Письма в ЖЭТФ, том 15, вып. 7, стр. 420 – 423 5 апреля 1972 г.

О МАСШТАБНОМ СООТНОШЕНИИ ДЛЯ ФОРМФАКТОРОВ ПРОТОНА

С.И.Биленькая, С.М.Биленький, Ю.М.Казаринов

Авторы работ [1 – 3] на основе анализа данных по e-p-рассеянию при $q^2 \leqslant 2$ $(Гэв/c)^2$ (q^2 – квадрат переданного импульса) приходят к выводу, что в области q^2 от 1 до 2 $(Гэв/c)^2$ имеет место значительное отклонение от так называемого масштабного соотношения

$$G_M(q^2) = \mu G_E(q^2) . \qquad (1)$$

Здесь $G_E(q^2)$ и $G_M(q^2)$ – зарядовый и магнитный формфакторы протона, а μ – полный магнитный момент протона (в ядерных магнетонах). С другой стороны данные в интервале q^2 от 1 до 3,75 $(Гэв/c)^2$ полученные в работе [4], согласуются в пределах ошибок с (1).

Настоящая статья посвящена проверке масштабного соотношения (1) на основе анализа всех имеющихся данных по сечениям e-p- рассеяния. Отдельно обрабатывались также данные работы [1]. Мы использовали изложенный в работах [5, 6] метод обработки данных. Этот метод отличается от общепринятого (построение прямой Розенблюта при фиксированном q^2). Электромагнитные формфакторы протона извлекаются непосредственно из данных по дифференциальным сечениям e-p-рассеяния. Для этого принимается некоторая функциональная зависимость формфакторов от q^2, и значения соответствующих параметров находятся путем минимизации функционала χ^2. При обработке экспериментальных данных различных групп вводятся нормировочные множители, учитывающие возможные ошибки в нормировке данных.

Запишем

$$G_M(q^2) = S(q^2)\mu G_E(q^2) . \qquad (2)$$

Для формфактора $G_E(q^2)$ примем выражение

$$G_E(q^2) = \frac{a_1}{1 + a_2 q^2} + \frac{1 - a_1}{1 + a_3 q^2} , \qquad (3)$$

которое, как было показано в [6] удовлетворительно описывает все известные экспериментальные данные по e-p-рассеянию. Относительно функции $S(q^2)$ будем делать различные предположения. Из условия нормировки $G_E(0) = 1$, $G_M(0) = \mu$ следует, что

$$S(0) = 1. \tag{4}$$

Далее, как хорошо известно, на пороге процессов $e + \bar{e} \rightleftarrows p + \bar{p}$ при $q^2 = -4M_p^2$ (M_p – масса протона) имеет место равенство

$$G_M(-4M_p^2) = G_E(-4M_p^2). \tag{5}$$

Если формфакторы G_M и G_E при $q^2 = -4M_p^2$ не равны нулю (отметим, что первые экспериментальные данные [7] о процессе $e + \bar{e} \rightleftarrows p + \bar{p}$ свидетельствуют в пользу этого), то из (2) и (4) получаем

$$S(-4M_p^2) = \frac{1}{\mu}. \tag{6}$$

Предположим вначале, что функция $S(q^2)$ представляет собой отношение полиномов одинаковой степени, т. е., что формфакторы $G_M(q^2)$ и $G_E(q^2)$ ведут себя одинаково при $q^2 \to \infty$. Ограничимся полиномами первой степени. Имеем

$$S(q^2) = \frac{a + br}{1 + cr}, \tag{7}$$

где $r = q^2/4M_p^2$.

Из соотношений [4] и [6] находим, что функция $S(q^2)$ характеризуется одним параметром и имеет следующий вид:

$$S(q^2) = \frac{1 + \left[1 - \frac{1}{\mu}(1 - c)\right]r}{1 + cr}. \tag{8}$$

В результате обработки всех имеющихся данных по сечениям e-p-рассеяния[1)] было получено, что

$$c = 1{,}05 \pm 0{,}09. \tag{9}$$

Для параметров a_1, a_2, a_3 найдены следующие значения:

$$a_1 = -0{,}48 \pm 0{,}08; \quad a_2 = 0{,}69 \pm 0{,}05\ (\text{Гэв}/c)^{-2}; \quad a_3 = 2{,}18 \pm 0{,}08 (\text{Гэв}/c)^{-2} \tag{10}$$

Качество описания экспериментальных данных в рассматриваемом случае ($\chi^2 = 396$ при $\bar{\chi}^2 = 313$) практически такое же, как и в рассмотренном в [6] случае параметризации формфакторов G_M и G_E суммой двух полюсов с независимыми параметрами. Отметим, что в пределах ошибок значения (10) совпадают со значениями параметров a_1, a_2, a_3,

---

[1)] Ссылки см. в работе [6]. В обработку вместо прежних включались уточненные данные группы Бонна [1].

полученными в этом последнем случае. Из (8) и (9) получаем, что величина $\mu G_E/G_M = S^{-1}$ при значениях q^2 равных 1, 5, 10, и 25 $(Гэв/c)^2$ соответственно равна 1,003 ± 0,008; 1,018 ± 0,036; 1,023 ± 0,045; 1,027 ± 0,054.

Таким образом, величина $\mu G_E/G_M$, найденная путем обработки всех имеющихся экспериментальных данных по e-p-рассеянию в предположении, что $G_E(q^2)$ и $S(q^2)$ даются выражениями (3) и (8), во всем исследованном на опыте интервале q^2 в пределах ошибок не отличается от единицы. Подчеркнем, что это заключение получено при условии, что на формфакторы накладывается требование равенства в точке $q^2 = -4M_p^2$.

Используя отношение (2), (3), (8), мы обработали отдельно экспериментальные данные в интервале $q^2 \leqslant 2(Гэв/c)^2$, полученные в работе [1], в которой сообщается об отклонении от (1). Для параметра c в этом случае было получено значение $c = 0{,}85 \pm 0{,}19$ ($\chi^2 = 26$ при $\bar{\chi}^2 = 49$). Величина $\mu G_E/G_M$ при q^2 равных 0,5; 1 и $2(Гэв/c)^2$ соответственно равна 0,988 ± 0,016; 0,978 ± 0,028 и 0,964 ± 0,047.

Далее, с целью получения лучшего описания всех имеющихся по e-p-рассеянию данных, мы рассмотрели случай разного поведения формфакторов $G_M(q^2)$ и $G_E(q^2)$ при $q^2 \to \infty$. Предполагая, что $S(q^2)$ представляет собой отношение полинома второй степени по q^2 к полиному первой степени с помощью (4) и (6) получаем

$$S(q^2) = \frac{1 + \left[1 + e - \frac{1}{\mu}(1-d)\right]\tau + e\tau^2}{1 + d\tau}. \tag{11}$$

Очевидно, что при $e = 0$ выражение (11) превращается в (8). В результате обработки данных найдено, что параметр e в пределах ошибок равен нулю ($e = -0{,}02 \pm 0{,}14$). Его введение не улучшает качества описания экспериментальных данных ($\chi^2 = 396$ при $\bar{\chi}^2 = 312$).

Наконец, была произведена обработка данных в случае , когда функция $S(q^2)$ представляется отношением полиномов первой степени и на эту функцию не вкладывается условие (6). Два параметра, характеризующие $S(q^2)$, в этом случае оказываются сильно коррелированными и определяются с большими ошибками. Качество описания остается на прежнем уровне.

Отметим, в заключение, что мы обработали также данные работы [1] в интервале $q^2 \leqslant 2(Гэв/c)^2$, принимая также, как и в этой работе для $S(q^2)$ выражение

$$S(q^2) = \frac{1}{1 + \beta q^2}. \tag{12}$$

При $\chi^2 = 29$ и $\bar{\chi}^2 = 49$ найдено, что $\beta = -0{,}026 \pm 0{,}028\ (Гэв/c)^{-2}$. Описывая выражением (12) полученные из прямой Розенблюта значения величины $\mu G_E/G_M$, в работе [1] для параметра β найдено значение $\beta^B = -0{,}059 \pm 0{,}020\ (Гэв/c)^{-2}$. В работе [4] получено, что $\beta^{SL} = -0{,}051 \pm 0{,}036\ (Гэв/c)^{-2}$.

Итак, проведенный анализ всех имеющихся по e-p-рассеянию данных показывает, что во всей изученной области квадратов переданного импульса отношение $\mu G_E / G_M$ в пределах ошибок не отличается от единицы. Интересно отметить, что это согласуется с требованием равенства зарядового и магнитного формфакторов во времениподобной области при $q^2 = -4M_p^2$.

В заключение выражаем глубокую благодарность Д.Ю.Бардину, С.С.Герштейну, Л.И.Лапидусу, В.И.Огиевецкому и Я.А.Смородинскому за полезные обсуждения.

Объединенный институт
ядерных исследований

Поступила в редакцию
14 февраля 1972 г.

Литература

[1] Ch. Berger et al. Phys. Lett., 35B, 87, 1971.

[2] W.Bartel et al.Phys. Lett., 33B, 245, 1970.

[3] L.E.Price et al. Phys. Rev., D4, 45, 1971.

[4] I.Litt et al. Phys. Lett., 31B, 40, 1970.

[5] С.И.Биленькая, Ю.М.Казаринов, Л.И.Лапидус. ЖЭТФ, 60, 460, 1971.

[6] С.И.Биленькая, Ю.М.Казаринов, Л.И.Лапидус. ЖЭТФ, 61, 2225, 1971.

[7] G. Di Gingno et al. Lett. Nuovo Cim., 2, 873, 1971.