Письма в ЖЭТФ, том 23, вып. 1, стр. 58 – 61 *5 января 1976 г.*

К ВОПРОСУ О ФОРМФАКТОРАХ СОСТАВНЫХ СИСТЕМ

В.Р.Гарсеванишвили

Рассматриваются вопросы асимптотического поведения релятивистских формфакторов составных систем. Приводятся соображения о возможном влиянии структуры нуклонов на поведение формфакторов атомных ядер.

Асимптотическое поведение формфакторов составных систем является в последнее время предметом интенсивного теоретического и экспериментального исследования (см., например, [1 – 6]). Связь $n = N - 1$ показателя степени n в асимптотическом поведении электромагнитных формфакторов $F(t) \sim |t|^{-n}$ с числом элементарных точечных составляющих N, входящих в адрон, полученная в рамках анализа размерностей [7, 8], побуждает к поиску динамического объяснения этой закономерности.

В настоящей статье мы коснемся вопроса асимптотического поведения формфакторов с точки зрения динамических квазипотенциальных уравнений в переменных "светового фронта" [9, 10].

Выражения для электромагнитных формфакторов двух и многочастичных систем в терминах волновых функций $\Phi(x, p_\perp)$ и $\Phi([x^{(i)}, p_\perp^{(i)}])$ удовлетворяющих уравнениям

$$\left[P^2 - \frac{m^2 + p_\perp^2}{x(1-x)}\right]\Phi(x, p_\perp) = \int_0^1 \frac{dx'}{x'(1-x')} \int dp_\perp' V(P; x, p_\perp; x', p_\perp')\Phi(x', p_\perp') \tag{1}$$

$$\left[P^2 - \sum_{i=1}^{N} \frac{m^{(i)2} + p_\perp^{(i)2}}{x^{(i)}}\right]\Phi([x^{(i)}, p_\perp^{(i)}]) =$$

$$= \int_0^1 \prod_{i=1}^{N} dx^{(i)\prime} (x^{(i)\prime})^{-1} \delta(1 - \sum_{i=1}^{N} x^{(i)\prime}) \int \prod_{i=1}^{N} dp_\perp^{(i)\prime} \delta^{(2)}(\sum_{i=1}^{N} p_\perp^{(i)\prime}) \times$$

$$\times V(P; [x^{(i)} p_\perp^{(i)}]; [x^{(i)\prime}, p_\perp^{(i)\prime}])\Phi([x^{(i)\prime} p_\perp^{(i)\prime}]), \tag{2}$$

имеют соответственно вид

$$F_2(t) = 2(2\pi)^3 \int_0^1 \frac{dx}{x(1-x)} \int dp_\perp \Phi(x, p_\perp + (1-x)\vec{\Delta}_\perp)\Phi(x, p_\perp), \tag{3}$$

$$F_N(t) = (2\pi)^4 (2i)^{-1-N} (2\pi i)^{1-N} \int_0^1 \prod_{i=1}^{N} dx^{(i)} (x^{(i)})^{-1} \delta(1 - \sum_{i=1}^{N} x^{(i)}) \times$$

$$\times \int \prod_{i=1}^{N} dp_\perp^{(i)} \delta^{(2)}(\sum_{i=1}^{N} p_\perp^{(i)})\Phi(x^{(1)}, p_\perp^{(1)} + (1 - x^{(1)})\vec{\Delta}_\perp, [x^{(i)}, p_\perp^{(i)} - x^{(i)}\vec{\Delta}_\perp]_{i\neq 1}) \times$$

$$\times \Phi([x^{(i)}, p_\perp^{(i)}]); \quad t = \Delta^2 = -\vec{\Delta}_\perp^2 . \tag{4}$$

Для простоты здесь рассматривается случай, когда заряженной является одна (в данном случае первая) частица.

В формулах (1) – (4) масштабно-инвариантные переменные $x^{(i)}$ введены согласно формуле

$$x^{(i)} = p_+^{(i)} / P_+ = (p_0^{(i)} + p_3^{(i)}) / (P_0 + P_3), \tag{5}$$

где $p^{(i)}(p_+, p_-, \mathbf{p}_\perp)$ – 4-импульс i-й частицы, $P(P_+, P_-, \mathbf{P}_\perp = 0)$ – 4-импульс составной системы. Заметим, что формула типа (3) получается также в рамках партонной модели в системе с бесконечным импульсом [11].

Мы получим главные члены асимптотического поведения формфакторов (3) и (4) с точностью до возможных логарифмических факторов в предположении об определенном поведении квазипотенциалов парных взаимодействий в уравнениях (1), (2).

Выпишем для наглядности вид квазипотенциала парных взаимодействий в случае трехчастичной системы

$$V(P;[x^{(i)}, \mathbf{p}_\perp^{(i)}];[x^{(i)'} \mathbf{p}_\perp^{(i)'}]) = \sum_{i=1}^{3} p_+^{(i)} \delta(p_+^{(i)} - p_+^{(i)'}) \delta^{(2)}(\mathbf{p}_\perp^{(i)} - \mathbf{p}_\perp^{(i)'}) \times$$

$$\times V_i^{(2)}\left(P_- - \frac{m^{(i)2} + \mathbf{p}_\perp^{(i)2}}{p_+^{(i)}}, P_+^{(jk)}, \mathbf{P}_\perp^{(jk)}; x^{(j)}, \mathbf{p}_\perp^{(j)}, x^{(k)}, \mathbf{p}_\perp^{(k)}; x^{(j)'}, \mathbf{p}_\perp^{(j)'}, x^{(k)'}, \mathbf{p}_\perp^{(k)'}\right. \qquad (6)$$

Здесь $V_i^{(2)}$ – квазипотенциалы взаимодействия двухчастичных подсистем (jk), $P^{(jk)}$ – полные импульсы двухчастичных подсистем. Вопросы теории рассеяния многочастичных систем в духе N-частичных уравнений Фаддеева [12] будут рассмотрены отдельно.

Согласно выражениям (3), (4) поведение формфакторов при больших передаваемых импульсах определяется асимптотиками волновых функций при больших значениях поперечных переменных $|p_\perp^{(i)}|$.
Полагая:

$$V^{(2)}\Big|_{|\mathbf{p}_\perp| \to \infty} \sim 1/|\mathbf{p}_\perp^2|^{\theta}, \qquad (7)$$

получим следующие асимптотические оценки:

$$F_2(-\vec{\Delta}_\perp^2)\Big|_{|\Delta_\perp^2| \to \infty} \sim V^{(2)}/\vec{\Delta}_\perp^2 \quad . \qquad (8)$$

$$F_N(-\vec{\Delta}_\perp^2)\Big|_{|\vec{\Delta}_\perp^2| \to \infty} \sim (V^{(2)}/\vec{\Delta}_\perp^2)^{N-1} \, . \qquad (9)$$

Информация о теоретико-полевой модели, отвечающей потенциалу типа (7), содержится в показателе степени θ. В частности, обмену скалярной частицей соответствует $\theta = 1$. Результаты размерного анализа [7, 8] воспроизводятся в предельном случае $\theta \to 0$. Следует отметить, что результаты (8), (9), также как и результаты размерного анализа, относятся к случаю, когда элементарные составляющие (кварки или партоны), входящие в адрон, сами являются точечными.

При попытке распространения этих результатов на случай атомных ядер возникает вопрос о возможном проявлении неточечности нуклонов внутри ядра. В этом случае следует, по-видимому, думать, что степень падения формфактора будет большей, чем это предписывается формулами (8), (9). Для более четкого разрешения этого вопроса, на наш взгляд, необходимо извлечение информации о ядерных волновых функциях из экспериментов, проводящихся с пучками релятивистских ядер (см., например, [13]), построение соответствующих формфакторов в предположении о точечности нуклонов и их сравнение с данными по непосредственному измерению формфакторов ядер. Различия (совпадения) результатов этих двух анализов будут говорить в пользу (против) предположения о проявлении неточечности нуклонов внутри ядра. В любом случае здесь возникает интересная проблема о релятивистском описании систем протяженных частиц. Весьма полезными могут оказаться при этом соображения геометрического характера (см. в этой связи [14]). В дальнейшем мы вернемся к детальному изложению этих вопросов.

Математический институт
Академии наук Украинской ССР

Поступила в редакцию
9 ноября 1975 г.

Литература

[1] D.H.Covard, H. De Staebler, R.A.Early et al. Phys. Rev. Lett., 20, 292, 1968.

[2] S.D.Drell, A.C.Finn, M.H.Goldhaber. Phys. Rev., 157, 1402, 1967; C.Alabiso, G.Schierholz. SLAC-PUB-1395, 1974.

[3] D.Amati, L.Caneschi, R.Jengo. Nuovo Cim., 58A, 787, 1968.

[4] Б.М.Карнаков. ЯФ, 19, 1122, 1974; I.M.Narodetsky, F.Palumbo, Yu. A.Simonov. Preprint LNF-75/26, 1975.

[5] A.A.Migdal. Phys. Lett., 37B, 98, 1971.

[6] Д.В.Ширков. ОИЯИ Р2-6938, Дубна, 1973.

[7] V.A.Matveev, R.M.Muradyan, A.N.Tavkhelidze. Lett. Nuovo Cim., 5, 907, 1973.

[8] S.J.Brodsky, G.Farrar. Phys. Rev. Lett., 31, 1153, 1973.

[9] В.Р.Гарсеванишвили, А.Н.Квинихидзе, В.А.Матвеев, А.Н.Тавхелидзе, Р.Н.Фаустов. ТМФ, 23, 310, 1975.

[10] В.Р.Гарсеванишвили, В.А.Матвеев. ТМФ, 24, 3, 1975.

[11] J.F.Gunion, S.J.Brodsky, R.Blankenbecler. Phys. Rev., D8, 849, 1973.

[12] О.А.Якубовский. ЯФ, 5, 1312, 1967.

[13] А.М.Балдин. Доклад на VI Междунар. конф. по физике высоких энергий и структуре ядра. Санта Фе, июнь, 1975.

[14] И.С.Шапиро. Письма в ЖЭТФ, 18, 650, 1973.