

ПОИСК ЛЕГКИХ ЧАСТИЦ С ЗАРЯДОМ $2/3$ В $e^+ e^-$ -АННИГИЛЯЦИИ

*А.Е.Бондарь, Л.М.Курадзе, М.Ю.Лельчук, В.С.Панин, В.А.Сидоров,
А.Г.Чилингаров, Б.А.Шварц, С.И.Эйдельман*

На накопителе ВЭПП-2М с помощью детектора ОЛЯ установлен верхний предел на сечение рождения частиц с зарядом $2/3$ и массой до $0,4$ ГэВ в реакции $e^+ e^- \rightarrow q\bar{q}: \sigma_{qq} / \sigma_{\mu\mu} < 10^{-4}$. Это ограничение на два порядка ниже результатов предыдущих экспериментов, чувствительных к кваркам малой массы.

В экспериментах с детектором ОЛЯ на накопителе ВЭПП-2М был набран интеграл светимости 1160 нб^{-1} в области энергии $W=2E$ от $1,0$ до $1,4$ ГэВ $^{-3}$. По этой экспериментальной информации проведен поиск событий процесса $e^+ e^- \rightarrow q\bar{q}$, где q – частица с зарядом $2/3$.

Детектор ОЛЯ, подробное описание которого приведено в работе ², состоит из четырех идентичных квадрантов, окружающих место встречи пучков. Полный телесный угол равен $0,65 \cdot 4\pi$ стерадиан. Каждый из квадрантов содержит координатные проволочные искровые камеры, три сцинтилляционных счетчика, ливневый детектор и пробегную систему. Для запуска детектора требовалось одновременное срабатывание всех шести сцинтилляционных счетчиков противоположных квадрантов. Полное количество вещества на пути частицы до третьего счетчика составляло $9,5 \text{ г/см}^2$. Порог срабатывания каждого счетчика поддерживался на уровне $(0,20 - 0,25) \cdot A$, где A – наиболее вероятная амплитуда для минимально ионизирующей частицы с единичным зарядом.

При обработке экспериментальных данных отбирались события, содержащие в координатных камерах два трека, выходящие из области взаимодействия $e^+ e^-$ -пучков ($|\Delta x| < 70 \text{ мм}$, $|\Delta y| < 10 \text{ мм}$, $|\Delta z| < 10 \text{ мм}$), с углом отклонения от коллинеарности мень-

ше 10^0 . Для подавления фона от многочисленных событий требовалось, чтобы в двух квадрантах, свободных от этих треков, не было срабатывания искровых камер или сцинтилляционных счетчиков. По указанным критериям было отобрано $5 \cdot 10^5$ событий. Из них по пробегу частиц в пробегной части детектора выделено $3 \cdot 10^4$ событий реакции $e^+ e^- \rightarrow \mu^+ \mu^-$.

Поиск событий процесса $e^+ e^- \rightarrow q\bar{q}$ проводился по данным о ионизационных потерях в шести сцинтилляционных счетчиках. Амплитуда сигнала с каждого счетчика нормировалась на длину пути частицы в нем. Амплитудное разрешение счетчика (ширина на полувысоте), измеренное по событиям $e^+ e^- \rightarrow \mu^+ \mu^-$, составило 40%. Для отобранных коллинеарных событий вычислялись суммы амплитуд сигналов в трех счетчиках каждого из квадрантов с треком — U_1 и U_2 . Двумерное распределение по U_1, U_2 приведено на рис. 1. Минимальная величина суммы $U = U_1 + U_2$ среди этих событий $U_{min} = 4,78 \cdot A$. Для релятивистских частиц с зарядом $2/3$ средняя величина U должна равняться $3,2 \cdot A$. Отсутствие событий с малыми амплитудами позволяет установить верхний предел на сечение рождения частиц с дробным зарядом σ_{qq} .

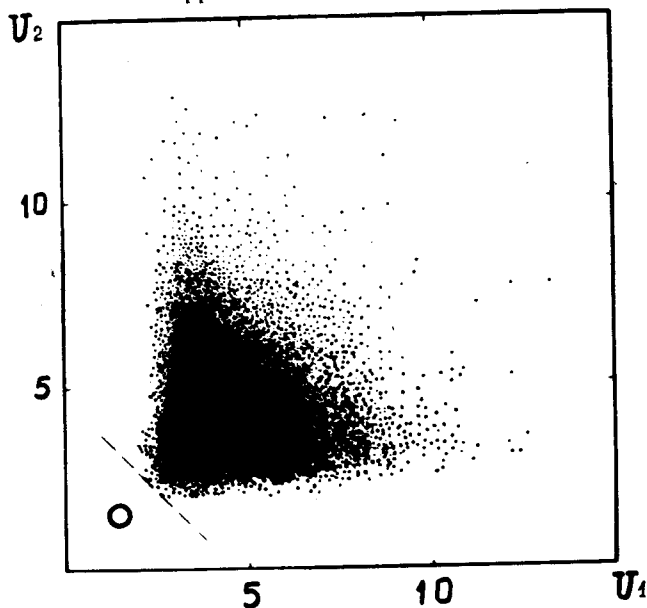


Рис. 1

Рис. 1. Двумерное распределение коллинеарных событий по параметрам U_1 и U_2 . Штриховая линия соответствует граничному значению суммы $U_1 + U_2 = 4,78$, ниже которого нет событий. Кружок — район наиболее вероятного положения $q\bar{q}$ -событий

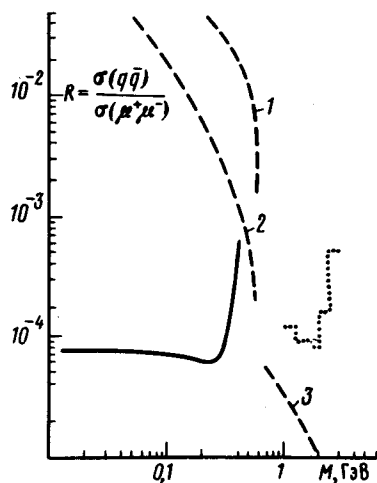


Рис. 2

Рис. 2. Величина верхнего предела на R (90%-ный уровень достоверности) в зависимости от массы кварка M : сплошная линия — ОЛЯ, ВЭПП-2М; точки — MARK 2, SPEAR⁴. Штриховые линии — оценки величины R в модели⁷: 1 (2) — для энергии $W=1,2$ ГэВ и для параметра модели $P=1$ (2); 3 — для энергии $W=5,2$ ГэВ эксперимента⁴ и $P=1$

Отношение $R = \sigma_{qq} / \sigma_{\mu\mu}$ зависит только от массы кварков, если предположить, что σ_{qq} зависит от энергии так же, как и $\sigma_{\mu\mu}$. Тогда ожидаемое число $q\bar{q}$ -событий во всем энергетическом интервале есть:

$$N_{qq} = R(M) \sum_i \sigma_{\mu\mu}(W_i) L_i \epsilon(W_i, M, U_{min}); \quad (1)$$

где L_i — светимость, набранная при энергии W_i , $\epsilon(W, M, U_{min}) = BVD$ — эффективность регистрации $q\bar{q}$ -событий, M — масса кварка, B — вероятность попадания частиц в телесный угол детектора (угловое распределение $q\bar{q}$ -событий предполагалось таким же, как у $\mu^+\mu^-$ -событий), V — вероятность паре кварков дать сумму амплитуд сигналов в счетчиках меньше U_{min} , D — вероятность регистрации треков кварков координатной системы. Расчет вероятностей V, D основывался на характеристиках счетчиков и камер, полученных с помощью $\mu^+\mu^-$ -событий.

Величина верхнего предела $R(M)$ на 90%-ном уровне достоверности (при $N_{qq} = 2,3$) найдена из выражения (1) и составляет 10^{-4} для $M < 0,35$ ГэВ и $5 \cdot 10^{-4}$ при $M = 0,4$ ГэВ. Эта величина приведена на рис. 2, там же показано ограничение на R , полученное для кварков большей массы (1,0 — 2,8 ГэВ) в эксперименте на детекторе MARK 2⁴. В экспериментах, чувствительных к кваркам малой массы^{5,6}, ранее был установлен верхний предел $R < 10^{-2}$.

На рис. 2 приведена также оценка величины R , полученная в рамках модели⁷ для средней энергии нашего эксперимента 1,2 ГэВ и для энергии 5,2 ГэВ эксперимента⁴. В работе⁷ сделана попытка совместить КХД с существованием свободных кварков. Эта модель предсказывает быстрое уменьшение σ_{qq} при росте энергии W . Учет в обработке такой зависимости $\sigma_{qq}(W)$ приводит к выражению более сложному, чем (1), но изменяет верхний предел, полученный в нашем эксперименте не более, чем в два раза.

В работах⁷⁻⁹ рассмотрены кварки, сильно взаимодействующие с веществом. Приведенные выше ограничения на R получены без учета такого взаимодействия. Толщина вещества на пути каждой частицы в детекторе ОЛЯ составляла 0,14 ядерной длины столкновения. Если предположить, что сечение взаимодействия с веществом у кварков такое же как у адронов, то эффективность регистрации $q\bar{q}$ -событий уменьшится в 1,3 раза, а верхний предел соответственно увеличится в 1,3 раза. Из рис. 2 видно, что и при значительно более сильном взаимодействии кварков с веществом верхний предел на R остается ниже предсказания модели⁷.

Литература

1. Курдадзе Л.М. и др. ЯФ, 1982, 35, 352.
2. Курдадзе Л.М. и др. ЯФ, 1984, 40, 451.
3. Ivanov P.M. et al. Phys. Lett., 1981, 107B, 297.
4. Weiss J.M. et al. Phys. Lett., 1981, 101B, 439.
5. Bartel W. et al. Z. Phys., 1980, C6, 295.
6. Guryn W. et al. Phys. Lett., 1984, 139B, 313.
7. De Rujula A. et al. Phys. Rev., 1978, D17, 285.
8. Orear J. Phys. Rev., 1978, D18, 3504.
9. Garelick D. Phys. Rev., 1979, D19, 1026.