

Письма в ЖЭТФ, том 9, стр. 705 – 707

20 июня 1969г.

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ФОРМФАКТОР ПРОТОНА ПРИ МАЛЫХ ПЕРЕДАЧАХ ИМПУЛЬСА

Б.А.Арбузов

Экспериментальные данные о поведении формфактора протона при малых передачах импульса весьма неточны [1]. Для электрического формфактора протона $G(q^2)$ ошибки в измерении функции

$$\phi(q^2) = \frac{1 - G(q^2)}{q^2} ; \quad (1)$$

для значений $q^2 < 1 F^{-2}$ ($F = 10^{-13}$ см) сравнимы с величиной самой функции, а ниже $q^2 = 0,2 F^{-2}$ данных нет. Обычно считают, что в области малых передач формфактор с высокой точностью описывается соотношением $\phi(q^2) = 1/6 r_0^2$, где $r_0 = 0,8 F$ – среднеквадратичный радиус протона, полученный экстраполяцией из области $q^2 > 1 F^{-2}$. Однако экспериментальные данные оставляют свободу для различных предположений об изменении поведения формфактора при малых q^2 .

В качестве примера укажем на предположение о "гало" протона [2] которое было введено для объяснения расхождений между теорией и опытом в Лэмбовском сдвиге [3] и в спектрах тяжелых мюонных атомов. [2]

В работе [4] мы показали, что те же расхождения можно объяснить, предполагая малую нелинейность уравнений электродинамики. В интересующем нас случае, когда существенно лишь электрическое поле E , это предположение сводится к следующему изменению лагранжиана поля

$$L = \frac{E^2}{8\pi} + \frac{E^4}{8\pi E_0^2} \quad (2)$$

где $E_0 = e/\ell_0^2$, e – заряд электрона, ℓ_0 – характерная длина, на которую эксперимент накладывает ограничение $\ell_0 < 0,1 F$ [5] Нелинейность приводит к изменению энергии взаимодействия электрона с протоном, которая на больших расстояниях $r \gg r_0$ оказывается равной [4]

$$V(r) = -\frac{e^2}{r} \left(1 - \frac{\ell_0^2}{r^2} + 0 \left(\frac{\ell_0^4}{r^4} \right) \right), \quad (3)$$

где перед членом ℓ_0^2/r^2 опущен множитель порядка единицы (это сводится к незначительному переопределению ℓ_0). Добавочный член в (3) приводит к сдвигу атомных уровней, причем для объяснения расхождения между теорией и опытом в Лэмбовском сдвиге (отличие составляет $\Delta\nu = 2,5 \cdot 10^5$ сек $^{-1}$) требуется значение длины $\ell_0 = 0,12 F$.

В настоящей работе мы укажем, что изменение энергии взаимодействия (3) можно заметить, измеряя электрический формфактор протона при малых передачах импульса. Действительно, в случае справедливости наших предположений, в опытах по рассеянию электронов на протонах измеряется не истинное распределение заряда $\rho(r)$, а эффективное распределение $\rho^i(r)$, которое определяется через энергию взаимодействия следующим образом

$$\rho^i(r) = -\frac{1}{4\pi e^2} \Delta V(r) = \rho(r) - \frac{1}{4\pi e^2} \Delta(\delta V), \quad (4)$$

где Δ – оператор Лапласа и, согласно (3) при $r \rightarrow \infty$

$$\delta V \rightarrow \frac{e^2 \ell_0^2}{r^3} \quad (5)$$

Вычисляя Фурье – образ распределения $\rho'(r)$, получим для $\phi(q^2)$ при малых q^2 ($q^2 \ll r_0^{-2}$) следующее выражение

$$\phi(q^2) = \frac{R^2}{6} - \frac{\xi_0^2}{2} \ln(q^2 r_0^2); \quad (6)$$

где R – постоянная, которая определяется как первым, так и вторым членами в (4) и зависит от вида истинной плотности $\rho(r)$, а член, содержащий логарифм, возникает как следствие асимптотики (5) и коэффициент перед ним не зависит от вида $\rho(r)$. Так как $\xi_0^2 \ll r_0^2$, второй член в (6) велик лишь при очень малых q^2 и R можно приближенно положить равным r_0 . Достаточно точное измерение формфактора протона при малых передачах позволит проверить формулу (6), а, значит, и линейность уравнений электродинамики. Для иллюстрации укажем, что согласно (6), при изменении q^2 от $0,5 F^{-2}$ до $10^{-3} F^{-2}$ функция $\phi(q^2)$ меняется от $0,12 F^2$ до $0,16 F^2$, т.е. на 30%.

Отметим, что логарифмические члены в формфакторе в нелинейной теории появляются лишь для заряженных частиц. Для нейтрона такие члены должны отсутствовать, что согласуется с опытом, так как измерения среднеквадратичного радиуса нейтрона при высоких энергиях и в рассеянии медленных нейтронов на электронах не противоречат друг другу (6).

В заключении еще раз подчеркнем важность измерений формфактора протона при малых передачах, которые могут быть проведены на сильноточных электронных ускорителях с энергиями $10 + 100$ Мэв.

Поступила в редакцию
14 мая 1969г.

Литература

- [1] D. Frerejacque et al. Phys. Rev., 141, 1308, 1966
T. Janssens et al. Phys. Rev., 142, 922, 1966.
- [2] R.C. Barrett et al. Phys. Rev., 166, 1589, 1968.
- [3] R.T. Robiscoe. Phys. Rev., 168, 4, 1968.
- [4] Б.А. Арбузов. Препринт ИФВЭ 69-10, 1969
- [5] Б.В. Гешкенбейн, М.В. Терентьев. ЯФ, 8, 119, 1968.
- [6] W.K.H. Panofsky, 14th International Conference on High-Energy Physics, Vienna, 1968, p. 23, CERN, Geneva, 1968.