

ЕРЕВАНСКИЙ ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

На правах рукописи

ГРИГОРЯН ЛЕВОН АРШАЛУЙСОВИЧ

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ АДРОНОВ И ФОТОНОВ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ
С ЛЕГКИМИ ЯДРАМИ В ТЕОРИИ КОМПЛЕКСНЫХ МОМЕНТОВ

01.04.02 - теоретическая и математическая физика

Автореферат диссертации на соискание
ученой степени кандидата физико-математических наук.

ЕРЕВАН - 1979

Работа выполнена в Ереванском физическом институте

Научный руководитель – кандидат физико-математических наук,
старший научный сотрудник

В.А.Шахбазян

Официальные оппоненты: доктор физико-математических наук

О.В.Канчели (ИФ АН ГрССР)

кандидат физико-математических наук

С.Р.Геворкян (ЕрФИ)

Ведущая организация – Институт физики высоких энергий

(Серпухов)

Защита состоится " ____ " _____ 19 ____ г. в ____ час. на
заседании специализированного совета Д 034.03.01 по защите дис-
сертаций на соискание ученой степени доктора наук при Ереванском
физическом институте (375036, Ереван-36, ул.Маркаряна, 2, ЕрФИ).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ЕрФИ

Автореферат разослан " ____ " _____ 1979 г.

Ученый секретарь специа-
лизированного совета

В.А.Шахбазян

Актуальность темы. Теория взаимодействий высокоэнергичных адронов с атомными ядрами была построена первоначально для упругого взаимодействия и получила название глауберовской теории многократных перерассеяний. Сравнение с экспериментом показало, что она применима в достаточно широкой области энергий и переданных импульсов.

В дальнейшем теория развивалась в нескольких направлениях. Была проделана большая работа по улучшению описания упругих взаимодействий путем более детального учета структуры ядра и амплитуды адрон-нуклонного взаимодействия, в нее удалось включить некоторые дифракционные процессы рождения адронов, некогерентные процессы, делались попытки применения теории к взаимодействиям ядер с ядрами.

Амплитуды теории многократных перерассеяний Глаубера были получены также методом фейнмановской диаграммной техники, что позволило четко определить границы применимости теории Глаубера и лучше понять физический смысл предположений, лежащих в ее основе. Кроме того, было показано, что при энергиях налетающего адрона порядка нескольких Гэв происходит изменение природы экранировки и при более высоких энергиях наряду с упругой экранировкой существенную роль начинает играть неупругая экранировка, последовательный учет которой в рамках глауберовской теории многократных перерассеяний невозможен.

Запись адрон-ядерных взаимодействий на языке фейнмановских диаграмм очень удобна для учета спиновой структуры процессов. Такое рассмотрение было последовательно проведено Альбери и Бертоучи для упругого πd -рассеяния.

Дальнейшее развитие теории высокоэнергичных адрон-ядерных взаимодействий связано с теорией комплексных моментов. В частности, Канчели и Матинян, опираясь на реджеонную диаграммную технику Грибова, развили реджеонную диаграммную технику для описания адрон-ядерных взаимодействий и получили предсказания для асимптотики этих процессов. Однако следует заметить, что диаграммная техника, полученная этими авторами, не была приспособлена для количественного описания адрон-ядерных взаимодействий при конечных энергиях.

Очень плодотворным, применительно к адрон-ядерным взаимодействиям является предположение о том, что с ростом энергии налетающего адрона область взаимодействия растет как $\frac{1}{\mu} \frac{E_L}{m_n}$ (где μ - некоторая масса, характерная для сильных взаимодействий - в дальнейшем мы будем считать ее равной массе нуклона $\mu = m_n$, E_L - энергия налетающего адрона в лабораторной системе, m_n - его масса).

Этот вопрос впервые дискутировался в работе Грибова, Иоффе, Померанчука в 1965г. и с того времени находится в центре внимания теоретиков, изучающих высокоэнергичные адрон-адронные и адрон-ядерные взаимодействия. В настоящее время можно утверждать, что эксперименты по множественному рождению адронов на ядрах подтверждают правильность этого предположения.

Теперь легко видеть, что в адрон-ядерных взаимодействиях можно выделить следующие области энергий:

$$\frac{E_L}{m_n} \ll R m_n \quad \text{область (I),}$$

$$\frac{E_L}{m_n} \sim R m_n \quad \text{область (II),}$$

$$\frac{E_L}{m_n} \gg R m_n \quad \text{область (III)}$$

где R - радиус ядра.

Область (I) мы в дальнейшем будем называть областью Глаубера, т.к. теория Глаубера в этой области соответствует пространственно-временной картине взаимодействий. Область (I) характеризуется тем, что перерасеяния налетающего адрона на нуклонах ядра происходят последовательно во времени (или на языке фейнмановских диаграмм, в этой области энергий дают вклад планарные диаграммы).

Область (II) мы, следуя традиции, назовем областью Глаубера-Грибова. Она характеризуется тем, что в этой области энергий в перерасеяния дают вклад как планарные, так и непланарные диаграммы.

Область (III) представляет собой область энергий, в которую могут давать вклад только непланарные диаграммы.

Теория многократных перерасеяний Глаубера, в основе которой лежит предположение о временной последовательности перерасеяний, в области (III) становится физически неудовлетворительной, и встает вопрос о правильном описании процессов в этой области.

Как известно, результаты теории комплексных моментов с $\alpha_p(0) > 1$ для адрон-нуклонных взаимодействий существенно отличаются от результатов теории с $\alpha_p(0) = 1$, как при достижимых энергиях, так и в асимптотике. Для лучшего понимания природы сильных взаимодействий такое рассмотрение нужно провести и для адрон-ядерных взаимодействий. В частности, очень информативным является изучение полных сечений при асимптотически больших энергиях. В теории Глаубера полные сечения адрон-ядерных взаимодействий пропорциональны $A^{2/3}$ (где A - атомный номер). Канчели и Матинян показали, что такое поведение имеет место и в теории комплексных моментов с $\alpha_p(0) = 1$, причем оно асимптотически обеспечивается

тем, что взаимодействие осуществляется посредством "верных" диаграмм. Однако в литературе совершенно не рассмотрен вопрос о поведении адрон-ядерных полных сечений при асимптотически больших энергиях в теории комплексных моментов с $\alpha_p(0) > 1$.

Основная цель работы - построение формализма для количественного описания адрон-ядерных взаимодействий в области высоких энергий (область III) и его применение для описания имеющихся экспериментальных данных. Рассмотрение асимптотики адрон-ядерных взаимодействий в теории с $\alpha_p(0) > 1$. Рассмотрение применения теории комплексных моментов к недифракционным процессам на ядрах.

Научные результаты и новизна. В диссертации впервые и независимо от других авторов рассмотрены следующие вопросы и получены следующие основные результаты:

1) Получена реджеонная диаграммная техника для адрон-ядерных взаимодействий в энергетическом представлении, как в теории с $\alpha_p(0) = 1$, так и в теории с $\alpha_p(0) > 1$.

2) Проведено сравнение предсказаний теории с экспериментальными данными по дифференциальным и полным адрон-ядерным сечениям в широкой области энергий ИФВЭ и **FNAL**. Получено хорошее согласие, указывающее на то, что в этой области энергий реджеонная диаграммная техника для адрон-ядерных взаимодействий работает хорошо.

3) На основе реджеонной диаграммной техники в теории с $\alpha_p(0) > 1$ рассмотрена асимптотика адрон-ядерных полных сечений. Полученная зависимость полных сечений от атомного номера $[1 - (1 - \frac{1}{A})^A]$ сильно отличается от общепринятого $A^{2/3}$. В частности, в эйкональном пределе теории имеется асимптотическое равенство

$$\sigma_{tot}^{hA}(\infty) \approx \sigma_{tot}^{hN}(\infty)$$

4) Рассмотрен вопрос о корректном учете спиновой структуры адрон (фотон) - ядерных недифракционных процессов. Этот вопрос рассмотрен на конкретном примере процесса $\gamma + {}^4\text{He} \rightarrow \pi^0 + {}^4\text{He}$. Показано, что в этом случае некорректный учет спиновой структуры процессов, принятый в теории Глаубера, приводит к серьезной ошибке даже в области малых передаваемых импульсов ($\bar{Q}^2 \leq 0,2 \text{ ГэВ}^2$).

5) Изучен вклад эффекта Примакова в процесс фоторождения. В области энергий и передаваемых импульсов, рассмотренных в диссертации, его вклад составляет несколько процентов от вклада ядерной части.

Практическая ценность работы. Полученная в диссертации реджеонная диаграммная техника для адрон-ядерных взаимодействий в энергетическом представлении не содержит свободных параметров и вследствие этого обладает большой предсказательной силой. Кроме того, при наличии экспериментальных данных, она позволяет уточнить значения параметров входящих в модели описывающие адрон-нуклонные процессы (например, коэффициенты ливневого усиления). На примере процесса $\gamma + {}^4\text{He} \rightarrow \pi^0 + {}^4\text{He}$ показано, что способ учета спиновой структуры, принятый в теории Глаубера, является некорректным и непригоден для описания спиновой структуры недифракционных процессов.

Структура диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и четырех приложений.

Первая глава посвящена выводу реджеонной диаграммной техники для взаимодействия адронов с ядром ${}^4\text{He}$ в серпуховской области энергий. При этом существенным образом используется предположение о росте с энергией налетающего адрона продольных размеров сильных взаимодействий, что позволяет при высоких энергиях брать

вершину испускания реджеонов налетающим адроном в адрон-ядерных процессах в таком же виде, что и в адрон-адронных процессах. Получаемая при этом предположении реджеонная диаграммная техника для адрон-ядерных взаимодействий не содержит свободных параметров и полностью задается реджеонной диаграммной техникой для адрон-адронных взаимодействий.

В § 1 выписаны общие формулы реджеонной диаграммной техники для адрон-ядерных взаимодействий, которые необходимы для построения энергетического представления. Из них получены амплитуды взаимодействия адронов с ядром ${}^4\text{He}$ в квазиэйкональной модели и показано, что в эйкональном пределе получаются амплитуды теории многократных перерассеяний Глаубера. В § 2 рассмотрено упругое рассеяние π^\pm -мезонов на ядре ${}^4\text{He}$ и связанные с ним процессы. Получены амплитуды этого процесса в энергетическом представлении, приводятся предсказания для эксперимента в области серпуховских энергий, показано, что эксперимент на ядре может помочь уточнению значений коэффициентов ливневого усиления. В § 3 рассмотрено упругое рассеяние K^\pm -мезонов, протонов и антипротонов на ядре ${}^4\text{He}$ в серпуховской области энергий. Выписаны амплитуды соответствующих процессов в энергетическом представлении, сделаны предсказания о полных и дифференциальных сечениях, показано, что теоретические кривые, полученные в разных моделях имеют разное поведение по переданному импульсу, проведено сравнение с имеющимися экспериментальными данными. Параграф 4 является заключительным в первой главе. Здесь мы обсуждаем физический смысл предположений, необходимых для получения реджеонной диаграммной техники для адрон-ядерных взаимодействий в энергетическом представлении и анализируем полученные результаты.

Вторая глава посвящена рассмотрению взаимодействий адронов высоких энергий с легкими ядрами в теории комплексных моментов с $\alpha_p(0) > 1$ в квазиэйкональной модели. В § 1 получены амплитуды упругого рассеяния адронов на легких ядрах в квазиэйкональном приближении. В § 2 рассматривается вклад "усиленных" диаграмм в амплитуду упругого рассеяния адронов на ядрах. Показано, что из-за протяженности ядра такие диаграммы на ядрах имеют иное энергетическое поведение, чем на нуклоне. Делается вывод, что информация о трехреджеонных вершинах, получаемая из инклюзивных адрон-нуклонных сечений, недостаточна для описания полных сечений. В § 3 рассмотрены адрон-дейтронные столкновения в широкой области энергий ИФВЭ и FNAL, выведены выражения для амплитуд и проведено сопоставление с экспериментом. Нетрудно заметить, что эксперимент подтверждает правильность реджеонной диаграммной техники для адрон-ядерных взаимодействий. В § 4 приводятся предсказания для дифференциальных сечений упругого рассеяния адронов на ядре ${}^4\text{He}$ в области энергий FNAL. В § 5 рассмотрены полные сечения столкновений адронов с легкими ядрами в достижимой области энергий. Показано, что ядерный коэффициент ливневого усиления должен быть функцией от энергии, учтен вклад "усиленных" диаграмм в полное сечение. Из сопоставления с экспериментальными данными извлекаются точные значения коэффициентов ливневого усиления. В § 6 мы анализируем точность модели и обсуждаем полученные результаты.

В третьей главе мы рассматриваем адрон-ядерные взаимодействия при асимптотически больших энергиях в теории комплексных моментов с $\alpha_p(0) > 1$.

В § 1 рассматривается адрон-ядерная асимптотическая амплитуда рассеяния в приближении Фруассарона нулевого порядка. В ква-

эйikonальной модели адрон-ядерные полные сечения удовлетворяют асимптотическому равенству

$$\sigma_{tot}^M(\infty) \approx C_N \left[1 - \left(1 - \frac{1}{C_N} \right)^A \right] \sigma_{tot}^{MN}(\infty),$$

где C_N - коэффициент ливневого усиления на нуклоне мишени. В эйikonальном приближении ($C_N = 1$) адрон-ядерные полные сечения асимптотически сравниваются с адрон-адронными. В § 2 рассмотрен вклад "усиленных" диаграмм. Показано, что в асимптотике их вклад сокращается, в противоположность ситуации в теории с $\alpha_p(0) = 1$. Параграф 3 посвящен обсуждению полученных результатов.

В четвертой главе теории комплексных моментов применена для описания недифракционных процессов на ядрах. Такое рассмотрение проведено нами для конкретного случая фоторождения π^0 -мезонов на ядре ${}^4\text{He}$ и показано, что в случае недифракционных процессов корректный учет спиновой структуры необходим даже в случае малых переданных импульсов. В частности, для процесса $\gamma + {}^4\text{He} \rightarrow \pi^0 + {}^4\text{He}$ пренебрежение в амплитуде членами пропорциональными \bar{Q}^2 (где \bar{Q}^2 поперечная часть переданного импульса) принято при рассмотрении спиновой структуры адрон(фотон)-ядерных взаимодействий, при энергиях налетающего фотона порядка нескольких Гэв приводит, при $\bar{Q}^2 \approx 0,2 \text{ (Гэв/с)}^2$, к ошибке в дифференциальных сечениях порядка 30-50%. Этот результат означает, что способ учета спиновой структуры адрон-ядерных процессов, предложенный Франко и Глаубером и в настоящее время являющийся общепринятым, удовлетворителен лишь для дифракционных процессов в области малых передаваемых импульсов.

В § I получены амплитуды фоторождения π^0 -мезонов на ядре

${}^4\text{He}$. Рассмотрена спиновая структура амплитуд и влияние эффекта Примакова. В § 2 приведены результаты численных расчетов и выводы. Показано, что в таких процессах корректный учет спиновой структуры процессов необходим даже в области малых переданных импульсов, а кулоновская часть амплитуды составляет всего несколько процентов от ядерной части и чувствуется лишь при рождении вперед.

В заключении содержится перечень основных результатов, полученных в диссертации.

В приложении I мы, на примере амплитуды двукратного перерассеяния на нуклонах ядра, показываем, как получаются в реджеонной диаграммной технике для адрон-ядерных взаимодействий, амплитуды многократных перерассеяний.

В приложении 2 приведены функции $B_i^{(4)}$, которые входят в амплитуды многократных перерассеяний в случае, когда ядро-мишень описывается оболочечной моделью.

В приложении 3 приведены функции $F_i^{(4)}$, также входящие в амплитуды многократных перерассеяний.

В приложении 4 выписана связь между инвариантными амплитудами и t -канальными спиральными амплитудами процесса $\gamma + N \rightarrow \pi^0 + N$.

Полученные в диссертации результаты докладывались на Всесоюзных и Международных конференциях, сессиях ОЯФ АН СССР и семинарах ЕРФИ.

Основное содержание диссертации опубликовано в работах, указанных в библиографии.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Л.А.Григорян, В.А.Шахбазян. Препринт ЕФИ-182(28)76;
ЛФ, 25, 842, 1977;
2. Л.А.Григорян, В.А.Шахбазян. Научное сообщение ЕФИ-183(29)76.
3. Л.А.Григорян, В.А.Шахбазян. Препринт ЕФИ-213(5)77;
ЯФ, 27, 256, 1978.
4. Л.А.Григорян, В.А.Шахбазян. Препринт ЕФИ-246(39)77;
ЯФ, 27, 1046, 1978.
5. Л.А.Григорян, В.А.Шахбазян. Препринт ЕФИ-274(67)77;
ЯФ, 28, 179, 1978.
6. Л.А.Григорян, В.А.Шахбазян. Препринт ЕФИ-304(29)78;
ЯФ, 28, 1372, 1978г
7. Л.А.Григорян, В.А.Шахбазян. Научное сообщение ЕФИ-352(10)79.

Тех. редактор А.С.Абрамян

Заказ 234

ВФ-00043

Тираж 160

Издано отделом научно-технической информации Ереванского
физического института, Ереван-36, пер. Маркаряна 2