

✓
ЕРЕВАНСКИЙ ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

На правах рукописи

ШАРАБЯН ЮРИЙ ГЕРАСИМОВИЧ

ИССЛЕДОВАНИЕ КУМУЛЯТИВНОГО ФОТООБРАЗОВАНИЯ
ПРОТОНОВ НА ЯДРАХ

О1.04.16 - физика атомного ядра и элементарных частиц

Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата
физико-математических наук

ЕРЕВАН - 1981

Работа выполнена в Ереванском физическом институте

Научный руководитель - кандидат физ.-мат.наук, старший научный сотрудник
К.Ш.Егиян

Официальные оппоненты: доктор физ.-мат.наук, старший научный сотрудник
А.Г.Худавердян(ЕГУ);
кандидат физ.-мат.наук
М.И.Стрикман (ЛИЯФ)

Ведущая организация - Лаборатория высоких энергий Объединенного института ядерных исследований

Защита диссертации состоится "28" апреля 1981 г.
в 14-00 час. на заседании специализированного совета
Д 034.03.01 при Ереванском физическом институте (375036,
Ереван-36, ул.Маркаряна, 2).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Ереванского физического института.

Автореферат разослан "24" марта 1981г.

Ученый секретарь специализированного совета, кандидат физ.-мат.наук

Шахбазян

В.А.Шахбазян

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. В 70-х годах было положено начало новой области ядерной физики при высоких энергиях - исследованиям по кумулятивному эффекту и ядерному скейлингу. Экспериментально было подтверждено, что при столкновении релятивистских ядер с ядрами (или при взаимодействии высокоэнергетичных адронов с ядрами) спектры вторичных частиц, образованных за пределами кинематической области NN -столкновения, масштабно инвариантны. Такое свойство спектров частиц, которые в дальнейшем стали называться кумулятивными частицами, находится в согласии с высказанной ранее гипотезой кумулятивного эффекта, в частности допускающей возможность рождения частиц с импульсом, большим, чем импульс, приходящийся на один нуклон сталкивающихся ядер.

Весьма плодотворной при изучении подобного типа процессов явилась гипотеза ядерного скейлинга, сформулированная на основе эмпирически найденных закономерностей образования кумулятивных частиц. Согласно ядерному скейлингу спектры кумулятивных частиц b в инклюзивной реакции

$$a + A \rightarrow b + X \quad (1)$$

имеют экспоненциальный вид

$$f = c_{s,p} \cdot \exp(-\beta \cdot p^2) = c_{s,p} \sigma_{tot}^{aA} \exp(-B \cdot p^2) \quad (2)$$

где $f = (E/p^2) d^2b/d\Omega \cdot dp$ - инвариантное сечение реакции (1), σ_{tot}^{aA} - полное неупругое сечение взаимодействия частицы a с ядром A , $c_{s,p}$ и B - константы. Было найдено, что параметр наклона B не зависит от типа налетающей частицы, массо-

вого числа ядер мишени и асимптотически не зависит от энергии частицы A . Предэкспоненциальный множитель $C_p = \frac{C_f}{b_{tot} A}$ асимптотически не зависит от энергии частицы A . Указанные закономерности подтверждаются данными большого числа экспериментов по адрон-ядерным столкновениям. Образование частиц далеко за пределами кинематической области NN -столкновения не может быть объяснено ферми-движением нуклонов ядра. Поэтому экспериментальные данные ставят вопрос о механизме кумулятивного образования частиц. Прогресс в этом направлении предоставит новую информацию о структуре ядер, взаимодействии частиц высоких энергий с нуклонами или группами нуклонов. В этом смысле исследования по кумулятивному эффекту и ядерному скейлингу одинаково важны как для развития ядерной физики, так и для физики элементарных частиц.

В настоящее время имеется целый ряд моделей кумулятивного эффекта: модель квазидвухчастичного скейлинга, модель флуктонов, модель малонуклонных корреляций, кластерная модель, модель перерассеяний и т.д., некоторые из которых, например, модель малонуклонных корреляций, в отдельных случаях позволяет делать и количественные оценки. Однако данные как теоретических, так и экспериментальных работ пока недостаточны не только для выяснения динамики процесса, но и не дают возможности отдать предпочтение какой-либо одной из моделей, хотя идеи, положенные в основу различных подходов сильно отличаются. Поэтому дальнейшие исследования по данной проблеме крайне необходимы. В частности, актуальной задачей является проверка гипотез кумулятивного эффекта и ядерного скейлинга в процессах, вызванных различными первичными частицами: фотонами, элементарными, нейтрино. Такие экс-

перименты важны прежде всего для проверки существования единого механизма образования кумулятивных частиц различными первичными частицами, а также для создания теории. Определенное преимущество при этом дает использование пучков высокоэнергичных фотонов.

Данные, составляющие основу диссертации, получены до 1977 года и являются началом систематического исследования кумулятивного фотообразования частиц.

Цели и задачи исследования. Основная цель диссертационной работы заключается в проверке гипотез кумулятивного эффекта и ядерного скейлинга в процессе фотообразования кумулятивных протонов при высоких энергиях, и выяснение различий по отношению к аналогичным данным из реакций, протекающих под действием адронов. Задачи, которые предстояло решить, вытекают из поставленной цели, а именно это измерение сечений фотообразования протонов на различных ядрах как в кумулятивной, так и в некумулятивной областях, получение угловых зависимостей сечения, а также исследование зависимостей параметров представления (2) от массового числа ядер, угла вылета протонов и максимальной энергии тормозных фотонов E_γ^{max} .

Научная новизна и значение работы. Данные, вошедшие в диссертацию, получены при энергиях $E_\gamma^{max} \geq 2$ ГэВ и являются первым экспериментальным исследованием фотообразования кумулятивных частиц в этой области.

Впервые показано, что инвариантное сечение имеет вид (2), причем параметр B не зависит от массового числа ядер мишени, не зависит от энергии E_γ^{max} и по величине хорошо согласуется с данными из адрон-ядерных столкновений. Впервые исследо-

рана зависимость параметра $C_{\beta, \rho}$ от массового числа ядер, энергии E_{γ}^{max} . Также впервые получены данные по угловой зависимости сечений (2) и параметров B, C_{ρ} в широком диапазоне углов вылета для различных ядер. Показано, что ядерный скейлинг имеет место в процессах фотообразования на ядрах.

Практическая ценность работы. Основная практическая ценность данных, приведенных в диссертации, в доказательстве возможности использования пучков высокоэнергичных фотонов в исследованиях по образованию кумулятивных частиц. Измеренные инклюзивные сечения могут быть широко использованы при планировании дальнейших экспериментов, позволяют наметить пути развития исследований по данной тематике. Результаты работы использовались различными авторами при проверке теоретических моделей.

Апробация работы и публикации. Полученные в диссертации данные были представлены на ХУШ Международной конференции по физике высоких энергий (Тбилиси, 1976), УП Международной конференции по физике высоких энергий и структуре ядер (Цюрих, 1977) [5]. Международной конференции по ядерной физике и электромагнитным взаимодействиям (Майнц, 1979), вошли в репортерский доклад на XIX Международной конференции по физике высоких энергий (Токио, 1978) и опубликованы в журнале "Ядерная физика", препринтах Ереванского физического института.

Структура диссертации. Диссертация состоит из введения, трех глав и заключения: 148 страниц, в том числе 32 рисунка, 10 таблиц. Список литературы содержит 118 позиций.

СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Введение является аннотацией диссертационной работы. Здесь кратко излагается актуальность проблемы, указывается цель ра-

боты, а также приводятся основные результаты, полученные автором.

Глава I содержит в себе обзор экспериментальных данных по образованию кумулятивных барионов в адрон-ядерных столкновениях и в фотоядерных реакциях. Приводится краткий обзор некоторых из наиболее разработанных теоретических моделей кумулятивного эффекта. При анализе данных основное внимание уделяется экспериментальной проверке гипотез кумулятивного эффекта и ядерного скейлинга, а именно рассматриваются данные по импульсным, угловым зависимостям сечения (2) реакции (I), зависимость параметров $B, C_{\beta, \rho}$ от массового числа ядер, и данные по энергетической зависимости. Показано, что экспериментальные результаты подтверждают гипотезу кумулятивного эффекта и закономерности ядерного скейлинга в процессах, протекающих под действием адронов.

С этой же точки зрения рассмотрены и данные по фотоядерным реакциям. Показано, что проверка вышеуказанных гипотез является актуальной задачей, т.к. к началу исследования в литературе отсутствовали данные по кумулятивному фотообразованию частиц при максимальной энергии тормозных фотонов $E_{\gamma}^{max} > 1,5$ ГэВ. Приводится обзор данных по кумулятивным протонам при низких энергиях (до $E_{\gamma}^{max} = 1,5$ ГэВ). Отмечается обнаруженная на опыте аналогия в спектрах протонов из реакции (I) в случаях, когда частица α адрон или фотон ($E_{\gamma}^{max} < 1,5$ ГэВ). Кратко излагаются результаты, полученные автором до 1977 года, и делается краткий обзор некоторых данных, полученных после опубликования основных результатов, вошедших в диссертацию. Рассматриваются также первые результаты по кумулятивным протонам, достигнуты

с использованием нейтринных пучков, из которых следует, что гипотеза ядерного скейлинга не противоречит этим данным.

В теоретическом обзоре кратко рассмотрены модель квазидвух-частичного скейлинга, модель малонуклонных корреляций, флуктонная и кластерная модели. Излагаются идеи, положенные в основу этих моделей, рассмотрены и некоторые другие подходы. Обсуждаются выводы, следующие из сравнения их с экспериментом. Указывается на необходимость дальнейших как теоретических, так и экспериментальных исследований с целью выяснения физической сущности кумулятивного эффекта.

Глава II посвящена общему описанию методики и используемой экспериментальной установки. Измерения были проведены на пучке тормозных фотонов тракта Г-3 Ереванского синхротрона. Мониторирование пучка осуществлялось квантометром гауссовского типа путем измерения полного заряда, выделенного в квантометре, пропорционального полной энергии пучка. Все данные нормировались на число эквивалентных γ -квантов

$$Q = \frac{q}{C \cdot E_{\gamma}^{max}} \quad (3)$$

где q - заряд, выделенный в квантометре, E_{γ}^{max} - максимальная энергия тормозных γ -квантов, C - константа прибора, определяемая при его калибровке. Относительные ошибки $\Delta Q/Q$ не превышали $\pm 2\%$.

Идентификация протонов в инклюзивной реакции (I) основывалась на методе измерения ионизационных потерь при фиксированном остаточном пробеге.

Использовался сцинтилляционный пробегный телескоп из пяти

счетчиков с медным замедлителем переменной толщины [1]. Для учета вклада ложных остановок использовался черенковский счетчик из оргстекла, расположенный между первым счетчиком и замедлителем. Радиотехническая регистрирующая система была собрана на основе стандартных блоков EGG. Пробегный телескоп был калиброван на ручке электронов с импульсом больше 1 Гэв/с и релятивистскими частицами, образованными в мишени, скорость которых $\beta \geq 0,65$. Результаты калибровки указанными двумя способами совпадали. Для всех счетчиков телескопа были получены эффективности регистрации релятивистских частиц и зависимости амплитуды импульсов от места прохождения частиц через счетчик. Полная эффективность пробегного телескопа составляла 87%. Пробегный телескоп позволял надежно идентифицировать протоны на фоне релятивистских частиц и X^{\pm} -мезонов в интервале кинетических энергий протонов от 64 Мэв до 290 Мэв. Ширина энергетического захвата регистрации протонов составляла соответственно $\delta T = 18$ Мэв и $\delta T = 6,3$ Мэв. Погрешность их определения, обусловленная наличием конечных порогов регистрирующих систем, во всех случаях не превышала 0,16% от величины δT и потому не учитывалась. На рис. I приведены спектры ионизационных потерь протонов и X^{\pm} -мезонов, полученные при помощи пробегного телескопа. Из рис. I видно, что выделение протонов на фоне других частиц хорошее. Телескоп позволял проведение измерений без использования анализатора импульсов. Однако для надежности все экспериментальные данные извлекались из показаний анализатора. Измерения проводились при постоянном контроле фона случайных совпадений, который во всей серии измерений не превышал 3%.

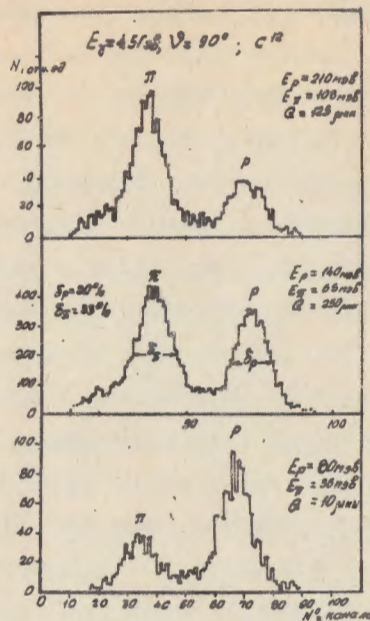


Рис.1

Спектры ионизационных потерь π^\pm -мезонов и протонов в счетчике пробного телескопа

Глава III посвящена исследованию фотообразования инклюзивных протонов на различных ядрах при максимальных энергиях тормозных γ -квантов $E_\gamma^{max} = 2$ Гэв, 3 Гэв и 4,5 Гэв как в кумулятивной области, так и вне этой области [2+8]. В данные вносились поправки, связанные с ядерным поглощением, многократным рассеянием протонов в веществе телескопа и мишени, а поправки, связанные с уменьшением интенсивности пучка γ -квантов из-за образования e^+e^- -пар в мишени. В работе получены:

- зависимости инвариантного сечения (2) реакции (1) от квадрата импульса инклюзивных протонов, кинетическая энергия которых составляла $T = 64$ Мэв, 80 Мэв, 101 Мэв, 137 Мэв, 209 Мэв, 279 Мэв, для углов вылета $\vartheta = 60^\circ, 90^\circ$ и 150° при энергиях $E_\gamma^{max} = 2$ Гэв и 3 Гэв на ядрах $^{12}C, ^{27}Al, ^{63}Cu, ^{113}Sn, ^{208}Pb$, а при энергии $E_\gamma^{max} = 4,5$ Гэв для углов $46^\circ, 86^\circ$ и 136° на ядре ^{12}C ;

- зависимость параметров B, C_γ и $C_p = \frac{C_\gamma}{\sigma_{tot}^A}$ (σ_{tot}^A - полное адронное сечение взаимодействия фотонов с ядром A) от массового числа ядер при $E_\gamma^{max} = 2$ Гэв и 3 Гэв, а также зависимость B и C_γ от E_γ^{max} для ядер ^{12}C ;

- угловые зависимости инвариантного сечения (2) при $E_\gamma^{max} = 4,5$ Гэв для трех ядер $^{12}C, ^{63}Cu$ и ^{208}Pb в широком интервале углов вылета ($20^\circ \leq \vartheta \leq 160^\circ$ с шагом 10°) и кинетических энергий протонов $T = 80$ Мэв, 100 Мэв, 136 Мэв, 180 Мэв, 208 Мэв и 290 Мэв;

- угловая зависимость параметров B и C_p в указанном выше интервале углов для всех ядер ($^{12}C, ^{63}Cu, ^{208}Pb$).

На рис.2 приведены зависимости сечения f от p^2 для ядер $^{12}C, ^{63}Cu$ и ^{208}Pb при $E_\gamma^{max} = 3$ Гэв для трех углов $\vartheta = 60^\circ, 90^\circ$ и 150° . Аналогичные данные получены при 2 Гэв и 4,5 Гэв. Все спектры имеют экспоненциальный вид (2) и характеризуются параметрами наклона B , слабо зависящим от A (при данном угле) и увеличивающимся с ростом угла вылета. Полученное значение $B = (11,26 \pm 0,481)(\text{Гэв}/c)^{-2}$ при $E_\gamma^{max} = 4,5$ Гэв и угле $\vartheta = 136^\circ$ хорошо согласуется с данными, когда первичная частица адрон.

На основе полученных данных в работе показано, что параметр

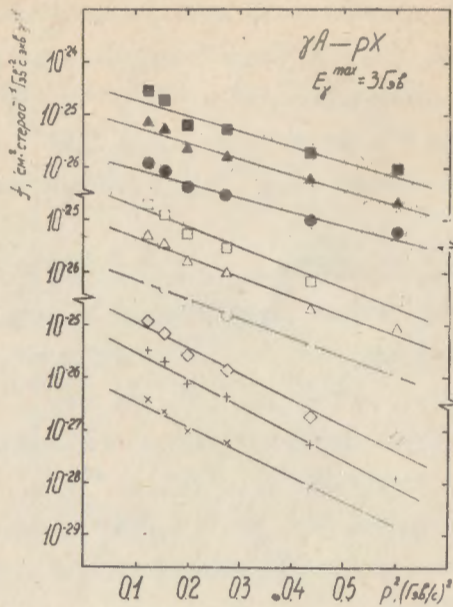


Рис.2

Зависимость инвариантного сечения f от квадрата импульса протона ρ^2 при $E_y^{max} = 3$ Гэв. Экспериментальные точки: \blacksquare , \blacktriangle и \bullet при угле $\vartheta = 60^\circ$ для ядер ^{12}C , ^{63}Cu и ^{208}Pb соответственно; \square , \triangle и \circ - то же при угле $\vartheta = 90^\circ$; \times , \dagger и \diamond - то же при угле $\vartheta = 150^\circ$. Сплошные линии проведены методом наименьших квадратов

B не зависит от массового числа ядер A с точностью 10% и в пределах 15% не зависит от энергии E_y^{max} . Что касается зависимости параметров C_f и C_p от A , то при всех углах вы-

лета она имеет вид $C_f \sim A^{n_f}$ и $C_p \sim A^{n_p}$ ($E_y^{max} = 2$ Гэв, 3 Гэв). При этом показатель $n_f \approx 1$ при $\vartheta = 60^\circ$ в некумулятивной области, и $n_f \approx 1,3$ при $\vartheta = 150^\circ$ (кумулятивная область). Соответственно, показатель n_p растет с ростом угла и в кумулятивной области достигает значения $n_p \approx 0,3$ при $\vartheta = 150^\circ$. Значения показателей n_f и n_p для трех углов вылета и энергий $E_y^{max} = 2$ Гэв и 3 Гэв приведены в таблице I.

Таблица I
Значения показателей степени n_f и n_p зависимостей параметров $C_f \sim A^{n_f}$ и $C_p \sim A^{n_p}$ от массового числа ядер

ϑ	E_y^{max}	n_f		n_p	
		2 Гэв	3 Гэв	2 Гэв	3 Гэв
60°		1,02±0,078	1,10±0,036	0,07±0,081	0,10±0,020
90°		1,16±0,038	1,12±0,024	0,16±0,055	0,11±0,018
150°		1,34±0,061	1,27±0,088	0,30±0,081	0,21±0,120

Сравнение с аналогичными данными, когда первичная частица адрон, для которых $n_{fHA \rightarrow pX} \approx 4/3$ и $n_{pHA \rightarrow pX} \approx 2/3$ в кумулятивной области, указывает на близость значений n_f в обоих случаях. Показатели n_p при этом различны. В работе делается заключение по зависимости C_f от E_y^{max} (ядра ^{12}C). Для всех углов C_f растет с ростом E_y^{max} от 2 Гэв до 4,5 Гэв. С увеличением угла вылета протонов зависимость от энергии ослабля-

ется. Данные позволяют также судить о зависимости параметра

$$C_p = C_p(E_j^{max}).$$

Из результатов по кумулятивным протонам ($\vartheta \geq 90^\circ$), которые являются первыми в фотоядерных реакциях при энергии $E_j^{max} > 2$ Гэв, делаются следующие основные выводы:

а) инвариантное сечение $f = \frac{E}{p^2} \cdot \frac{d^2B}{d\Omega d\rho}$ имеет экспоненциальный вид (2);

б) параметр B не зависит (с точностью 10%) от массового числа ядер A , не зависит (в пределах 15%) от энергии E_j^{max} и по величине хорошо согласуется с аналогичными данными из адрон-ядерных столкновений;

в) $C_j \sim A^{n_j}$, где $n_j > 1$ для всех углов в интервале $60^\circ \leq \vartheta \leq 150^\circ$, а $C_p \sim A^{n_p}$ и при $\vartheta = 150^\circ$ $n_p \approx 0.3$;

г) значение $n_j \approx 1,3$ согласуется с аналогичными данными когда первичная частица адрон, но значения n_p различаются;

д) параметр C_j зависит от E_j^{max} : C_j растет с ростом E_j^{max} .

В работе приводятся подробные угловые зависимости сечений f . На рис.3 приведены эти зависимости для ядер ^{63}Cu . Аналогичные данные получены на ^{12}C и ^{208}Pb . Для всех ядер угловые зависимости сечений имеют одинаковый характер: сечение резко падает с ростом угла; с увеличением энергии протонов сечение падает быстрее; при углах $\vartheta > 140^\circ$ проявляется тенденция к выполаживанию сечения; при переходе через границу кумулятивной области (на рис.3 отмечены стрелками) особенностей в поведении сечений нет. Полученные в работе угловые зависимости сечений использовались авторами малонуклонных корреляций и авторами кластерной модели для сравнения с расчетами

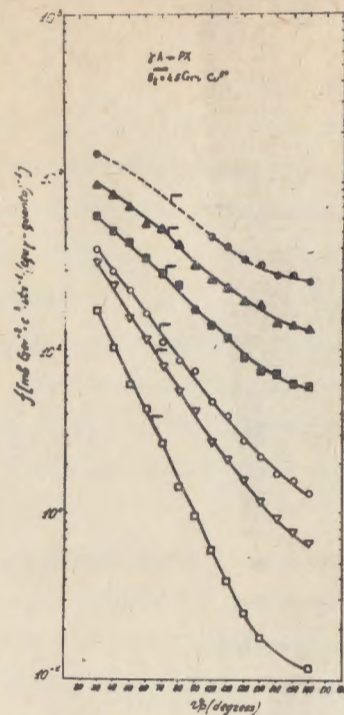


Рис.3

Угловые зависимости инвариантных сечений f при $E_j^{max} = 4,5$ Гэв для ядер ^{63}Cu . Экспериментальные точки: Φ - кинетическая энергия протонов $T = 80$ Мэв, Δ - $T = 100$ Мэв, \square - $T = 136$ Мэв, \circ - $T = 180$ Мэв, ∇ - $T = 208$ Мэв, \square - $T = 290$ Мэв

по этим моделям: расчеты удовлетворительно согласуются с экспериментальными данными.

В работе приведены подробные угловые зависимости параметров

B и C_p сечения (2) при $E_\gamma^{max} = 4,5$ Гэв. На рис.4 представлены зависимости B от угла для ядер ^{12}C , ^{63}Cu и ^{208}Pb .

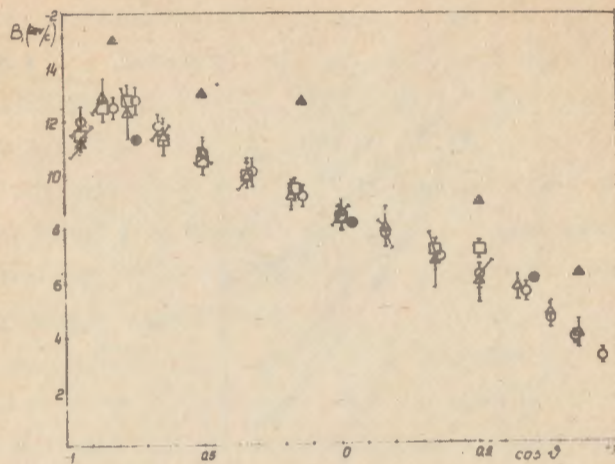


Рис.4

Угловая зависимость параметра наклона B инвариантного сечения (2) при $E_\gamma^{max} = 4,5$ Гэв. Экспериментальные точки: \odot - для ядер ^{12}C , \square - ^{63}Cu , \triangle - ^{208}Pb .

Из рисунка следует, что для всех ядер эти зависимости совпадают: наклон спектров плавно растет с ростом угла, а при углах $\vartheta \geq 140^\circ$ рост замедляется. В зависимости $B = B(\vartheta)$ нет особенностей при переходе через границу кумулятивной области. Сравнение с данными других экспериментов, в которых в качестве первичных частиц использовались адроны (протоны, π -мезоны), фотоны, нейтрино показало, что во всех случаях зависимости $B = B(\vartheta)$ близки по своему характеру. Это согласуется с гипотезой ядерного скейлинга.

Рассматривается также угловая зависимость предэкспоненциального множителя C_p в интервале $20^\circ - 160^\circ$. Из данных следует, что для ядер ^{12}C C_p падает с ростом угла, для ^{63}Cu наблюдается независимость C_p от угла, а для ядер ^{208}Pb значения C_p слабо растут с ростом угла. Показано, что с ростом угла вылета, при переходе из некумулятивной области в кумулятивную наблюдается усиление зависимости параметра C_p от массового числа ядер A .

В заключении приведены результаты, полученные в диссертации:

1) создана экспериментальная установка, позволяющая проведение измерений спектров инклюзивных протонов с кинетическими энергиями в интервале 60 ± 300 Мэв и в диапазоне углов вылета $20^\circ - 160^\circ$;

2) проведено исследование импульсных зависимостей инвариантного сечения (2) инклюзивной реакции (I) в интервале импульсов $0,35 - 0,78$ Гэв/с для углов вылета $60^\circ, 90^\circ, 150^\circ$ и ядер ^{12}C , ^{27}Al , ^{63}Cu , ^{118}Sn , ^{208}Pb при максимальной энергии тормозных γ -квантов $E_\gamma^{max} = 2$ Гэв и 3 Гэв, и для углов $46^\circ, 86^\circ, 136^\circ$ на ядре ^{12}C при энергии $E_\gamma^{max} = 4,5$ Гэв;

3) исследована угловая зависимость инвариантного сечения (2) инклюзивной реакции (I) при энергии $E_\gamma^{max} = 4,5$ Гэв в области углов вылета протонов $20^\circ - 160^\circ$ и кинетических энергий 80 Мэв, 136 Мэв, 180 Мэв, 208 Мэв, 290 Мэв для трех ядер ^{12}C , ^{63}Cu и ^{208}Pb .

Это позволило сделать следующие выводы:

1) инвариантное сечение $f = \frac{E}{p^2} \cdot \frac{d^2B}{d\Omega \cdot dP}$ хорошо аппроксимируется экспоненциальной зависимостью (2)

2) параметр наклона B распределения (2) не зависит (с

точностью 10%) от массового числа ядер мишени;

3) B не зависит (в пределах 15%) от максимальной энергии первичных фотонов;

4) параметр B по величине хорошо согласуется с аналогичными данными, полученными в адрон-ядерных столкновениях;

5) параметр C_f зависит от максимальной энергии тормозных γ -квантов: с ростом E_γ^{max} в интервале 2 + 4,5 Гэв значения C_f растут;

6) параметр C_f распределения (2) зависит от массового числа ядер как A^{n_f} , где $n_f > 1$ во всем диапазоне углов вылета протонов;

7) значение $n_f \approx 1,3$, полученное при угле вылета 150° , согласуется с данными по A -зависимости сечения образования кумулятивных протонов в адрон-ядерных взаимодействиях, для которых $f_{hA \rightarrow pX} \sim A^{1/3}$;

8) зависимость предэкспоненциального множителя C_p инвариантного нормированного сечения $\rho = C_p \cdot \exp(-B \cdot p^2)$ от энергии E_γ^{max} слабее, чем аналогичная зависимость параметра C_f ;

9) при угле $\vartheta = 150^\circ$ C_p зависит от A по закону $C_p \sim A^{n_p}$, где значение $n_p \approx 0,3$ не согласуется с показателем, полученным в адрон-ядерных столкновениях, для которых $C_p \sim A^{2/3}$;

10) угловая зависимость инвариантного сечения (2) обладает резкой направленностью вперед, которая растет с ростом энергии регистрируемого протона;

11) характер угловых зависимостей сечений остается неизменным в широком интервале массовых чисел от $A = 12$ до $A = 208$;

12) для всех ядер и кинетических энергий при углах $\vartheta > 140^\circ$ наблюдается тенденция выхода сечения на константу;

13) угловые зависимости сечений имеют регулярный характер как в кумулятивной, так и в некумулятивной областях, при переходе через границу кумулятивной области особенностей в поведении сечения нет;

14) полученные в работе угловые зависимости удовлетворительно объяснены авторами модели малонуклонных корреляций и кластерной модели;

15) параметр наклона B в (2) является плавной функцией угла вылета в широком диапазоне углов, не зависящей от массового числа ядер: значения B растут с ростом угла вылета для всех ядер и при углах $\vartheta \geq 140^\circ$ рост замедляется;

16) с ростом угла при переходе из кумулятивной области в некумулятивную область в поведении $B = B(\vartheta)$ нерегулярностей нет;

17) угловая зависимость $B = B(\vartheta)$, полученная в работе, хорошо согласуется с аналогичными данными из реакций под действием различных первичных частиц ($p, \pi, \nu, \bar{\nu}$), и качественно объясняется моделью малонуклонных корреляций;

18) угловая зависимость параметра C_p отличается для легких и тяжелых ядер: для легких ядер ($A = 12$) значения C_p уменьшаются с ростом угла, для средних ($A = 63$) C_p не зависит от угла, для тяжелых ядер ($A = 208$) значения C_p слабо растут с ростом угла; это указывает на усиление A -зависимости C_p с ростом угла, при углах $\vartheta < 90^\circ$ такой зависимости нет.

Опубликованные работы по теме диссертации:

1. Прбежный телескоп для исследования фотоядерных реакций с выходом тяжелых частиц /Аланакян К.В., Егтян К.Ш., Оганджян М.С., Шарабян Ю.Г. - Ереван, 1976-22 с. (Научное сообщение/ Ереван. физ. ин-т: ЕФИ-155(76)).
2. Исследование реакции (γ, p) при максимальной энергии тормозных фотонов 4,5 Гэв /Аланакян К.В., Оганджян М.С., Шарабян Ю.Г. - Ереван, 1974-14 с. (Научное сообщение /Ерев. физ. ин-т: ЕФИ-54(74)).
3. Invariant effects at the emission of protons from different nuclei irradiated with bremsstrahlung of maximum energy 2-4.5 GeV. I/ Amaryan M.J., Demirchyan R.A., Sharabyan Yu.G. et al.-Erevan, 1976-p.14 (Scientific report/Erev.phys.inst.: EPI-173(19)-(76)).
4. Invariant effects at the emission of protons from different nuclei irradiated with bremsstrahlung of maximum energy 2-4.5 GeV. II/ Alanakyan K.V., Egiyan K.Sh., Ogandzhanyan M.S., Sharabyan Yu.G.- Erevan, 1976 - p.15 (Scientific report/ Erev.phys.inst.: EPI-174(20)-(76)).

5. Momentum spectra of protons from different nuclei irradiated with bremsstrahlung of maximum energy 4.5 GeV at emission angle 20° - 160° /Alanakyan K.V., Amaryan M.D., Sharabyan Yu.G. et al. - 7-th International conf. on high-energy phys. and nuclear structure. (Zurich, August 29 through September 2, 1977): Abstract volume of conference proceedings / SIN-Swiss Inst. for Nucl. Research, 5234 Villigen, Switzerland, 1977.-p.146.
6. Исследование инклюзивного фотообразования протонов тормозными γ -квантами с максимальной энергией 2,0-4,5 Гэв /Аланакян К.В., Амарян М.Дж., Шарабян Ю.Г. и др. - Ядерн. физ. 1977, т.9, вып.3, с.545-554.
7. Угловая зависимость параметров B и C нормированного инвариантного сечения $\rho = C \cdot \exp(-B \cdot p^2)$ реакции $\gamma + A \rightarrow p + A'$ при максимальной энергии тормозных γ -квантов 4,5 Гэв /Аланакян К.В., Амарян М.Дж., Шарабян Ю.Г. и др. - Ядерн. физ., 1977, т.26, вып.5, с.1018-1021.
8. Угловое распределение фотопротонов из ядер ^{12}C , ^{63}C и ^{208}Pb облученных тормозными γ -квантами с максимальной энергией 4,5 Гэв /Аланакян К.В., Амарян М.Д., Шарабян Ю.Г. и др. - Ереван, 1977-14с. (Научное сообщение/Ереванск. физ. ин-т :ЕФИ-220 (12)-77).