либо к последовательности нескольких таких соударений. Случаи, не укладывающиеся в эту простую схему, относились к разряду экзотических, а их интерпретации препятствовала неприменимость к ним наиболее распространенных методов анализа адрон-ядерных взаимодействий. Ситуация резко изменилась в середине 70^х годов, когда при высоких энергиях начал накапливаться экспериментальный материал об эмиссии частиц в кинематической области, запрещенной для взаимодействия со свободным нуклоном (КЗО). Гипотеза А.М.Балдина о масштабном инвариантном поведении малонуклонных групп при релятивистских энергиях, аналогичном поведению элементарных частиц, легла в основу исследований в релятивистской ядерной физике. Одновременно обострился интерес и к ядерным взаимодействиям в условиях высоких передач энергии и импульса малонуклонным группам и при средних энергиях. Достоинство области энергий до ~ 1 ГэВ состоит в том, что здесь, по сравнению с областью более высоких энергий, относительно невелико количество возможных каналов распада малонуклонных систем. Это позволяет рассчитывать на экспериментальное выделение определенных каналов распада. С другой стороны, здесь лучше известны свойства элементарных частиц, участвующих в процессе, что может облегчить выявление особенностей взаимодействия, присущих именно малонуклонным системам и не сводимых к взаимодействию отдельных свободных частиц. В настоящее время все более очевидна связь обсуждаемой проблемы с проблемой изучения ядерного вещества в условиях высоких плотностей и возбуждений и с проблемой масштабных инвариантных свойств барионных систем. Особый интерес вызывает ожидаемые проявления кварковых характеристик в малонуклонных системах при малых относительных расстояниях между нуклонами. Таким образом, исследование малонуклонных систем при высоких передачах им импульса и энергии является в настоящее время одной из центральных проблем ядерной физики.

I. Впервые экспериментально изучен широкий круг прямых ядерных реакций под действием протонов средних энергий (360–670 МэВ) в условиях высоких передач энергии и импульса малонуклонным группам ("жесткие соударения" с малонуклонными группами):

1. Получены новые данные о дифференциальных сечениях протон-ядерных взаимодействий, приводящих к испусканию легчайших ядер — ^2H , ^3H , ^3He , ^4He с энергией 150–600 МэВ.

2. Предложено исследование жестких соударений с кластерами, приводящих к развалу кластеров с испусканием быстрых нуклонов. Измерены одночастичные и двухчастичные сечения испускания протонов в кинематической области, запрещенной при взаимодействии со свободным нуклоном. Обнаружена угловая и энергетическая корреляция в эмиссии двух протонов, соответствующая квазисвободному соударению с нуклонной парой ядра-мишени.

3. Предложена и осуществлена методика измерения трехчастичных дифференциальных сечений испускания быстрых протонов в условиях высоких загрузок сцинтилляционных детекторов. Впервые наблюдается реакция квазисвободного выбивания протонной пары ядра (реакция $(p, 3p)$) в кинематических условиях, близких к условиям упругого протон-дейтронного рассеяния назад. Измерены угловые и энергетические зависимости дифференциального сечения реакции $(p, 3p)$ на ядре углерода в этих условиях.

II. Полученные экспериментальные данные проанализированы в рамках нескольких теоретических моделей:

1. Сделан ряд заключений о роли отдельных механизмов (однократное рассеяние на высокоимпульсных нуклонах ядра, рассеяние на "скоррелированных кластерах", каскадные процессы и др.) в изучаемых процессах.

2. Предложено феноменологическое описание жестких соударений протонов с кластерами. Впервые показана возможность связать между собой экспериментальные данные о дифференциальных сечениях эмиссии частиц в КЗО для целого ряда прямых ядерных реакций под действием протонов средней энергии. Оценены параметры феноменологического описания жестких соударений с малонуклонными группами в ядрах. Предложено рассматривать такие характеристики жестких соударений, как распределение по инвариантной массе малонуклонной группы в конечном состоянии и передаче ей поперечного импульса в качестве внутренней характеристики малонуклонных групп, слабо зависящей от условий эксперимента.

Практическая ценность работы определяется следующим:

1. Получены экспериментальные сечения протон-ядерных взаимодействий с испусканием протонов и легких ядерных фрагментов в ранее неисследованной кинематической области. Эти данные могут быть использованы для проверки новых теоретических моделей описания малонуклонных систем в условиях инвариантной передачи им энергии в 200-300 МэВ при передаче 3-импульса в $1,5-4,0 \text{ Фм}^{-1}$.

2. Найден метод расчета дифференциальных сечений эмиссии протонов, пионов, фрагментов, позволяющий оценивать эти сечения в условиях жесткого соударения протонов с кластерами, что может быть полезным для планирования новых экспериментов.

3. Показана (на примере реакции $(p, 3p)$) практическая возможность эксклюзивного подхода к изучению жестких адрон-кластерных соударений. Этот факт открывает широкое поле для новых экспериментальных исследований при средних и высоких энергиях. В частности, представляет интерес прямое измерение распределений по инвариантной массе и поперечному импульсу малонуклонных групп в конечном состоянии жестких соударений и проверка предложенной в диссертации гипотезы о слабой зависимости этих распределений от условий жестких соударений (энергии и типа инициирующей частицы, а также типа ядра-мишени).

Экспериментальные данные, выносимые на защиту, получены на синхротроне Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ в 1971-1978 гг по инициативе и под руководством автора научной группой сотрудников Лаборатории и физиков из Центрального института ядерных исследований (Россендорф, ГДР). Данные об эмиссии быстрых фрагментов получены в 1971-73 гг группой под руководством автора совместно с научной группой О.В.Савченко. Феноменологическая модель для описания дифференциальных сечений эмиссии частиц в жестких соударениях с кластерами предложена автором и разработана в 1978-80 гг совместно с Г.Мюллером.

Апробация работы и публикации. Основные материалы диссертации опубликованы в работах /I-25/, докладывались на шести международных конференциях и симпозиумах и обсуждались в раппортерских докладах на международных конференциях по физике высоких энергий и структуре ядра (Дубна, 1971; Zürich, 1977; Vancouver, 1979). Материалы работы докладывались автором на семинарах ОИЯИ, ИТЭФ, ИЯИ АН СССР, на сессиях ОЯФ АН СССР и ученых советов ОИЯИ, на Всесоюзном семинаре "Изучение структуры ядер в реакциях при высоких энергиях" (Ленинград, 1975), Проблемном семинаре "Взаимодействия частиц и ядер высокой энергии с ядрами" (Ташкент, 1978), на 2-м Всесоюзном семинаре по программе иссле-

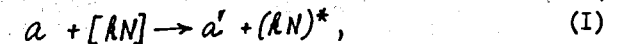
дований на мезонной фабрике ИЯИ АН СССР (Москва, 1981), а также в лекциях на XIУ Зимней школе ЛЯФ (1979) и Международной школе по структуре ядра (Алушта, 1980).

Структура работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения и приложения, изложенных на 283 страницах, включая 90 рисунков, 28 таблиц и 274 библиографических ссылки (на 17 страницах).

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

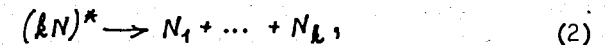
В первой главе определяется предмет исследования и обсуждаются экспериментальные данные о протон-ядерных реакциях, приводящих к испусканию быстрых легких фрагментов.

Если инициирующая элементарная частица a с импульсом \vec{p}_0 рассеивается малонуклонной группой (МНГ) из k нуклонов, входящей в состав ядра с массовым числом $A \geq k$:

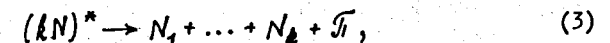


то МНГ получает определенный импульс $\vec{P}_{(kN)^*}$ и увеличивает свою инвариантную массу. Пренебрегая импульсом МНГ в исходном ядре и отличием инвариантной (эффективной) массы начального состояния МНГ от величины суммы масс $k m_N$, входящих в нее нуклонов, имеем для передачи Δp 3-импульса малонуклонной группе значение $\Delta p = |\vec{p}_0 - \vec{p}'|$, а для увеличения ΔM ее инвариантной массы: $\Delta M = M_{inv}((kN)^*) - k m_N$. Инвариантная масса МНГ в конечном состоянии может быть найдена, как обычно, экспериментальным измерением импульсов \vec{P}_f (и полных энергий E_f) всех частиц конечного состояния процесса (I), кроме рассеянной инициирующей частицы (либо продуктов ее фрагментации):

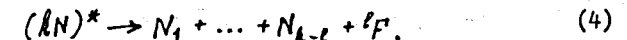
$M_{inv}((kN)^*) = \left(\sum_{f=1}^m E_f^2 - \left(\sum_{f=1}^m \vec{P}_f \right)^2 \right)^{1/2}$. Число m этих частиц может быть как равным k , если система $(kN)^*$ состоит в конечном числе только из нуклонов:



больше чем k , если наблюдается рождение новых частиц, например,



либо меньше чем k , если часть нуклонов конечного состояния оказывается в связанном состоянии в виде легкого ядерного фрагмента ${}^L F$, например,



Следует ожидать, что с ростом значений Δp и ΔM в процессе (I) нуклоны исходной группы должны все более терять свою индивидуальность, и система нуклонов будет вести себя как целое, проявляя определенные

характерные свойства. В качестве граничных значений представляется разумным использовать

$$\Delta p > \Delta p_{hc} \approx 1,5 \text{ Фм}^{-1}, \quad (5a)$$

$$\Delta M > \Delta M_{hc} \approx 200 \text{ МэВ}. \quad (5б)$$

(Соударения (I) при условиях (5) для краткости называются жесткими соударениями частицы с малонуклонной группой). В этом случае кинематически обеспечивается получение информации о поведении малонуклонных групп в конфигурациях с плотностью, превышающей нормальную ядерную плотность (среднее междуклонное расстояние в основном состоянии ядер $\bar{r}_{NN} \approx 1,7 \text{ Фм} > \bar{r} \approx 1/\rho_{hc} \approx 0,7 \text{ Фм}$). С другой стороны, в жестких соударениях (ЖС) становится возможным интенсивное возбуждение самих нуклонов, так как условие (5б) энергетически обеспечивает рождение реальных пионов и возбуждение низшего барионного резонанса

$\Delta(3/2, 3/2)$: $M_{\Delta} - (m_N + \Gamma_{\Delta}) = 176 \text{ МэВ} < \Delta M_{hc} < 294 \text{ МэВ} = M_{\Delta} - m_N$. Кинематически допустимым становится и проявление кварковых эффектов, т.к. ожидается (Матвеев В.А., Сорба П., Nuovo Cim., 1978, 45A, с.257), что нестранные 6- и 9-кварковые системы имеют энергию на 200-300 МэВ выше суммы масс, соответственно двух и трех нуклонов. Значительный интерес представляет и то обстоятельство, что процесс (I) при условиях (5) делает возможной эмиссию частиц в кинематической области, запрещенной для взаимодействия со свободным нуклоном. Благодаря этому при повышении начальной энергии выше ~1 ГэВ процессы такого рода приводят в область "кумулятивного эффекта", т.е. образования частиц за границами одночастичной кинематики, характеризуемого масштабнo-инвариантными свойствами (Балдин А.М. В кн.: Труды У Межд. семинара по пробл. физики выс. эн. ОИЯИ Д1, 2-12036, Дубна, 1978, с. II).

Условия (5) могут быть обеспечены при рассеянии протонов, уже начиная с энергий T_0 около 300 МэВ (в лаб.с.). В диссертационных работах экспериментально изучались прямые реакции, в которых имеет место соударение (I) под действием протонов средней энергии при условиях (5). Значительные преимущества дает изучение таких реакций в условиях, близких к условиям упругого рассеяния протона малонуклонной группой на 180° . В этом случае обеспечивается выделение ЖС из фоновых процессов, а интерпретация результатов облегчается возможностью использовать имеющиеся теоретические предствления об упругом протон-ядерном рассеянии назад. Все эксперименты, описываемые в диссертации, были поставлены именно в этих условиях.

Ко времени начала описываемых работ (1971) единственными экспериментальными данными о жестких соударениях при средних энергиях были данные об упругом рассеянии назад протонов ядрами ^2H , ^3He , ^4He

и квазиупругом выбивании этих ядер под малыми углами к пучку. Особую роль среди этих процессов имеет простейший случай ЖС - упругое pd -рассеяние назад:

$$p + d \rightarrow p(\theta_p) + d(\theta_d); (\theta_p \approx 180^\circ, \theta_d \approx 0^\circ). \quad (6)$$

Значительную вероятность такого рассеяния при средних энергиях (Лексин Г.А. ЖЭФ, 1957, 32, с.445) было предложено объяснять подхватом нуклона с дополнительным обменом пионом (треугольная диаграмма Крэджи-Уилкина, 1969). Такой механизм предсказывает максимум вблизи 650 МэВ в энергетической зависимости сечения рассеяния под заданным углом вблизи 180° . Нами было предпринято первое систематическое измерение такой зависимости $1/\sigma$. Дейтроны отдачи регистрировались под углом $5,5^\circ$ к пучку и анализировались в магнитном спектрометре с идентификацией частиц по времени пролета и удельным потерям энергии в сцинтилляторах счетчиков. Эксперимент показал, что максимума в энергетической зависимости сечения от 360 до 670 МэВ нет. Однако сравнение с резким ростом сечения ниже этого интервала и быстрым падением выше него обнаруживает четкую аномалию в энергетической зависимости в виде "плеча" при энергиях ~400-650 МэВ. Более точные измерения, выполненные значительно позже (1977-1978 гг) на мезонной фабрике Лос-Аламоса, подтвердили этот результат. В течение продолжительного времени наши данные использовались при анализе механизма упругого pd -рассеяния назад при средних энергиях. В работах Кондратьева Л.А. и др. (ЯФ, 1977, 26, с.294) энергетическая и угловая зависимости в (6) были описаны при учете полюсной диаграммы подхвата нейтрона и диаграммы двукратного рассеяния с Δ -изобарой в промежуточном состоянии. Последняя дает основной вклад при энергиях вблизи 650 МэВ, а интерференция диаграмм размывает квазирезонансный вклад, вырождая его в "плечо". В целом, можно констатировать, что исследование рассеяния (6) приводит к следующим заключениям, важным для понимания механизма жестких соударений протонов с МНГ: а) однократное рассеяние назад на высокоимпульсных нуклонах дейтрона дает незначительный вклад в сечение; б) неупругие процессы в промежуточном состоянии играют доминирующую роль; в) описание (6), достигаемое с помощью совокупности нескольких Фейнмановских диаграмм (без учета кварковых особенностей МНГ), имеет лишь качественный характер.

Если механизм квазиупругого выбивания дейтронов под малыми углами θ_d к пучку:

$$p + A \rightarrow N' + d(\theta_d) + (A-2)^* \quad (7)$$

аналогичен механизму рассеяния (6), следует ожидать совпадения энергетической зависимости сечения этих процессов, по крайней мере, для

легких ядер-мишеней, где искажение волн частиц, участвующих в (I), еще не очень существенно. Наши измерения^{/2,5/} при 380-670 МэВ показали, что такое совпадение действительно имеет место: отношение сечений образования дейтронов под углом $5,5^\circ$ в процессах (7) и (6) слабо зависит от начальной энергии (см.рис.1).

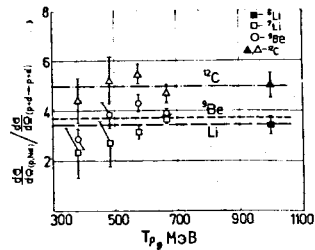
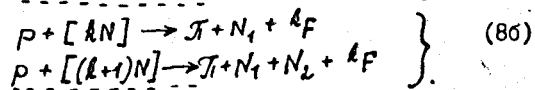
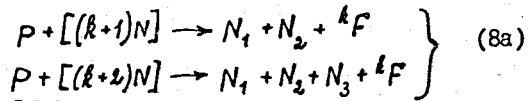


Рис.1. Зависимость отношения дифференциальных сечений образования дейтронов в (7) и (6) под углом $5,5^\circ$ от энергии T_0 падающих протонов^{/2/}.

Другим проявлением жестких соударений протонов с кластерами может служить эмиссия быстрых ядер ^3H , ^3He и ^4He под малыми углами к пучку. Спектры этих ядер из мишеней ^6Li , ^9Be и ^{12}C были измерены нами под углом $5,5^\circ$ к пучку протонов 665 МэВ^{/3,5/} той же методикой, что и в экспериментах с дейтронами. Опыты показали, что сечения монотонно возрастают при снижении энергии фрагментов ниже области квазиупругого выбивания (рис.2). Такое поведение спектров качественно можно объяснить тем, что, кроме вклада процессов квазисвободного рождения пионов на кластерах^{/4,5/}, имеет место развал кластеров после ЖС с образованием в процессе (I) более чем двух частиц в конечном состоянии:



Обсуждаемые проявления ЖС, сопровождающихся эмиссией быстрых фрагментов, характеризуются весьма низкими дифференциальными сечениями, быстро падающими с ростом как массового числа фрагмента, так и начальной энергии. Из этого, однако, еще нельзя сделать вывод о малой вероятности жестких соударений в общем случае: испускание фрагментов в условиях ЖС может быть подавлено из-за малой вероятности образования связанного состояния kF в системе нуклонов, для которых после жесткого соударения становится доступным значительный фазовый

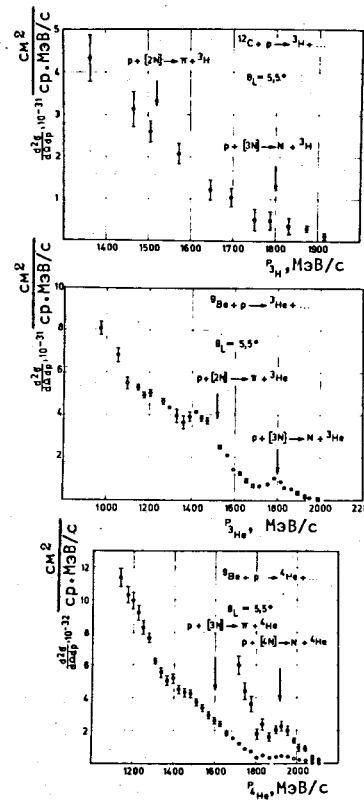


Рис.2.

Типичные спектры фрагментов с энергией от 150 до 600 МэВ, испускаемых под малым углом к протонному пучку^{/5/}.

объем. В следующих главах диссертации рассматриваются жесткие соударения, идущие по каналам (2) или (3), в которых такое подавление отсутствует. Первое предложение исследовать ЖС, приводящие к эмиссии нуклонов в непрерывном спектре, было сделано в 1972 г., когда автором было предложено изучать прямое выбивание протонной пары из ядер протонами в условиях, близких к условиям упругого pd -рассеяния назад^{/10/}.

Во второй главе описывается измерение одночастичных двойных дифференциальных сечений испускания быстрых протонов с энергией от 50 до 145 МэВ под углами от 105° до 160° к пучку протонов 640 МэВ в инклюзивной реакции



Данные такого рода на легких ядрах-мишени при средних энергиях до наших измерений отсутствовали. Опыты проводились с помощью сцинтилляционного спектрометра типа (ДТ, Т, АС). Спектры, полученные с угле-

родной мишенью, приведены на рис.3. Было установлено, что спектры в релятивистски инвариантной форме $f^{(n)} \equiv E(p^2 \sigma_{pn})^{-1} d^2 \sigma / (d\Omega dp)$ имеют экспоненциальный вид:

$$f^{(n)} = A_0^{(n)} \exp(-A_1^{(n)} p^2), \quad (10)$$

причем параметр наклона спектров $A_1^{(n)}$ возрастает с ростом угла эмиссии θ .

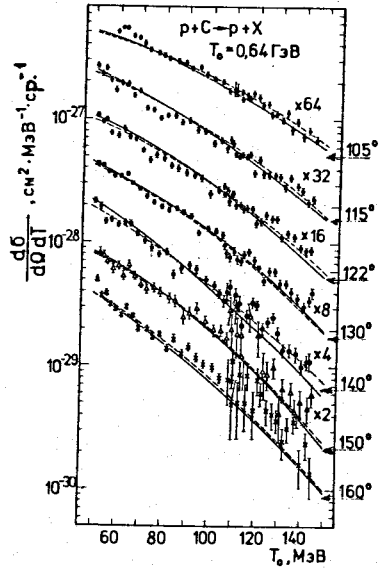


Рис.3.

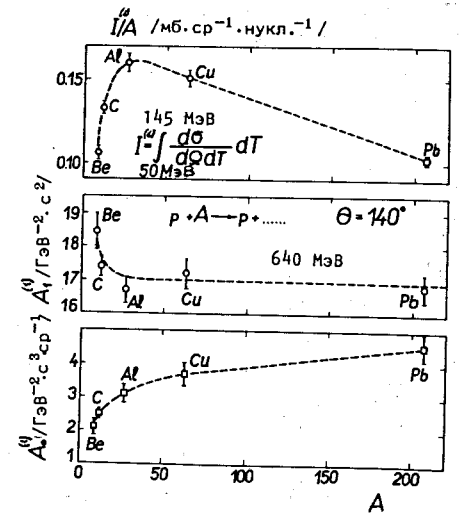
Двойные дифференциальные сечения эмиссии протонов в реакции (9) θ .

В этом отношении эмиссия протонов в задней полусфере вполне аналогична тому, что известно при высоких энергиях. Было установлено также, что параметр наклона спектров, измеряемых под определенным углом (140°), заметно изменяется с ростом массового числа мишени лишь для легких ядер и остается постоянным от углерода до свинца (рис.4). Такое поведение также подобно найденному при высоких энергиях. Сравнение с данными других авторов показало θ , что параметр наклона в спектрах, измеряемых под определенным углом, плавно падает с ростом энергии, переходя при высоких энергиях в режим ядерного скейлинга (Лексин Г.А. Ядерный скейлинг, изд.МИФИ, М., 1975).

При анализе инклюзивных данных из реакций типа (9) прежде всего возникает вопрос о числе нуклонов эффективной мишени, с которой взаимодействует инициирующая частица. Если для процессов типа (6) и (7) с эмиссией фрагментов этот вопрос решается совершенно однозначно, в инклюзивных спектрах протонов априори могут давать вклад взаимодей-

Рис.4.

A-зависимость сечения $I^{(n)}$ и параметров $A_0^{(n)}, A_1^{(n)}$.



ствия на эффективных мишенях с числом нуклонов от одного до $(A-1)$. Соответствующие модели процессов были предложены теоретиками во второй половине 70^х годов. Наши данные использованы в ряде работ для подтверждения таких моделей: модель "когерентных флюктов" (Антонов А.Н. и др. ОИЯИ Р4-12207, Дубна, 1979); модель "коррелированных кластеров" (Fujita T., Hufner J. Nuclear Physics, 1979, A324, p.409); каскадная модель (Гудима К.К. и др. ОИЯИ Е2-11307, Дубна, 1978); каскадная модель с учетом резонансов (Амелин Н.С., ОИЯИ Р2-80-661, Дубна, 1980). Так как физическое содержание моделей весьма различно, в целом наш анализ демонстрирует низкую избирательность инклюзивных данных к механизму реакции: практически удается исключить только механизм Вебера-Мюллера - взаимодействие с $(A-1)$ -системой θ . Из этого следует, что значение совпадения результата расчетов "микроскопического" характера с инклюзивными данными для подтверждения моделей, как правило, преувеличивается. Тем не менее, важно, что среди моделей, способных к описанию инклюзивных сечений, есть модели, подтверждающие применимость и в этом случае концепции жестких соударений. Так, каскадная модель показывает, что полное число актов взаимодействия, нужных для эмиссии протонов назад (в условиях нашего эксперимента), невелико: $\sim 2-5$, вклад упругого перерассеяния мал, и основную роль играет рождение пиона и его последующее поглощение нуклонными парами того же ядра (либо "разрядка" Δ - изобары при перерассеянии).

Отсутствие здесь (как и для упругого pd -рассеяния назад) однозначного и количественного описания данных с помощью традиционных

подходов, по-видимому, имеет принципиальный характер: оно становится понятным, если при передачах МНГ 3-импульса $\sim 1,5-4 \text{ Фм}^{-1}$ и энергии $\sim 200-450 \text{ МэВ}$ начинает теряться индивидуальное поведение нуклонов в группе и происходит переход к ее коллективному (кварковому) поведению. В этой ситуации может быть полезен феноменологический подход, избегающий излишней детализации процесса.

В третьей главе предпринята попытка развития такого подхода [20, 21, 25-27]. В модели предполагается следующее: а) "элементарным актом" процессов, приводящих к эмиссии частиц в КЗО, является жесткое соударение (I); б) инициирующая частица рассеивается вперед, преимущественно на малые углы; в) распределение событий по переданному МНГ поперечному импульсу (P_T) и приросту инвариантной массы (ΔM) в ЖС является внутренней характеристикой МНГ, т.е. слабо зависит от условий соударения (тип и энергия налетающей частицы, тип ядра-мишени); г) после соударения МНГ (ΔN)*, движущаяся в соответствии с кинематикой процесса (I), распадается так, что частицы равномерно распределяются в доступном для них фазовом объеме, а остаточное ядро не оказывает существенного влияния на такой распад.

В качестве характеристики МНГ в жестком соударении введена функция релятивистски инвариантных переменных ΔM и P_T :

$$A_k^2 = A_{exc}^2(\Delta M_k) \cdot A_{sc}^2(P_{Tk}). \quad (II)$$

Для конкретных расчетов принято:

$$A_{exc}^2(\Delta M_k) \sim \exp(-\Delta M_k / \epsilon_{ch}), \quad (I2)$$

$$A_{sc}^2(P_{Tk}) \sim \exp[-(\theta_{hh}^* P_{hk}^* k^{1/3} R_{c2})^2], \quad (I3)$$

где θ_{hh}^* - угол рассеяния при импульсе P_{hk}^* в с.ц.и. рассеяния (I), а R_{c2} и ϵ_{ch} - свободные параметры. Третий свободный параметр \mathcal{P} вводится как общий фактор в сечениях, что позволяет при подгонке расчетных дифференциальных сечений к экспериментальным оценить полные сечения ЖС.

При вычислении сечений функция (II) используется в качестве квадрата матричного элемента процесса (I), и проводится некогерентное суммирование по числу k нуклонов в кластерах и интегрирование по их фермиевскому импульсу.

Для обоснования основных положений модели, конкретной формы функций (II)-(I3) и предварительной оценки значения параметров в них используются данные, рассмотренные в первых двух главах диссертации.

В качестве примера результата расчетов на рис.2 показаны (сплошные) кривые, вычисленные при $R_{c2} = 0,25 \text{ Фм}$, $\epsilon_{ch} = m_\pi$ (пунктирные-

$\epsilon_{ch} = 0,18 \text{ ГэВ}$). Показано, что широкий круг данных о дифференциальных сечениях реакции (9) (для ^{12}C -мишени) - форма спектров, угловые зависимости, зависимость от начальной энергии T_0 , параметра наклона спектров (рис.5) и дифференциальных сечений можно качественно опи-

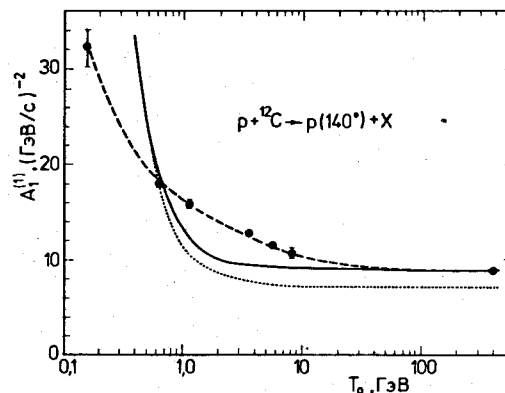


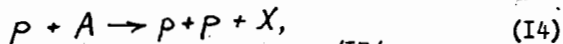
Рис.5.

Энергетическая зависимость параметра наклона спектров A'' в аппроксимации (10) для протонов из реакции (9). Точки - эксперимент. Сплошная кривая - расчет с параметрами, указанными в тексте.

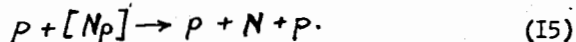
сать в интервале T_0 от 0,6 до 400 ГэВ при полностью фиксированных параметрах модели: $\epsilon_{ch} = 0,10 \text{ ГэВ}$; $R_{c2} = 0,25 \text{ Фм}$, $\mathcal{P} = 0,18$. Удастся воспроизвести [21] при тех же параметрах и ряд данных, относящихся к дейтронной мишени. При изменении только нормирующего параметра

\mathcal{P} можно описать и данные об эмиссии в КЗО пионов и фрагментов при средних энергиях. Имея в виду крайне простой вид, принятый для матричного элемента процесса, и малое число свободных параметров, можно расценивать результат как определенный успех модели. Это позволяет сделать ряд заключений, в частности, следующие: 1) ЖС составляют заметную часть полных сечений адрон-ядерных взаимодействий (по данным при 0,65-1,0 ГэВ для легких ядер - от 1% до 10%); 2) Такое характерное и часто обсуждаемое свойство инклюзивной эмиссии протонов, пионов и фрагментов в КЗО, как угловая и энергетическая зависимость параметра наклона спектров, следует, по существу, из простых кинематических эффектов - движения центра масс распадающегося кластера и роста доступной энергии с ростом начальной энергии, если характеристики (II)-(I3) для МНГ зафиксированы; 3) Слабая зависимость структурных функций инклюзивной эмиссии частиц в КЗО от типа и энергии инициирующей частицы, типа ядра-мишени, сформулированная Г.А.Лексинным в ядерном скейлинге, может быть описана феноменологически, если принять, что характеристики МНГ в жестком соударении слабо зависят от тех же факторов.

Для проверки изложенных представлений нужны более информативные полужексклюзивные и эксклюзивные опыты. Первым шагом в этом направлении могут быть измерения двухчастичных сечений испускания протонов в протон-ядерных реакциях



которые описываются в четвертой главе. В работе^{/17/} мы обратили внимание на то, что модели, предложенные для описания инклюзивной эмиссии протонов, сильно различаются по характерному для них испусканию сопровождающих протонов. Для наших измерений^{/17/} была выбрана кинематическая область вблизи области квазиупругого рассеяния на нуклонной паре:



Измерения при 640 МэВ на ядре углерода обнаружили, что наблюдаются интенсивные совпадения между протонами с энергией 50-150 МэВ, испускаемыми назад, и протонами в интервале 265-340 МэВ, испускаемыми в сравнительно узком конусе вперед (рис.6).

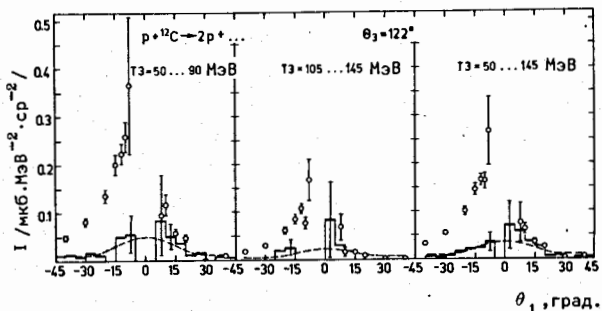


Рис.6. Сравнение экспериментальной угловой зависимости двухчастичных сечений с расчетом в "каскадной" модели^{/19/}.

Измерения на серии мишеней от Ве до Рв показали, что такие совпадения имеют место для всех использованных мишеней. Для углерода наблюдается сильная зависимость угловых и энергетических характеристик двухчастичного сечения от импульса протона, испускаемого назад. Ни величина этого сечения, ни корреляции между протонами не передаются каскадной моделью без учета резонансов^{/19/}. Это качественно объяснимо тем, что в такой модели нет эффективного механизма эмиссии протонов назад при взаимодействии с двухнуклонным кластером. Поэтому, если вычесть из наблюдаемых сечений "каскадный" вклад, полученные распределения удастся описать распределениями по фазовому объему рас-

сеяния на паре (I5). (рис.7, кривые 2). Введение матричного элемента в форме (II)-(I3) с параметрами, найденными для описания инклюзивных сечений в (9), изменяет расчетные распределения в этом случае незначительно.

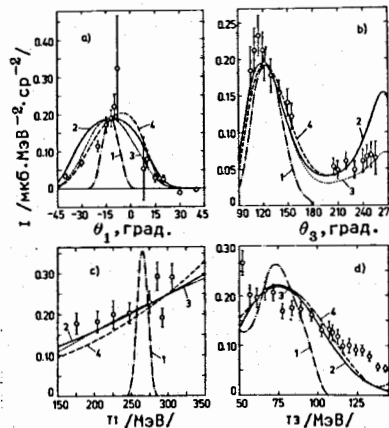


Рис.7.

Сравнение двухчастичных сечений в реакции (I4) на углеороде с расчетами в модели квазисвободного рассеяния нуклонной парой.

В реакции (I5) на углеороде была экспериментально найдена^{/18/} и другая кинематическая область, где рассеяние на паре дает существенный вклад: область малых ($\leq 15^\circ$) углов раскрытия пары протонов с энергией каждого в интервале 265-340 МэВ при их испускании вперед.

Данные^{/17/} частично были воспроизведены в "статистической модели" ядерных реакций (Knoll J. Phys. Rev., 1979, 20, p.773), во многом близкой к нашей модели, описанной в третьей главе. В отличие от нашей модели, Кнолл принимает матричный элемент процесса (I) константой, что существенно сужает возможности его модели.

В пятой главе диссертации описывается экспериментальное исследование реакции квазисвободного выбивания протонной пары из ядра углерода протонами с энергией 640 МэВ. Для экспериментов была выбрана (рис.8) симметричная $\alpha_1 = \alpha_2 \equiv \alpha$; $\alpha_3 = 0$, $\gamma_1 = \gamma_2 \equiv \gamma$, некомпланарная ($\gamma = 12^\circ$, $\gamma_3 = 122^\circ$) геометрия. Каждый из протонов регистрировался отдельным телескопом сцинтилляционных счетчиков. Телесный угол регистрации протонов (P_1, P_2), вылетающих вперед, $\Delta\Omega_1 = \Delta\Omega_2 = 1,9 \cdot 10^{-2}$ стер, а протоны (P_3), вылетающие назад, регистрировались широкоапертурным ($\pm 20^\circ$) телескопом. Энергетические интервалы регистрации протонов выбраны в соответствии с кинематикой процесса (I5), причем регистрируемые протоны уносят более 84% доступной энергии.

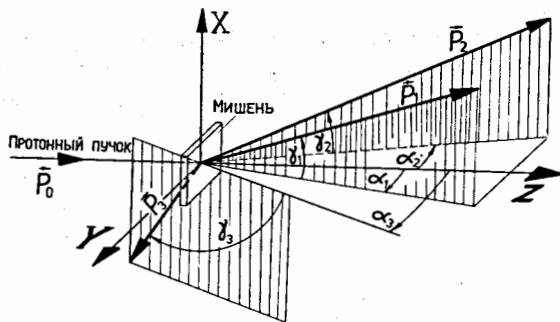


Рис. 8.
Геометрическая
схема эксперимента
(р, 3р).

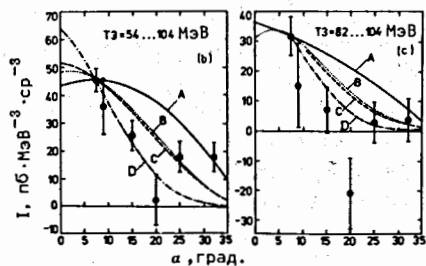
Была разработана методика, позволяющая корректно измерять и вычитать фон случайных (в том числе и истинно-случайных) тройных совпадений^{7,8,9/}. В поисковом эксперименте 1975 года^{11/} впервые измерено сечение прямой реакции $^{12}\text{C}(p, 3p)$

$$d^2\sigma/(dn_1 dn_2 dn_3) = (8,4 \pm 2,2) \cdot 10^{-30} \text{ см}^2/\text{стер}^3$$

в условиях: $\alpha = 9^\circ$, $260 \text{ МэВ} < T_1 (T_2) < 335 \text{ МэВ}$, $32 \text{ МэВ} < T_3 < 98 \text{ МэВ}$. В основном эксперименте^{12-14/} измерялись спектры протонов, вылетающих назад, в интервале энергии 36-104 МэВ при нескольких значениях угла раскрытия пары P_1, P_2 . Было обнаружено, что трехчастичное сечение характеризуется монотонным падением с ростом угла α от $7,5^\circ$ до $32,1^\circ$, причем это падение происходит тем быстрее, чем выше энергия протона P_3 . Наблюдаемые относительно широкие угловые распределения несовместимы с моделью рассеяния назад на "скоррелированных кластерах", неразрушающихся при рассеянии (Т. Fujita, Phys. Rev. Lett., 1979, A314, p. 317), но сравнимы с распределением по фазовому объему в (15) (кривые А рис. 9). Учет матричного элемента в форме (II)-(13) с $E_{ch} = 0,10-0,15 \text{ ГэВ}$ и $R_{ch} = 0,13-0,22 \text{ Фм}$ улучшает согласие с экспериментом.

Рис. 9.

Угловые распределения
в реакции $^{12}\text{C}(p, 3p)$ при
640 МэВ.



Результаты^{12-14/} показывают, что, несмотря на сравнительно низкое сечение процессов ($< 10^{-34} \text{ см}^2 \cdot \text{МэВ}^{-3} \cdot \text{стер}^{-3}$), жесткие соударения в эксклюзивной постановке опытов вполне доступны для изучения на современном техническом уровне. Теоретический анализ таких данных требует, в свою очередь, вычисления многочастичных дифференциальных сечений, в то время как до последнего времени основной целью расчетов для процессов в КЭО оставались одночастичные сечения инклюзивных процессов.

В приложении рассмотрены некоторые технические вопросы экспериментов и приведены таблицы дифференциальных сечений реакции (14) и (р, 3р) при 640 МэВ.

Основные результаты работы кратко можно сформулировать следующим образом:

1. 1. Получены экспериментальные данные о протон-ядерных взаимодействиях, приводящих при средних энергиях к испусканию легчайших ядер ^2H , ^3H , ^3He , ^4He с энергией 150-600 МэВ^{1-5/}. Проанализированы имеющиеся представления о механизме таких процессов. Сделан вывод о том, что с феноменологической точки зрения эти процессы можно рассматривать как результат рассеяния вперед налетающего протона малонуклонной группой ядра, получающей при этом передачу 3-импульса выше $\sim 300 \text{ МэВ/с}$ и энергию (в с.ц.м. группы) выше $\sim 200 \text{ МэВ}$ ("жесткое соударение" протона с малонуклонной группой).

2. Обращено внимание на целесообразность экспериментального изучения ядерных реакций при средних энергиях в условиях жестких соударений с кластерами^{25-27/}.

3. Предложено исследование жестких соударений протонов средней энергии с малонуклонными группами с образованием нуклонов, не связанных между собой в конечном состоянии^{10,11/}.

II. 1. Измерены при энергии 640 МэВ двойные дифференциальные сечения инклюзивной эмиссии протонов в ранее неизученной области углов и энергий на ядре углерода и А-зависимость сечений под определенным углом (140°). Установлено определенное подобие этих сечений с аналогичными данными при высоких энергиях^{15,16/}.

2. Продемонстрирована слабая избирательность инклюзивных данных к механизму реакции^{16,19/}. Отмечено, что среди моделей, описывающих инклюзивную эмиссию протонов назад при средних энергиях, имеются модели, подтверждающие применимость здесь концепции жестких соударений с малонуклонными группами. Сделан вывод о целесообразности феномено-

логического подхода (для описания эмиссии частиц в кинематической области (КЗО), запрещенной для соударения с отдельным нуклоном), избегающего излишней детализации механизма жесткого соударения.

Ш. 1. Разработана феноменологическая модель^{/20,21,25,27/}, базирующаяся на экспериментальных и теоретических результатах об испускании быстрых фрагментов и нуклонов в КЗО в протон-ядерных реакциях при средних энергиях.

2. Модель реализована в виде программы вычисления на ЭВМ дифференциальных сечений инклюзивной эмиссии частиц в КЗО при взаимодействии адронов с легкими ядрами - от $A=2$ до $A \approx 15$.

Рассчитаны угловые и энергетические характеристики испускания нуклонов, пионов и фрагментов в протон-ядерных реакциях при средних энергиях. Оценены значения основных параметров модели. Показано, что полное сечение жестких соударений протона 640 МэВ в легких ядрах находится на уровне 1-10% полного сечения протон-ядерного взаимодействия. Это означает, что жесткие соударения не являются экзотическим маловероятным процессом.

3. Показана возможность единообразного описания инклюзивной эмиссии протонов с энергией 50-300 МэВ и углах выше 90° при средних и высоких энергиях иницирующих частиц. Предложена гипотеза о слабой зависимости распределений по инвариантной массе и переданному поперечному импульсу для малонуклонных групп в жестких соударениях от типа и энергии иницирующих частиц и типа ядра-мишени. Сформулирована задача прямой экспериментальной проверки такой "универсальности" характеристик МНГ в жестких соударениях.

IV. 1. Предложено^{/17/} полуклассическое измерение двухчастичных дифференциальных сечений испускания протонов как метод исследования механизма эмиссии протонов в КЗО при средних энергиях.

2. Обнаружена интенсивная эмиссия двух протонов в кинематической области квазисвободного рассеяния протона назад на внутриядерной паре при взаимодействии протонов 640 МэВ с ядрами. Измерен ряд характеристик такой эмиссии и обнаружена угловая и энергетическая корреляция между испусканием протонов в условиях квазиупругого рассеяния назад на нуклонной паре в углероде^{/17-19/}.

3. Показано, что наблюдаемая эмиссия не описывается моделью однократного рассеяния на высокоимпульсном ядерном нуклоне с когерентной отдачей (A-1)-системы и каскадной моделью без учета резонансов. Наблюдаемые угловые и энергетические распределения можно описать в

рамках той же феноменологической модели, которая предложена для описания инклюзивных данных.

У. 1. Проведен экспериментальный поиск^{/II/} прямой реакции ($p, 3p$) с эмиссией быстрого протона назад и пары протонов, вылетающих вперед под углами около 15° к пучку протонов с энергией 640 МэВ. Предложена и реализована методика разделения истинных и случайных тройных совпадений и сцинтилляционной спектрометрии в условиях высоких нагрузок детекторов^{/8/}. Впервые измерено трехчастичное дифференциальное сечение реакции ($p, 3p$).

2. Измерена зависимость дифференциального сечения реакции ${}^2C(p, 3p)$ от угла раскрытия пары протонов, вылетающих вперед, и энергии протона, испускаемого назад^{/13/}.

3. Показано^{/14/} что распределение по углу раскрытия пары, испускаемой вперед, при энергии протона, вылетающего назад, выше 50 МэВ можно описать в рамках представления о распаде пары, получившей передачу 3-импульса 2,9-3,9 Фм⁻¹ и энергию 190-270 МэВ. Таким образом, эксклюзивное изучение жесткого протон-кластерного соударения подтверждает применимость феноменологической модели, предложенной для описания инклюзивных данных.

VI. Проведенное исследование показывает связь широкого круга явлений в ядерных реакциях при средних энергиях налетающих протонов: упругое pA -рассеяние назад, квазиупругое выбивание легких фрагментов, спектры высокоэнергичных фрагментов, инклюзивная эмиссия быстрых протонов назад, двухпротонные корреляции, квазисвободное выбивание протонных пар. Эта связь обнаруживается в кинематической области жестких соударений с малонуклонными группами ядра-мишени и оправдывает рассмотрение этих явлений с единой точки зрения^{/24-27/}.

Л и т е р а т у р а

1. Комаров В.И., Косарев Г.Е., Решетников Г.П., Савченко О.В. Энергетическая зависимость упругого рассеяния назад протонов дейтронами в интервале 360-670 МэВ. ЯФ, 1972, 16, с.234.

2. Комаров В.И., Косарев Г.Е., Решетников Г.П., Савченко О.В., Теш З. Энергетическая зависимость сечения выбивания быстрых дейтронов из Li , Be и C протонами с энергией 380-665 МэВ. ОИЯИ РИ-7352, Дубна, 1973.

3. Комаров В.И., Косарев Г.Е., Кузьмин Е.С., Молоканов А.Г., Решетников Г.П., Савченко О.В., Теш З. Спектры быстрых ядер ^3He , ^3H и ^4He , образующихся при взаимодействии протонов 665 МэВ с легкими ядрами. ОИЯИ РИ-7784, Дубна, 1974.
4. Комаров В.И., Молоканов А.Г., Решетников Г.П., Савченко О.В., Теш З. О механизме генерации быстрых ядер гелия и трития протонами 665 МэВ на легких ядрах. ОИЯИ ЕИ-8248, Дубна, 1974.
5. Komarov V.I., Kosarev G.E., Kuzmin E.S., Molokanov A.G., Reshetnikov G.P., Savchenko O.V., Tesch S. Production of fast fragments by bombarding light nuclei with intermediate-energy protons. Nucl.Phys., 1976, A256, p.362.
6. Комаров В.И. Прямые реакции выбивания быстрых фрагментов протонами высокой энергии. ЭЧАЯ, 1974, 5, с.419.
7. Вишняков В.В., Журавлев Н.И., Комаров В.И., Косарев Г.Е., Нгуен Мань Шат, Синаев А.Н. Определение профиля пучков частиц ускорителей при помощи ионизационной камеры с проволочными электродами. ПТЭ, 1973, №6, с.21.
8. Комаров В.И., Косарев Г.Е., Мотц Г., Теш З., Штилер Т. Установка для поиска реакции выбивания протонных пар протонами с энергией 640 МэВ. ОИЯИ РЗ-9638, Дубна, 1976.
9. Журавлев Н.И., Комаров В.И., Синаев А.Н., Штилер Т. Аппаратура для исследования прямых ядерных реакций под действием быстрых протонов. ОИЯИ I3-I039I, Дубна, 1977.
10. Комаров В.И. Квазиупругое выбивание протонных пар протонами высокой энергии из легких ядер. ОИЯИ ЕИ-6866, Дубна, 1972.
11. Комаров В.И., Косарев Г.Е., Молоканов А.Г., Мотц Г., Решетников Г.П., Штилер Т., Теш З. Поиск реакции выбивания двух быстрых протонов из ядра ^{12}C протонами с энергией 640 МэВ. ОИЯИ ЕИ-9460, Дубна, 1976.
12. Комаров В.И., Косарев Г.Е., Мюллер Г., Нетцбанд Д., Теш З., Штилер Т. О наблюдении прямой ядерной реакции $^{12}\text{C}(p,3p)$ при энергии 640 МэВ. ОИЯИ ЕИ-11354, Дубна, 1978.
13. Komarov V.I., Kosarev G.E., Müller H., Netzband D., Stiehler T., Tesch S. Quasifree knock-out of proton pairs in the reaction $\text{C}(p,3p)$ at 640 MeV. J.Phys.G: Nucl. Phys., 1979, 5, p.1717.

14. Комаров В.И., Косарев Г.Е., Мюллер Г., Нетцбанд Д., Теш З., Штилер Т. Квазисвободное выбивание протонной пары из ядра углерода протонами с энергией 640 МэВ. ЯФ, 1980, 32, с.1476.
15. Komarov V.I., Kosarev G.E., Müller H., Netzband D., Stiehler T. Inclusive spectra and the angular distribution of protons emitted backwards in the interaction of 640 MeV protons with nuclei. Phys.Lett., 1977, 69B, p.37.
16. Komarov V.I., Kosarev G.E., Müller H., Netzband D., Stiehler T., Tesch S. Inclusive double differential cross sections for backward emitted protons in proton-nuclei interactions at 640 MeV. JINR E1-11513, Dubna, 1978.
17. Komarov V.I., Kosarev G.E., Müller H., Netzband D., Stiehler T., Tesch S. Observation of correlation between two fast protons in proton-nucleus interactions at 640 MeV. Phys.Lett., 1978, 80B, p.30.
18. Комаров В.И., Косарев Г.Е., Мюллер Г., Нетцбанд Д., Теш З., Штилер Т. Двухчастичные дифференциальные сечения испускающих протонов в протон-ядерных взаимодействиях при 640 МэВ. ЯФ, 1980, 32, с.313.
19. Gudima K.K., Komarov V.I., Kosarev G.E., Mashnik S.G., Müller H., Netzband D., Tesch S., Toneev V.D., Stiehler T. Proton-nucleus interactions at 640 MeV accompanied by backward emission of energetic protons. Nucl.Phys., 1977, A326, p.297.
20. Комаров В.И., Мюллер Г. О механизме эмиссии назад быстрых протонов в адрон-ядерных взаимодействиях при средних и высоких энергиях. Письма в ЖЭТФ, 1979, 29, с.501;
21. Комаров В.И., Мюллер Г. Эмиссия быстрых нуклонов назад в адрон-ядерных взаимодействиях и высокоимпульсная структура ядра. ОИЯИ РИ-80-677, Дубна, 1980.
22. Komarov V.I., Kosarev G.E., Müller H., Netzband D., Stiehler T., Tesch S. Spectra and angular distributions of protons emitted backwards in the interaction of 640 MeV protons with nuclei. In: European Symposium on Few-particle problems in Nuclear Physics. (Potsdam, 1977). ZfK-347, Rossendorf, 1977, p.185.
23. Komarov V.I., Kosarev G.E., Netzband D., Toneev V.D., Müller H., Stiehler T., Tesch S., Gudima K.K., Mashnik S.G. In: Proc. V111 Intern. Symp. on the Interaction of Fast Neutrons with Nuclei (Gaussig, GDR, 1978). ZfK-382, Rossendorf, 1979, p.90.
24. Комаров В.И. О свойствах малонуклонных систем при высоких возбуждениях. В кн.: Междунар. симпозиум по проблеме нескольких тел в ядерной физике (Дубна, 1979). ОИЯИ Д4-12366, Дубна, 1979, с.104.

25. Komarov V.I., Effects of nucleon association in reactions at intermediate energies. In: Proc.Intern.Conf.on Extreme States in Nuclear Systems (Dresden,1980). ZfK-430, Rossendorf,1980, vol.2,p.110.

26. Комаров В.И. Взаимодействие протонов средней энергии с ядрами, сопровождающееся высокими передачами импульса малонуклонным группам. В кн.: Материалы XIV Зимней школы ЛИЯФ, изд. ЛИЯФ АН СССР, Л., 1979, с. 71.

27. Комаров В.И. Эффекты нуклонного ассоциирования в реакциях при средних энергиях. В кн.: Труды Межд. школы по структуре ядра (Алушта, 1980). ОИЯИ Д4-80-385, Дубна, 1980, с. 337.

28. Комаров В.И. Прямые реакции при взаимодействии нуклонов средней энергии с ядрами. В кн.: Труды IY Межд. конф. по физике высоких энергий и структуре ядра (Дубна, 1971). ОИЯИ Д1-6349, Дубна, 1972, 93.

29. Комаров В.И., Косарев Г.Е., Решетников Г.П., Савченко О.В. Энергетическая зависимость упругого протон-дейтронного рассеяния назад. В кн.: IY Межд. конф. по физике высоких энергий и структуре ядра (Дубна, 1971). ОИЯИ Д1-5988, Дубна, 1971, с. 49.

30. Комаров В.И., Косарев Г.Е., Решетников Г.П., Савченко О.В. Спектры быстрых дейтронов и гелия-3, образующихся при взаимодействии протонов высокой энергии с легкими ядрами. см. /29/ с. 50.

31. Komarov V.I., Kosarev G.E., Müller H., Netzband D., Stiehler T. Angular distribution of the inclusive protons from the reaction $p + {}^{12}\text{C} \rightarrow p \dots$ at 640 MeV. In: Proc. V11 Intern. Conf. on High-Energy Phys. and Nucl. Structure (Zürich, 1977). Villigen, 1977, Abstr. vol. p. 192.

32. Komarov V.I., Kosarev G.E., Müller H., Netzband D., Stiehler T. Dependence of the inclusive proton spectra on the incident proton energy for ${}^{12}\text{C}$ and the target mass number at 140° . Ibid. 31, p. 136.

33. Komarov V.I., Kosarev G.E., Molokanov A.G., Motz G., Reshetnikov G.P., Stiehler T., Tesh S. Search for the knockout of two fast protons from ${}^{12}\text{C}$ by 640 MeV protons. Ibid. 31, p. 223.

Рукопись поступила в издательский отдел
27 ноября 1981 года.