

О ПРОВЕРКЕ КВАНТОВОЙ ЭЛЕКТРОДИНАМИКИ
В ОПЫТАХ НА ВСТРЕЧНЫХ ПУЧКАХ ПРИ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЯХ

В. А. Петрунькин, С. А. Старцев

УДК 539.12

Вычислены поправки на адронную поляризацию вакуума к пропагатору фотона в низшем порядке по α вплоть до $\sqrt{|k^2|} = 100$ Гэв. Проанализирована возможность проверки квантовой электродинамики в опытах на встречных пучках при высоких энергиях.

В последнее время в опытах на встречных пучках были получены новые экспериментальные данные по аннигиляции e^-e^+ -пар в адроны при энергиях вплоть до $2E = 4$ Гэв /1,2,3,4/. Поэтому появилась возможность уточнить расчеты поправок на адронную поляризацию вакуума (а.п.в.) к пропагатору фотона и соответственно к сечениям электродинамических процессов ($e^-e^+ \rightarrow e^-e^+$, $e^-e^+ \rightarrow \mu^-\mu^+$). Очевидно, что величины поправок на а.п.в. к сечениям различных процессов и, в частности, неопределенность в таких поправках имеют важное значение для проверки квантовой электродинамики (к.э.) на малых расстояниях.

Точный пропагатор фотона в импульсном представлении можно записать в виде

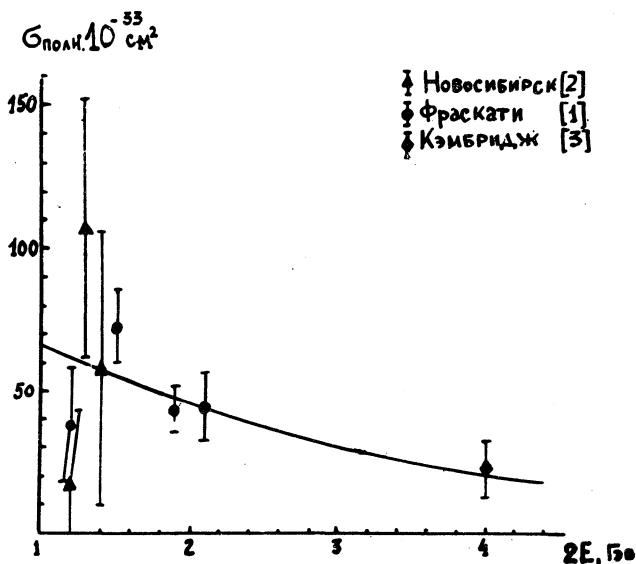
$$D_{\mu\nu}(k) = \frac{1}{i} \left[\frac{\delta_{\mu\nu}}{k^2} - \left(\delta_{\mu\nu} - \frac{k_\mu k_\nu}{k^2} \right) \frac{\pi(-k^2)}{k^2} \right], \quad (1)$$

где k_μ - четырехимпульс фотона, $k^2 = \bar{k}^2 - \nu^2$. Выражение поправки на а.п.в. $\pi^{\text{адр}}(-k^2)$ в низшем приближении по постоянной тонкой структуре α и при пренебрежении массой электрона имеет следующий вид /5/:

$$\text{Re} \pi^{\text{адр}}(-k^2) = - \frac{k^2}{4\pi^2 \alpha} P \int_{4m_e^2}^{\infty} \frac{\sigma_{\text{пол}}(s) ds}{s + k^2}, \quad (2a)$$

$$\text{Im} \pi^{\text{адр}}(-k^2) = -\frac{k^2}{4\pi\alpha} \sigma_{\text{пол}}(s). \quad (26)$$

Здесь s - квадрат полной энергии e^- и e^+ в с.д.м., $\sigma_{\text{пол}}(s)$ - полное сечение аннигиляции e^-e^+ - пары в адроны в однофотонном



Р и с. I. Полное сечение аннигиляции e^-e^+ - пар в адроны

приближении, m_{π} - масса пиона. Символ P в (2а) означает главное значение интеграла.

Предыдущие расчеты поправок были выполнены в работах /5,6/. Очень скудные данные по сечению $\sigma_{\text{пол}}(s)$ в области $s > 1 \text{ ГэВ}^2$ /7/ в то время не позволяли достаточно точно определить параметры асимптотического поведения сечения, и значения поправки на а.п.в., полученные при различных поведеньях сечения в асимптотической области, заметно отличались друг от друга /6/.

Мы заново провели вычисления поправки на а.п.в. с учетом последних экспериментальных данных. Сечение $\sigma_{\text{пол}}(s)$ в области $s > 1 \text{ ГэВ}^2$ аппроксимировалось формулой

$$\sigma_{\text{пол}}^{\text{АСИМ}}(s) = \sigma(s_0) \frac{s_0 - s_0'}{s - s_0'} \quad (3)$$

Параметры $\sigma(s_0) = 66,37$ нбарн и $s_0' = -5,96 \text{ ГэВ}^2$ (s_0 полага-лось равным 1 ГэВ^2) были получены в результате обработки методом наименьших квадратов измерений группы Грилли /1/ с учетом данных Новосибирска /2/ и Кембриджа /3/ при других энергиях. Данные ра-боты /4/ были опущены как сильно отличающиеся от работ /1,2,3/. Естественно, что аппроксимация $\sigma_{\text{пол}}(s)$ формулой (3) не учитывает существующие и возможные резонансы в области $s > 1 \text{ ГэВ}^2$, а явля-ется их усреднением в духе дуальных моделей. На рисунке показаны экспериментальные точки /1,2,3/ и найденная выше кривая. В табли-це I приведены значения функции $I(-k^2) = -2\text{Re}\tau^{\text{адр}}(-k^2)$ с ошибка-ми. $I(k^2)$ непосредственно входит в качестве поправки в сечения электродинамических процессов. Таким образом, вычисленная поправ-ка даже при $\sqrt{|k^2|} = 100 \text{ ГэВ}$ не превышает 10%, а ее неопределен-ность - 43%.

Таблица I

Значения функции $(I(-k^2) \pm \delta I(-k^2)) \cdot 10^2$

$\sqrt{-k^2}, \text{ ГэВ}$	0,7	1,4	3,0	5,0	6,0	7,0	10	100
$I(-k^2)10^2$	-2,75	1,60	1,16	1,88	2,20	2,45	3,10	6,98
$\delta I(-k^2)10^2$	0,02	0,13	0,38	0,20	0,13	0,19	0,54	2,95
$\sqrt{k^2}, \text{ ГэВ}$	1,5	2,0	3,0	5,0	6,0	7,0	10	100
$I(-k^2)10^2$	1,18	1,43	1,82	2,42	2,67	2,88	3,38	6,99
$\delta I(-k^2)10^2$	0,07	0,11	0,22	0,43	0,53	0,62	0,87	2,96

Воспользуемся в качестве нарушенной к.э. какой-либо моделью с модифицированным пропагатором фотона, например из /8/. В таб-лице 2 приведены значения длин, до которых можно проверить к.э. при энергиях сталкивающихся пучков $E = 5 \text{ ГэВ}$ и 50 ГэВ , ошибках

Таблица 2

Расстояния, до которых можно проследить к.э. (в см)

Ошибка измерений, %		5		10	
Достоверность, %		68	95	68	95
$\sqrt{ k^2 }$, ГэВ	10	$3 \cdot 10^{-16}$	$4,2 \cdot 10^{-16}$	$4,2 \cdot 10^{-16}$	$6 \cdot 10^{-16}$
	100	$3 \cdot 10^{-17}$	$4,2 \cdot 10^{-17}$	$4,2 \cdot 10^{-17}$	$6 \cdot 10^{-17}$

измерения соответствующих электродинамических сечений 5% и 10% и уровнях достоверности в 68% и 95%.

Результаты таблицы, естественно, получены в предположении, что найденное нами поведение сечения будет действительно асимптотическим. В противном случае вопрос о проверках к.э. остается открытым. Но нас обнадеживает тот факт, что в момент постановки экспериментов по проверке к.э. при какой-либо энергии данные по $\sigma_{\text{под}}$ при этой энергии уже будут известны.

Поступила в редакцию
6 сентября 1973 г.

Л и т е р а т у р а

1. M. Grilli et al. Nuovo Cim., 13A, 593 (1973).
2. В. А. Сидоров. Informal Meeting on Electromagnetic Interactions, Frascati, 1972.
3. R. Averll et al. Препринт CEAL-3062-02, 1972.
4. C. Bacci et al. Phys. Letts., 38B, 551 (1972); 44B, 533 (1973).
5. E. Cremmer, M. Gourdin. Nucl. Phys., B12, 383 (1969).
6. В. А. Петрунькин, С. А. Старцев. ЯФ, 14, 1033 (1971).
7. R. Wilson. В сб. Тр. 15-й Междунар. конф. по физике высоких энергий, Киев, 1971 г.
8. T. D. Lee, C. C. Wick. Nucl. Phys., 32, 209 (1969).