

Д-795

**ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ**  
**ЛАБОРАТОРИЯ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ**

2 - 8451

ДУБНИЧКА  
Станислав

**ИССЛЕДОВАНИЕ АДРОН-ЯДЕРНЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ**  
**И ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СТРУКТУРЫ**  
**НЕКОТОРЫХ ЧАСТИЦ**  
**НА ОСНОВЕ АНАЛИТИЧНОСТИ**

Специальность 01.04.02 - теоретическая  
и математическая физика

Автореферат диссертации на соискание ученой степени  
кандидата физико-математических наук

(Диссертация написана на русском языке)

Дубна 1974

Работа выполнена в Лаборатории теоретической физики  
Объединенного института ядерных исследований.

Научный руководитель  
доктор физико-математических наук

В. А. МЕЩЕРЯКОВ.

Официальные оппоненты:  
доктор физико-математических наук

А. Т. ФИЛИПОВ,

доктор физико-математических наук

Л. В. ФИЛЬКОВ.

Ведущее научно-исследовательское учреждение - Математический  
институт СО АН СССР.

Автореферат разослан " " \_\_\_\_\_ 1974 года.

Защита диссертации состоится " " \_\_\_\_\_ 1975 года  
на заседании Ученого совета Лаборатории теоретической фи-  
зики Объединенного института ядерных исследований.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ОИЯИ.

Ученый секретарь Совета

Р. А. АСАНОВ

2 - 8451

ДУБНИЧКА  
Станислав

ИССЛЕДОВАНИЕ АДРОН-ЯДЕРНЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ  
И ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СТРУКТУРЫ  
НЕКОТОРЫХ ЧАСТИЦ  
НА ОСНОВЕ АНАЛИТИЧНОСТИ

Специальность 01.04.02 - теоретическая  
и математическая физика

Автореферат диссертации на соискание ученой степени  
кандидата физико-математических наук

(Диссертация написана на русском языке)

Объединенный институт  
ядерных исследований  
БИБЛИОТЕКА

В последние годы можно отметить интенсивное использование аналитичности при изучении адрон-ядерных взаимодействий. Мы имеем в виду не только динамические модели /1-4/, основанные на аналитичности, в рамках которых делаются попытки описать и объяснить существующие экспериментальные данные, а главным образом применение аналитичности как вспомогательного средства, комбинируя которое с экспериментальной информацией об одной физической величине, представляется возможность предсказать значения других физических величин /5-15/.

Настоящая диссертационная работа посвящена именно последнему подходу к изучению адрон-ядерных взаимодействий /8,10,11/. Кроме этого, в диссертации изучается электромагнитная структура некоторых частиц /16-20/, информация о которой является необходимой при определении адрон-ядерных констант связей на основе данных по дифференциальному сечению рассеяния заряженных адронов на ядрах.

Диссертация состоит из трех глав, введения и заключения. Каждая глава снабжена аннотацией.

Во введении резюмировано историческое развитие применения аналитичности в физике микромира, а также кратко излагаются основные результаты диссертации.

Все результаты диссертации были получены на основе использования аналитичности (в разных видах), и поэтому первая глава посвящена изучению аналитических свойств амплитуды рассеяния.

Известно, что до сих пор не существует ни одного строгого доказательства аналитических свойств амплитуды адрон-ядерного взаимодействия на основе принципов локальной квантовой теории поля. Аналитичность в этом случае постулируется на основе следующей

процедуры: предполагается, что правильную информацию о расположении особенностей (полюсов и разрезов) можно получить путем изучения аналитических свойств диаграмм Фейнмана, соответствующих членам формального ряда теории возмущений. Метод нахождения особенностей продемонстрирован на конкретном примере общей диаграммы четвертого порядка.

В конце главы приведены ближайшие особенности для упругого  $\pi N \rightarrow \pi N$ ,  $nD \rightarrow nD$ ,  $nN \rightarrow nN$ ,  $nC \rightarrow nC$  и  $nN \rightarrow nN$  рассеяния, полученные автором /8, 10, 11/ и использованные во второй главе диссертации.

Во второй главе изучаются адрон-ядерные взаимодействия на основе аналитичности, используемой как в энергетической плоскости, так и в плоскости угла рассеяния  $\alpha \rightarrow \alpha$ .

Первый параграф посвящен адрон-ядерным дисперсионным соотношениям для рассеяния вперед. После обсуждения общего метода и нескольких результатов, полученных ранее, основное внимание уделено анализу упругого  $\pi N \rightarrow \pi N$ -рассеяния вперед, проделанному на основе дисперсионного подхода автором диссертации /8/. Исходной является информация о расположении особенностей (определенных в главе I) амплитуды  $f(\omega)$  процесса  $\pi N \rightarrow \pi N$  в комплексной плоскости полной энергии  $\omega$  налетающего  $\pi$ -мезона в лабораторной системе для рассеяния вперед ( $t=0$ ). Применяя к функции  $f(\omega)$  формулу Коши, получаем следующее дисперсионное соотношение (ДС) для рассеяния вперед (используется естественная система единиц

$\hbar = c = m_\pi = 1$ ,  $m_\pi$  - масса пиона)

$$\text{Re} f(\omega) = \text{Re} f(1) + \frac{2(\omega^2 - 1)}{\pi} \mathcal{P} \int_{\omega_{TN}}^{\infty} \frac{\omega' \text{Im} f(\omega')}{(\omega'^2 - 1)(\omega'^2 - \omega^2)} d\omega', \quad (I)$$

где  $\omega_{TN}$  - порог процесса  $\pi N \rightarrow \pi N$  (Т значит или  $N^3$ , или  $He^3$ ),

который является ответственным за нефизическую область

$\omega_{TN} < \omega < 1 [m_\pi]$  и  $\text{Re} f(1)$  - константа вычитания.

Константа вычитания - значение  $\text{Re} f(\omega)$  на пороге упругого  $\pi N \rightarrow \pi N$ -рассеяния - полностью определяется значением реальной части комплексной S-волновой длины рассеяния, полученным на основе низкоэнергетических данных фазы  $\delta_0$ .

Мнимая часть амплитуды в нефизической области находится при помощи аналитического продолжения амплитуды в приближении нулевого эффективного радиуса, в части физической области с помощью оптической теоремы по данным относительно  $\sigma_{tot}$  и в асимптотической области - на основе некоторых модельных предположений.

Оценивая таким путем правую часть в (ДС) (I) и сравнивая ее с данными по  $\text{Re} f(\omega)$ , мы пришли к заключению о том, что данные по  $\sigma_{tot}$  в области резонанса противоречат дисперсионному соотношению. Отсюда был сделан вывод о желательности дальнейших измерений  $\sigma_{tot}$  в области резонанса и предсказан характер и величина ожидаемых изменений, которые были впоследствии подтверждены на опыте /9, 21/.

Во втором параграфе рассматривается определение адрон-ядерных констант связей на основе данных по дифференциальному сечению  $\frac{d\sigma}{d\Omega}$  рассеяния адронов на ядрах и аналитических свойств амплитуды в  $\alpha \rightarrow \alpha$ -плоскости, где  $\alpha$  - угол рассеяния в системе центра масс.

В нашем подходе /10, 11/ мы воспользуемся аналогией с физикой элементарных частиц и рассматриваем ядра как бесструктурные объекты, характеризующиеся определенным набором квантовых чисел. Адрон-ядерные константы связи определяются как мера силы взаимодействия частиц в вершинах диаграмм Фейнмана и явно вводятся как неиз-



вестные величины в эффективные лагранжианы соответствующих взаимодействий. В этом случае существует однозначная связь между определенными выше адрон-ядерными константами связи и вычетами амплитуды в соответствующих полюсах, которые выступают в качестве неизвестных параметров в адрон-ядерных дисперсионных соотношениях для рассеяния вперед.

Опишем метод определения адрон-ядерных констант связей на основе данных по дифференциальным сечениям при фиксированном значении энергии. В нем используются особенности амплитуды по переменным  $t$  и  $u$ , которые затем пересчитываются с помощью известных кинематических соотношений в  $s$ -плоскость.

Для максимального использования аналитических свойств амплитуды рассеяния<sup>/22,23/</sup> комплексная  $s$ -плоскость конформно отображается в унифокальный эллипс  $z$ -плоскости так, что разрывы переходят в эллипс, а интервал, на котором заданы экспериментальные данные, переходит в интервал  $-1 \leq z \leq +1$ . Полюса отображаются внутрь эллипса на действительную ось. Они могут быть устранены обычным способом, а оставшаяся функция разлагается в ряд по полиномам Чебышева

$$(z - z_{pole})^2 \frac{dG}{d\Omega} = \sum_{m=1}^M A_m B_m T_m(z), \quad (2)$$

где  $B_m = (R^{-2(m-1)} + R^{-2(m-1)} + 2 \int_{m-1,0}^{m-1} )^{-1/2}$ ,  $R$  - сумма полюсов эллипса, а  $A_m$  - свободные параметры, определяющиеся процедурой фитирования соответствующих экспериментальных данных по  $\frac{dG}{d\Omega}$ . Полиномиальное разложение в соотношении (2) используется для аналитического продолжения из физической области в соответствующий полюс амплитуды и вычисления квадрата вычета

$$\lim_{z \rightarrow z_{pole}} [z(x) - z(x_{pole})]^2 \frac{dG(z)}{d\Omega} \equiv (\text{Res}_{pole})^2 = \sum_{m=1}^M A_m B_m T_m(z_{pole}), \quad (3)$$

из которого выделяется значение константы связи. Для этого необходимо знать явный вид полюсного члена инвариантной амплитуды, который вычисляется из соответствующей полюсной диаграммы Фейнмана при помощи стандартных правил.

В диссертации мы ограничились использованием данных по дифференциальным сечениям упругого рассеяния нейтронов на ядрах ( $D$ ,  $H^3$ ,  $He^3$ ,  $C^{12}$  и  $N^{14}$ ), что позволяет обойти проблему выделения электромагнитных взаимодействий. Были определены следующие константы связи<sup>/10,11/</sup>:  $D_{pn}$ ,  $H^3 D_n$ ,  $C^{12} C^{11}_n$  и  $N^{14} N^{13}_n$ . Определенные таким путем значения констант связей  $D_{pn}$  и  $H^3 D_n$  находятся в хорошем согласии с величинами, полученными на основе дисперсионных соотношений для рассеяния вперед<sup>/6/</sup>.

При определении адрон-ядерных констант связей на основе данных по дифференциальному сечению рассеяния заряженных адронов на ядрах нам нужно заранее знать электромагнитные формфакторы соответствующих частиц.

Последняя, третья глава диссертации посвящена изучению электромагнитной структуры некоторых бесспиновых частиц.

В первом параграфе этой главы рассматривается электромагнитный формфактор  $\pi$ -мезона  $F_{\pi}(t)$ .

В настоящее время существует много моделей, например, теория кирального типа<sup>/24/</sup>, релятивистская кварковая модель<sup>/25/</sup>, квантово-полевые модели<sup>/26/</sup> и другие, в рамках которых физики стремятся теоретически предсказать поведение формфактора  $F_{\pi}(t)$ , которое находилось бы в хорошем согласии с соответствующими экспериментальными данными.

В диссертации электромагнитная структура пиона изучается методами, основанными на аналитических свойствах формфактора в комплексной плоскости переданного четырехимпульса пиона  $t$ .

Используя фазовое представление для  $F_{\pi}(t)$ , полученное на основе метода дисперсионных соотношений, и разумную параметризацию фазы, мы получили простую формулу для  $F_{\pi}(t)$  /16/

$$F_{\pi}(t) = P(t) \frac{(q - q_1)}{(q + q_1)(q + q_2)(q + q_3)} \frac{(i + q_1)(i + q_2)(i + q_3)}{(i - q_1)}, \quad (4)$$

где  $q = +\sqrt{\frac{t-4}{4}}$ ,  $q_i = q_i(m_{\rho}, \Gamma_{\rho})$  ( $i = 1, \dots, 4$ ) и  $P(t)$  - полином не выше второй степени с условием нормировки  $P(0) = 1$ , представляющий вклад неупругих процессов, которые в области  $\rho$ -мезона дают около 12% от унитарного значения.

Формула (4) не только хорошо описывает данные в более широком интервале значений  $t$ , чем, например, хорошо известная формула Гунариса-Сайкурайа /27/, но и одновременно верна как во времени, так и в пространственно-подобных областях (рис. 1). Кроме того, она обладает всеми основными свойствами, такими как правильные аналитические свойства, условие реальности, нормировка  $F_{\pi}(0) = 1$  и удовлетворяет условию двухчастичной унитарности.

В качестве параметров модель использует массу и ширину  $\rho$ -мезона, для которых получены следующие значения

$$m_{\rho} = 778 \pm 4 \text{ Мэв} \quad \Gamma_{\rho} = 152 \pm 4 \text{ Мэв}. \quad (5)$$

Аналитическое выражение для формфактора (4) дает возможность установить поведение  $\text{Re } F_{\pi}(t)$  и  $\text{Im } F_{\pi}(t)$  в резонансной области, а также значение электромагнитного радиуса пиона

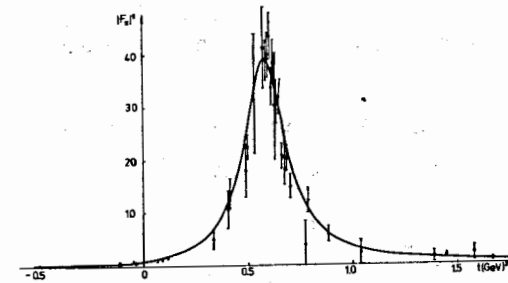


Рис. 1.  
Предсказание  $|F_{\pi}(t)|^2$  на основе формулы (4) и его сравнение с существующими экспериментальными данными.

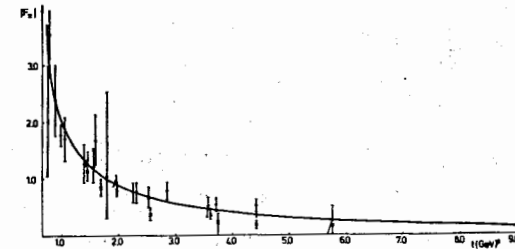


Рис. 2.  
Предсказанное высокоэнергетическое поведение /18/ для  $|F_{\pi}(t)|^2$  и его сравнение с экспериментальными данными.  $\pm$  обозначают данные Фраскати /29/.

$$\langle r^2 \rangle^{1/2} = 0.68 \pm 0.01 \text{ F}, \quad (6)$$

которое незначительно превышает  $\rho$ -доминантное значение<sup>/28/</sup>  
( $\langle r^2 \rangle^{1/2} \approx 0,62 \text{ F}$ ).

Комбинируя эти результаты со специальными предположениями в асимптотической области и правилами сумм

$$1 = \frac{1}{\pi} \int_4^{\infty} \frac{\text{Im } F_{\pi}(t')}{t'} dt' \quad (7a)$$

$$\frac{\langle r^2 \rangle}{6} = \frac{1}{\pi} \int_4^{\infty} \frac{\text{Im } F_{\pi}(t')}{t'^2} dt' \quad (7b)$$

$$\int_4^{\infty} \frac{\text{Re } F_{\pi}(t')}{t' \sqrt{t'-4}} dt' = \frac{\pi}{2}, \quad (8)$$

нам удалось предсказать высокоэнергетическое поведение формфактора<sup>/17,18/</sup> (рис. 2), хорошо описывающее и последние данные, полученные во Фраскати<sup>/29/</sup>.

При помощи следующих правил сумм:

$$\mathcal{Y}_1 = \frac{2}{\pi} \int_4^{\infty} \frac{\ln |F_{\pi}(t')|}{t' \sqrt{t'-4}} dt' \geq 0$$

$$\mathcal{Y}_2 = \int_4^{\infty} \frac{\ln \left| \frac{F_{\pi}(t')}{F_{\pi}(4)} \right|}{(t'-4)^{3/2}} dt' \geq 0 \quad (9a)$$

(знак равенства имеет место только при отсутствии нулей у формфактора), полученных из так называемого модульного представления для  $F_{\pi}(t)$ , мы изучали вопрос о существовании нулей формфактора.

Используя найденное поведение для  $\text{Im } F_{\pi}(t)$  в интервале  $4 \leq t < \infty$ , на основе дисперсионного соотношения без вычитаний мы предсказали поведение  $F_{\pi}(t)$  в пространственно-подобной области, которое подтверждается новейшими экспериментальными данными до  $t = -4 \text{ ГэВ}^2$  /30/.

Здесь же был проведен повторный анализ<sup>/19/</sup> данных о пионном формфакторе, полученных в сотрудничестве *Dubna-ИСЛА* на пучке серпуховских пионов с импульсом 50 Гэв/с<sup>/31/</sup>. Цель анализа - модельно-независимое определение среднеквадратичного радиуса пиона на основе метода<sup>/20/</sup>, предложенного нами для определения электромагнитного радиуса легких ядер со спином, равным нулю, который без модификации можно применить в случае формфактора пиона.

Метод основан на оптимальном использовании аналитических свойств  $F_{\pi}(t)$  в разрезанной комплексной  $t$ -плоскости. С этой целью  $t$ -плоскость конформно отображается в унифокальный эллипс в  $z$ -плоскости так, чтобы область задания экспериментальных данных попала в интервал  $-1 \leq z \leq +1$ , а разрез отобразился на эллипс. Далее мы использовали разложение типа

$$F_{\pi}[z(t)] = 1 + \sum_{n=1}^M A_n B_n [T_n(z) - 1], \quad (10)$$

где обозначения те же, что и в формуле (2).

Фитируя 22 экспериментальных значения из работы<sup>/31/</sup>, мы получили  $\chi^2 = 6.81$  для 21 степени свободы и значение радиуса<sup>/19/</sup>

$$\langle r^2 \rangle^{1/2} = 0.71 \pm 0.05 \text{ F}, \quad (11)$$

которое находится в хорошем согласии со значениями, полученными нами<sup>/16,18/</sup> на основе анализа всех данных, кроме данных *Dubna-ИСЛА* и данных Фраскати<sup>/29/</sup> при высоких энергиях. Этим устранены все сомнения о правильности основных принципов - унитарности и аналитичности<sup>/32/</sup> в случае  $F_{\pi}(t)$  и косвенным способом подтверждена консистентность совместного эксперимента *Dubna-ИСЛА* /31/ с другими экспериментами, в которых измерялись значения пионного формфактора.

Во втором параграфе главы III предложен новый модельно-независимый метод /20/ определения электромагнитного радиуса бесспиновых легких ядер, который основан на оптимальном использовании предполагаемых аналитических свойств электромагнитных форм-факторов. Метод продемонстрирован на примерах вычисления электромагнитного радиуса  $He^4$ ,  $C^{12}$ ,  $O^{16}$  на основе данных по дифференциальным сечениям упругого рассеяния электронов на этих ядрах.

Основные результаты диссертации докладывались на ряде конференций, например, II Международном симпозиуме по физике высоких энергий и элементарных частиц (Штрбске Плесо, ЧССР, 5-9 октября 1972 г.), Совещании по физике взаимодействия адронов при низких энергиях (Смоленце, ЧССР, ноябрь, 1973 г.), IXth Balaton Symposium on High Energy Hadron Interactions, Balatonfüred, Hungary, 12-18 June, 1974; XVII International Conference on High Energy Physics (London, July 1-10, 1974), Совещании по сильным взаимодействиям при низких энергиях (Иркутск, 22-26 июля 1974 г.) и опубликованы в работах /8,10,11,16-20/.

#### Л и т е р а т у р а

1. D.Schiff and J.Tran Thanh Van, Nucl.Phys. E3 (1967) 671.
2. A.C.Phillips and G.Barton, Phys.Lett. 28B (1969) 378.
3. Y.Avishai, W.Ebenhöh and A.S.Rinat-Reiner, Ann. of Phys. 55 (1969) 341.
4. W.Ebenhöh, A.S.Rinat-Reiner and Y.Avishai, Phys.Lett. 29B (1969) 638.
5. T.E.O.Ericson and M.P.Locher, Nucl.Phys. A148 (1970) 1.
6. M.P.Locher, Nucl. Phys. B23 (1970) 116.
7. M.P.Locher, Nucl. Phys. B36 (1972) 634.
8. S.Dubnička, Proceedings of the 2-nd Int. Symposium on High Energy and Elementary Particle Physics, Štrbske Pleso (CSSR), D-6840, Dubna (1973) and JINR, E2-6765, Dubna (1972).
9. C.J.Batty, G.T.A.Squier and G.K.Turner, Nucl.Phys. B67 (1973) 492.
10. S.Dubnička, O.V.Dumbrajs and F.Nichitiu, Nucl.Phys. A217 (1973) 535.
11. S.Dubnička and O.V.Dumbrajs, JINR, E2-7731, Dubna (1974), and Nucl.Phys. A (1974)
12. L.S.Kisslinger, Phys.Rev.Lett. 29 (1972) 505.
13. L.S.Kisslinger, Phys.Lett. 47B (1973) 93.
14. I.Borbely, Phys.Lett. 49B (1974) 325.
15. I.Borbely, JINR, E4-7993, Dubna (1974).
16. S.Dubnička and V.A.Meshcheryakov, Contribution presented at the Meeting on Low-Energy Hadron Physics in Smolenice, Slovakia (1973) and JINR, E2-7508, Dubna (1973).



17. S.Dubnička and V.A.Meshcheryakov, Contribution submitted to XVII International Conference on High Energy Physics, London, July 1-10 (1974) and to be published in Proceedings of the IXth Balaton Symposium on High Energy Hadron Interactions, 12-18 June 1974 Balatonfüred (Hungary).
18. S.Dubnička and V.A.Meshcheryakov, JINR, E2-7982, Dubna (1974), and Nucl. Phys. B (1974).
19. S.Dubnička and O.V.Dumbrajs, JINR, E2-8240, Dubna (1974) and Phys.Lett. B (1974).
20. S.Dubnička and O.V.Dumbrajs, JINR, E2-8239, Dubna (1974).
21. C.Wilkin et al., Nucl.Phys. B62 (1973) 61.
22. R.E.Cutkosky and B.B.Deo, Phys.Rev., 174 (1968) 1859.
23. R.E.Cutkosky, Ann. of Phys. 54 (1969) 350.
24. М.К.Волков, В.Н.Первушин, ЯФ, 19 (1974)652.
25. A.T.Filipov, JINR, E2-7929, Dubna (1974).  
H.Böhm, H.Joos and M.Krammer, Preprint DESY 74/7 (1974).
26. F.Gutbrod and U.Weiss, Preprint DESY 74/27 (1974).
27. G.J.Gounaris and J.J.Sakurai, Phys.Rev.Lett. 21 (1968) 244.
28. Дно Вонг Дык, Нгуен Ван Хъеу, ТМФ 3 (1970) 178.
29. M.Bernardini et al., Phys.Lett., 46B (1973) 261.
30. C.J.Bebek, C.N.Brown et al., Contribution submitted to XVII International Conference on High Energy Physics, London, July, 1-10 (1974).
31. G.Adylov et al., JINR, E1-8047, Dubna (1974) and Phys.Lett. 51B (1974) 402.
32. J.J.Sakurai, Preprint UCLA/72/TEP/63 (1972).

Рукопись поступила в издательский отдел  
16 декабря 1974 года.