

С 323

Д-796

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ  
ЛАБОРАТОРИЯ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ

В.М. Дубовик

3290

ОБ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯХ ЧАСТИЦ  
С ВЫШШИМИ СПИНАМИ

Автореферат диссертации на соискание ученой  
степени кандидата физико-математических наук

Научный руководитель -  
доктор физико-математических наук  
профессор

А.М.БАЛДИН

Дубна 1967

В.М. Дубовик

3290

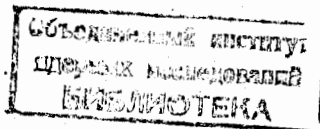
4493 ef.

ОБ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯХ ЧАСТИЦ  
С ВЫСШИМИ СПИНАМИ

Автореферат диссертации на соискание ученой  
степени кандидата физико-математических наук

Научный руководитель -  
доктор физико-математических наук  
профессор

А.М.БАЛДИН



Теория электромагнитных взаимодействий частиц с высшими спинами ( $j \geq 1$ ) еще лет 10 назад была разделом довольно абстрактных теоретических исследований. В настоящее время в связи с успехами физики высоких энергий ситуация изменилась. Сейчас известно около 200 "элементарных частиц", причем около половины из них имеют спины  $j \geq 1$ .

Поскольку нам неизвестна динамическая картина взаимодействия фотона с сильно взаимодействующей частицей, то мощным средством феноменологического описания является метод параметризации релятивистских матричных элементов<sup>x/</sup>. Он позволяет выразить матричные элементы через конечное число инвариантных функций, называемых формфакторами.

Однако способы параметризации вершинных функций в явно ковариантном виде (в спин-тензорном формализме, на основе работ<sup>/2,3,4,5/</sup>) в большинстве случаев мало удобны для проведения конкретных расчетов.

С другой стороны, было выяснено<sup>/6,7/</sup>, что для решения многих задач квантовой теории поля можно целиком сохранить аппарат нерелятивистских параметризаций, например, разложение по шаровым гармоникам. При этом лишь следует ввести сферические функции Вигнера, описывающие известный кинематический эффект теории относительности — релятивистский поворот спина<sup>/8/</sup>.

В рамках такого подхода наиболее известны две методики параметризации тока: Чешкова и Широкова<sup>/1/</sup> и Дюранда и др.<sup>/9/</sup>. Отличие их несущественно и заключается в использовании различных представлений. В<sup>/9/</sup> выбрано представление спиральности.

---

x/ Общая методика параметризации релятивистских матричных элементов локальных операторов любой тензорной или спинорной размерности дана в работах<sup>/1,2/</sup>.

В реферлируемой работе на основании методики<sup>/1/</sup> последовательно построен аппарат инвариантной параметризации оператора электромагнитного тока, основанный на классических мультипольных разложениях. Работа содержит три основные части: мультипольное разложение тока в классической теории поля (глава 1), параметризация оператора тока в квантовой теории поля (глава 2), расчёт ряда конкретных процессов с помощью разработанного аппарата (главы 3,4,5). Возникающие в этих процессах эффекты обусловлены участием в них частиц с высшими спинами.

В первой главе пересмотрены два способа мультипольных разложений тока: разложение по моментам, изложенное в работе Любошица и Смородинского<sup>/4/</sup> (§ 1) и разложение по векторным гармоникам в духе работы Бёрестецкого, Долгиянова, Тер-Мартirosяна<sup>/10/</sup> (§ 2). При этом показано, что в разложении поперечной части тока следует выделять третье семейство мультиполей, не выражающихся через определения обычных (зарядовых и магнитных) и не сводящихся к релятивистским поправкам к ним. Это семейство названо анапольным. Его отличие от семейства токовых мультиполей, называемого электрическим поперечным (см., например,<sup>/11/</sup>), заключается в том, что из последнего не выделен вклад, соответствующий изменению по времени зарядовых мультиполей.

Электромагнитная характеристика, соответствующая первому члену этого семейства ( $L = 1$ ), впервые была введена Зельдовичем<sup>/12/</sup> в квантовой теории поля для спинорной частицы в связи с нарушением  $P$ -инвариантности слабых взаимодействий и названа анаполем. Затем Чешков указал<sup>/2/</sup> на существование целого семейства моментов этого вида в разложении классического тока<sup>x/</sup>.

Во второй главе аппарат мультипольных разложений перенесен на случай параметризации релятивистских матричных элементов электромагнитного тока<sup>/14/</sup> с помощью общей методики параметризации<sup>/1/</sup> (§ 3,4). Показано, что в квантовом случае лишь при нарушении  $P$ - или  $T$ -инвариантности электромагнитных взаимодействий частицы с  $j \geq 1$  могут иметь анапольные формфакторы. Однако анапольные формфакторы могут „выживать“ и при  $P$ - и  $T$ -сохранении в случае переходов между состояниями с различной внутренней чётностью.

---

<sup>x/</sup> В релятивизированной форме мультипольных разложений этот факт был также отмечен в диссертации Любошица<sup>/13/</sup>.

Отмечено и в классическом, и в квантовом случае, что анапольная часть тока дает вклад в излучение электрического типа.

Рассмотрена <sup>/15/</sup> также (§ 5) методика параметризации тока с помощью релятивистского оператора спина <sup>/1/</sup>. Внесена релятивистская поправка в определения саксовских формфакторов (аналогичное замечание одновременно сделал Гурден <sup>/18/</sup>).

В третьей главе (§§ 6-10) разобраны следствия гипотезы Бернштейна, Файнберга, Ли о нарушении  $T$ -инвариантности в электромагнитных взаимодействиях адронов <sup>/17/</sup> на примере упругого  $e-d$  рассеяния <sup>/18,19/</sup>  $x$ . Подсчитана

$T$ -инвариантная (ананольная) часть неполяризованного сечения. Дана его оценка, исходящая из обнаруженного Бучаляном и Йерианом расхождения теории и эксперимента в магнитном  $e-d$  рассеянии <sup>/20/</sup> (эти данные недавно подтверждены <sup>/21/</sup>). Показано в однофотонном приближении, что при  $T$ -нарушении в рассеянии электронов на дейтоновой мишени, поляризованной нормально к плоскости рассеяния, угловая асимметрия дейтонов отдачи может достичь 10% при  $q^2 = 12 \text{ fm}^{-2}$  и  $\Theta_d = 20^\circ$ . Оценено, что  $T$ -инвариантная асимметрия в данном опыте должна быть пренебрежимо малой (0,03%).

В четвертой главе (§§ 11, 15) приведены результаты расчета в однофотонном приближении сечения рассеяния электронов на адронах:  $e + N \rightarrow e + N'$  <sup>/22/</sup>. Предполагается, что частицы мишени  $N$  имеют спин  $j$  и массу  $\kappa$ , а образовавшиеся  $-j'$  и  $\kappa'$ . Учтены все формфакторы перехода. Матрица плотности, описывающая спиновые состояния частиц мишени, записана в самом общем виде для любой тензорной поляризации <sup>/24/</sup>. Для случая векторной поляризации аналогичные работы были выполнены одновременно с нами Кристом и Ли <sup>/25/</sup> и Кондратюком <sup>/26/</sup>.

Пятая глава посвящена, определению потерь энергии на ионизацию среды частицей с  $j = 3/2$  <sup>/27/</sup>. Сначала эффект разобран в борновском приближении с точечной частицей (§ 16). Показано, что потери растут, как четвертая степень по передаваемой энергии. Далее (§ 17) найден предел применимости теории возмущений в рассмотренной неперенормируемой ( $j > 1$ ) электродинамике с помощью ограничения на вершинную функцию, полученную в работе <sup>/28/</sup> в пред-

---

<sup>x/</sup> На возможность проверки  $T$ -инвариантности в  $e-d$  рассеянии одновременно с нами была указана в работе <sup>/16/</sup>.

ставлении Челлена-Лемана. Указана возможность качественной оценки формфакторов частицы с  $j = 3/2$  (например,  $\Omega^-$ ), если известна степень роста ионизационных потерь.

Основные результаты, вошедшие в диссертацию, опубликованы в работах /14, 15, 18, 19, 23, 27/.

### Л и т е р а т у р а

1. А.А.Чешков, Ю.М.Широков. ЖЭТФ, 44, 1982 (1963).
2. А.А.Чешков, ЖЭТФ, 50, 144 (1966).
3. А.З.Долгинов. ЖЭТФ, 30, 746 (1956); А.З.Долгинов, А.Н.Москалев. ЖЭТФ, 37, 1697 (1959); А.З.Долгинов, И.Н.Топтыгин. ЖЭТФ, 37, 1441 (1959).
4. В.Л.Любошиц, Я.А.Сморodinский. ЖЭТФ, 42, 846 (1962).
5. В.Л.Любошиц. ЖЭТФ, 44, 561 (1963).
6. Чжоу Гуан-чжао, М.И.Широков. ЖЭТФ, 34, 1230 (1957).
7. M. Jakob, G.C. Wick. Ann. of Phys., 7, 404 (1959).
8. C. Moller. Kgl. Danske Vidensk. Selsk. Mat. Fys. Medd., 23, No.1 (1965);  
Ю.М.Широков. ДАН СССР, 99, 737 (1954); В.И.Ритус. ЖЭТФ, 40, 352 (1961);  
Я.А.Сморodinский. ЖЭТФ, 43, 2217 (1962).
9. L. Durand, P.C. de Celles, R.E. Marr. Phys. Rev., 126, 1982 (1962).
10. В.Б.Берестецкий, А.З.Долгинов, К.А.Тер-Мартirosян. ЖЭТФ, 20, 527 (1950).
11. T. de Forest, Jr., I.D. Walecka. Report. Stanford, 1965.
12. Я.Б.Зельдович. ЖЭТФ, 33, 1531 (1957).
13. В.Л.Любошиц. Диссертация, Дубна, 1964.
14. В.М.Дубовик, А.В.Чешков. Препринт ОИЯИ, P-2505, Дубна, 1965; ЖЭТФ, 51, 1699 (1966).
15. В.М.Дубовик. Ядерная физика, 2, 487 (1965).
16. M. Gourdin. Nuovo Cim., 27, 208 (1965).
17. J. Bernstein, G. Feinberg, T.D. Lee. Phys. Rev., 139, 1650 (1965).
18. В.М.Дубовик, А.А.Чешков. ЖЭТФ, 51, 169 (1966).
19. В.М.Дубовик, Е.П.Лихтман, А.А.Чешков. ЖЭТФ, 52, 706 (1967).
20. И.Ю.Кобзарев, Л.Б.Окунь, М.В.Терентьев. Письма ЖЭТФ, 2, 466 (1965).
21. H.C.D. Buchanan, M.R. Yearian. Phys. Rev. Lett., 15, 303 (1965).

22. R.E. Rand, R. Frosh, et al. Preprint Stanford, 1966 .
23. В.М.Дубовик, А.А.Чешков. Препринт ОИЯИ, Р2-2991, Дубна, 1966.
24. Л.Д.Пузиков. ЖЭТФ, 34, 947 (1958).
25. N. Christ, T.D. Lee. Phys. Rev., 143, 1310 ( 1966).
26. Л.А.Кондратюк. Ядерная физика, 4, 825 (1966).
27. В.М.Дубовик. Ядерная физика, 3, 148 (1966).
28. Г.Гешкенбейн, Б.Л.Иоффе. ЖЭТФ, 44, 1211 (1966).

Рукопись поступила в издательский отдел  
20 апреля 1967года.