ОБ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОМ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ, НАРУШАЮЩЕМ ЗАРЯДОВУЮ ЧЕТНОСТЬ

А.Д.Долгов

В работе [I] было отмечено, что электромагнитный ток частиц со спином $J > 1/2$ может в принципе содержать как С-нечетные, так и С-четные члены. (Присутствие С-четных членов для частиц с низшими спинами запрещено сохранением тока). Явный вид тока для частиц со спином I и 3/2 [I] показывает, что вклад С-четных членов в упругое рассеяние электрона на рассматриваемой частице пропорционален q^2 - квадрату переданного импульса. Это означает, что не сохраняющие С-четность силы являются короткодействующими. Ниже будет показано, что подобное явление имеет место для частиц с любым спином $J > 1/2$.

Частицу со спином J удобно описывать посредством матрицы $\psi^{\alpha_1 \alpha_2 \dots \alpha_{2J}}$ (α_k = I,2,3,4), симметричной по всем индексам и удовлетворяющей уравнению Дирака[2]:

$$\left(\hat{p}-m\right)^{\beta}_{\alpha_k}\psi^{\alpha_1\cdots\alpha_k\cdots\alpha_{2J}}=0.$$

Общее выражение для электромагнитного тока имеет вид:

$$j_\mu=\sum_i f_i\left(q^2\right)\bar{\psi}\left(p_2\right)_{\alpha_1\cdots\alpha_{2J}}\left(O^i_{\mu'}\right)^{\alpha_1\cdots\alpha_{2J}}_{\beta_1\cdots\beta_{2J}}\psi\left(p_1\right)^{\beta_1\cdots\beta_{2J}}-\left(g_{\mu\mu'}-\frac{q_\mu q_{\mu'}}{q^2}\right).$$

Здесь сумма берется по всем независимым матрицам O^i;

$$\bar{\psi}_{\alpha_1\cdots\alpha_{2J}}=\psi^+_{\alpha'_1\cdots\alpha'_{2J}}\left(\gamma_4\right)^{\alpha'_1}_{\alpha_1}\cdots\left(\gamma_4\right)^{\alpha'_{2J}}_{\alpha_{2J}}.$$

Легко видеть, что в качестве матриц O^i_μ можно выбрать следующие:

$$\left(p_1+p_2\right)_\mu\left(\gamma_5\right)^{\alpha_1}_{\beta_1}\cdots\left(\gamma_5\right)^{\alpha_{2k}}_{\beta_{2k}}I^{\alpha_{2k+1}}_{\beta_{2k+1}}\cdots I^{\alpha_{2J}}_{\beta_{2J}},\tag{I}$$

$$\left(\gamma_\mu\right)^{\alpha_1}_{\beta_1}\left(\gamma_5\right)^{\alpha_2}_{\beta_2}\cdots\left(\gamma_5\right)^{\alpha_{2k+1}}_{\beta_{2k+1}}I^{\alpha_{2k+2}}_{\beta_{2k+2}}\cdots I^{\alpha_{2J}}_{\beta_{2J}},\tag{2}$$

$$\left(\gamma_\mu\gamma_5\right)^{\alpha_1}_{\beta_1}\left(\gamma_5\right)^{\alpha_2}_{\beta_2}\cdots\left(\gamma_5\right)^{\alpha_{2k}}_{\beta_{2k}}I^{\alpha_{2k+1}}_{\beta_{2k+1}}\cdots I^{\alpha_{2J}}_{\beta_{2J}}.\tag{3}$$

Здесь I – единичная матрица.

Число независимых матриц равно ($3J$ + I) для частиц с целым спином и ($3J$ + I/2) – с полуцелым.

Заметим, что выражения вида $\left(\gamma_\mu\right)^{\alpha}_{\rho}\left(\gamma_\mu\right)^{\beta}_{\sigma}$ сводятся к приведенным в силу тождества:

$$\left(\gamma_\mu\right)^{\alpha}_{\rho}\left(\gamma_\mu\right)^{\beta}_{\sigma}+\left(\gamma_\mu\right)^{\alpha}_{\sigma}\left(\gamma_\mu\right)^{\beta}_{\rho}=I^{\alpha}_{\rho}I^{\beta}_{\sigma}+I^{\alpha}_{\sigma}I^{\beta}_{\rho}-\left(\gamma_5\right)^{\alpha}_{\rho}\left(\gamma_5\right)^{\beta}_{\sigma}-\left(\gamma_5\right)^{\alpha}_{\sigma}\left(\gamma_5\right)^{\beta}_{\rho}.$$

Видно, что выражения (I) и (2) сохраняют C – четность, а (3) – нарушает.

Таким образом, нарушающие C – четность амплитуды имеют вид:

$$f_i\left(q^2\right)\bar{\psi}\,O^i_{\mu'}\psi\left(g_{\mu\mu'}-\frac{q_\mu q_{\mu'}}{q^2}\right),$$

причем $q_{\mu'}\bar{\psi}O^i_{\mu'}\psi\neq 0$. Теперь для того чтобы амплитуда была аналитической функцией при $q^2=0$, необходимо $f_i\left(q^2\right)=q^2\varphi_i\left(q^2\right)$.

Учитывая, что член, пропорциональный q_μ, не дает вклада в упругое рассеяние электрона, получим наше утверждение.

Отметим попутно со справочной целью, что в формализме Рариты-Швингера [3] для частиц со спином 3/2 электромагнитный ток содержит на первый взгляд шесть независимых членов:

$$A_1 = \bar{\Psi}_\mu (p_2) \gamma_\sigma \Psi_\mu (p_1),$$

$$A_2 = \bar{\Psi}_\mu (p_2) \gamma_\sigma \Psi_\nu (p_1) p_{1\mu} p_{2\nu},$$

$$A_3 = \bar{\Psi}_\mu (p_2) \Psi_\nu (p_1) p_{1\mu} p_{2\nu} (p_1 + p_2)_\sigma,$$

$$A_4 = \bar{\Psi}_\mu (p_2) \Psi_\mu (p_1) (p_1 + p_2)_\sigma,$$

$$A_5 = \bar{\Psi}_\mu (p_2) \Psi_\sigma (p_1) p_{1\mu} + \bar{\Psi}_\sigma (p_2) \Psi_\mu (p_1) p_{2\mu},$$

$$A_6 = \bar{\Psi}_\mu (p_2) \Psi_\sigma (p_1) p_{1\mu} - \bar{\Psi}_\sigma (p_2) \Psi_\mu (p_1) p_{2\mu},$$

тогда как из общих соображений [4] следует, что их должно быть лишь пять.

Действительно, можно убедиться, что между величинами A_i имеется следующая связь:

$$\frac{1}{2}(p_1 + p_2)^2 A_1 - A_2 - \frac{m}{(p_1 + p_2)^2} A_3 - m A_4 + m A_5 = 0.$$

Автор выражает глубокую благодарность Л.Б.Окуню и М.С.Маринову за внимание к работе и полезные обсуждения.

Физико-технический институт
Академии наук УССР
г.Харьков

Поступило в редакцию
7 октября 1965 г.

Литература

[1] И.Ю.Кобзарев, Л.Б.Окунь, М.В.Терентьев. См. настоящий номер журнала, стр. 466.

[2] V.Bargmann, E. Wigner. Proc. Nat. Acad. Sci. (Washington), 34, 211, 1948.

[3] W.Rarita, J. Schwinger. Phys.Rev., 60, 61, 1941.

[4] В.Б.Берестецкий. Успехи физ. наук, 76, 25, 1962.