

ПОИСК СУПЕРСИММЕТРИИ В РЕДКИХ РАСПАДАХ B -МЕЗОНОВ

Т.М.Алиев, М.И.Добролюбов

Мы исследуем проявления суперсимметрии в редких распадах B -мезонов $B_d \rightarrow K^0 \phi$, $K^+ \pi^-$. Показано, что существует область масс СУСИ-частиц, когда вклад СУСИ-частиц превышает стандартный. Получены ограничения на массы СУСИ-частиц.

Физики, занимающиеся элементарными частицами, с большим нетерпением ожидают новые результаты из коллабораций CLEO и ARGUS, касающиеся свойств B -мезонов, а также начало работы будущих B -мезонных фабрик. Это объясняется тем фактом, что тщательное и всестороннее исследование свойств B -мезонов позволяет уточнить многие на сегодняшний день плохо изученные аспекты Стандартной Модели. В качестве примера можно назвать надежное измерение углов Кобаяши–Маскава V_{bu} , V_{bc} , исследование CP -нарушения, проверка предсказаний Квантовой Хромодинамики (КХД) и т.д. В то же время распады B -мезонов являются весьма подходящим местом для поиска новой физики, выходящей за рамки Стандартной Модели, в частности Суперсимметрии (СУСИ).

К настоящему времени несмотря на большое число работ, посвященных СУСИ, мы по-прежнему не знаем, имеет ли она какое-либо отношение к реальности. Все имеющиеся экспериментальные данные не говорят ничего определенного ни в пользу, ни против СУСИ. Поэтому выяснение экспериментального статуса СУСИ в настоящее время находится в фокусе внимания как экспериментаторов, так и теоретиков. При этом обычно используют две различные стратегии.

Первая состоит в попытках прямого наблюдения СУСИ-частиц на коллайдерах с большими энергиями пучков сталкивающихся частиц. Так были получены нижние границы на массы суперпартнеров, причем наиболее надежные результаты извлекаются из анализа данных по e^+e^- -аннигиляции, в частности для скалярных кварков $m_{\tilde{q}} \gtrsim 21,5$ ГэВ¹. Из $p\bar{p}$ -столкновений получают более сильные ограничения, но они являются более модельно зависимыми. Например, предполагая $m_{\tilde{\gamma}} \lesssim 20$ ГэВ и $m_{\tilde{g}} > m_{\tilde{q}}$ можно получить, что $m_{\tilde{g}} > 53$ ГэВ, $m_{\tilde{q}} > 45$ ГэВ².

Второй путь опирается на поиски косвенных проявлений СУСИ, таких, как вклад СУСИ-частиц в аномальный магнитный момент электрона и мюона, в K^0 – \bar{K}^0 и B^0 – \bar{B}^0 -смешивание и т.д. Особая роль здесь принадлежит редким распадам B -мезонов, которые могут реализовать необычные примеры, когда вклад СУСИ-частиц в амплитуды процессов превышает вклад обычных частиц. Как будет показано в настоящей работе это позволяет искать СУСИ-частицы с массами до 100 ГэВ.

Дело в том, что редкие распады происходят за счет нейтральных токов, изменяющих аромат. В СУСИ-моделях глюино может обладать взаимодействием, недиагональным по кварковым ароматам и, следовательно, может давать вклад в такие процессы³. Поэтому в выражения для амплитуд этих процессов вместо слабой константы будет входить константа связи сильных взаимодействий. Кроме того, глюино и скалярные кварки вполне могут быть легче, чем W -бозон. Все эти факторы усиливают вклад СУСИ по сравнению со стандартным. Однако во многих случаях суперГИМ подавление оказывается более сильным, чем обычное. Поэтому для того, чтобы узнать, может ли вклад СУСИ конкурировать со стандартным, необходимо проделать детальные вычисления амплитуды. В работах^{5,6} аналогичные идеи использовались для исследования СУСИ-эффектов в K^0 – \bar{K}^0 -смешивании и в распадах $B \rightarrow K\gamma^*$. Следует отметить, что распады B -мезонов гораздо менее чувствительны к эффектам больших расстояний, чем распады K -мезонов, поэтому вычисления для них оказываются более надежными.

В настоящей работе в рамках спонтанно нарушенной минимальной $N = 1$ супергравитации³ мы исследуем эффекты СУСИ-частиц в редких распадах $B_d \rightarrow K^0 \phi$ и $B_d \rightarrow K^+ \pi^-$, в которых

доминируют пингвинные диаграммы ⁴. Полученные результаты могут быть использованы при анализе других аналогичных редких распадов B -мезонов: $B_d \rightarrow K^{*0} \phi$, $K_s^0 \eta$, $B_s^+ \rightarrow \phi \phi$, $\phi \eta$, $B_u \rightarrow K^- \phi$, $K^{*0} \eta$.

Мы ограничимся рассмотрением только левых внешних кварков, поскольку именно они дают основной вклад в переходы с изменением кварковых ароматов ⁷. Вклад СУСИ-частиц в эффективный лагранжиан таких переходов есть ¹⁾:

$$\mathcal{L}_{eff}^{SUSY} = -\frac{\alpha_s^2}{3} \tilde{V}_{ts}^* \tilde{V}_{tb} \tilde{s}_L \tilde{\gamma}_\mu \frac{\lambda^a}{2} b_L \sum_{q=u,d,\dots} \bar{q} \gamma_\mu \frac{\lambda^a}{2} q \frac{1}{m_{\tilde{g}}^2} [f(x_b) - f(x_s)], \quad (1)$$

где $\tilde{V}_{tb,s}$ — элементы матрицы супер Кобаяши–Маскава,

$$f(x) = \{-146x^3 + 414x^2 - 342x + 74 + (6 - 162x^2 + 108x^3) \ln x\} / 36(x-1)^4,$$

где $x_i = \tilde{m}_i^2 / m_{\tilde{g}}^2$, а $m_{\tilde{g}}$ — масса глюино. Массы скалярных кварков в рамках этой модели есть ²: $\tilde{m}_b^2 = m_{3,2}^2 + m_b^2 + c m_t^2$, $\tilde{m}_s^2 = m_{3,2}^2$, где $m_{3,2}$ — масса гравитино. Коэффициент c в большинстве моделей оказывается равным $c = 0,1-1$ ⁶. В дальнейшем вслед за ⁵ мы будем полагать, что $\tilde{V}_{tq} \approx V_{tq}$ и $c = 0,5$. Следует отметить, что, как указывалось в ⁶, можно ожидать, что КХД поправки незначительно изменят полученный результат.

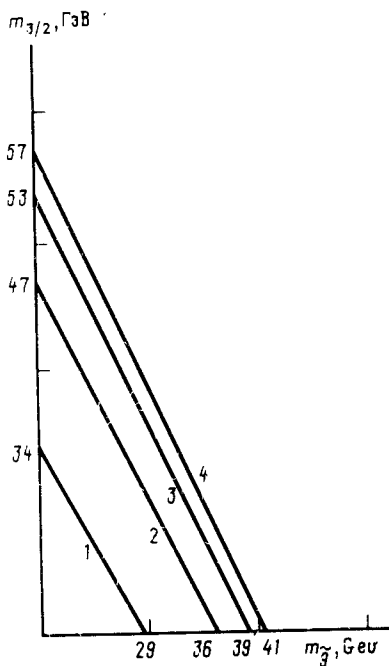


Рис. 1. Области масс СУСИ-частиц, где СУСИ-вклад в b - s -переход превосходит стандартный (под линиями). Линии соответствуют различным массам t -кварка: 1 — $m_t = 50$ ГэВ, 2 — $m_t = 100$ ГэВ, 3 — $m_t = 150$ ГэВ, 4 — $m_t = 200$ ГэВ

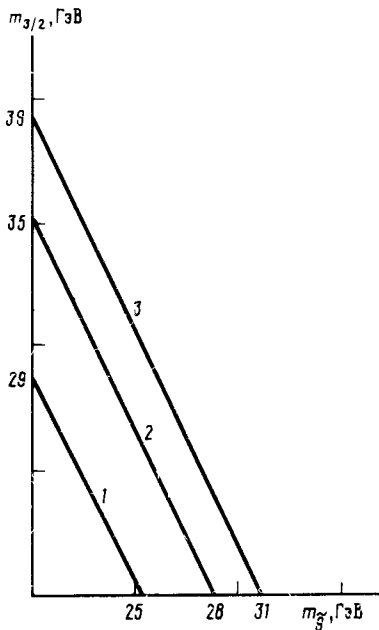


Рис. 2. Области масс СУСИ-частиц, не противоречащие данным по распаду $B_d \rightarrow K^0 \phi$. Линии соответствуют различным массам t -кварка: 1 — $m_t = 100$ ГэВ, 2 — $m_t = 150$ ГэВ, 3 — $m_t = 200$ ГэВ

¹⁾ Вычисление показывает, что вклад заряженных хиггсов по сравнению с вкладами глюино в пингвинные диаграммы весьма мал.

Вклад СУСИ-частиц (1) следует сравнить со стандартным вкладом ⁹:

$$\mathcal{L}_{eff}^{SM} = \frac{\alpha_s}{12\pi} G_F V_{ts}^* V_{tb} \bar{s}_L \gamma_\mu \frac{\lambda^a}{2} b_L \sum_{q=u,d,\dots} \bar{q} \gamma_\mu \frac{\lambda^a}{2} q \ln(m_t^2/m_c^2). \quad (2)$$

С учетом (1) и (2) и используя результаты работы ⁸, получаем следующие выражения для ширины исследуемых распадов с учетом вклада СУСИ частиц:

$$\Gamma(B_d \rightarrow K_s^0 \phi) = \frac{8}{9\pi} G_F^2 |V_{ts}^* V_{tb}|^2 \omega^2 (M_\phi^2/f_\phi^2) p_\phi^3,$$

$$\Gamma(B_d \rightarrow K^+ \pi^-) = \frac{4}{9\pi} G_F^2 |V_{ts}^* V_{tb}|^2 c^2 M_B^2 f_K^2 p_K,$$

где

$$\omega = -\frac{\alpha_s}{12\pi} \ln(m_t^2/m_c^2) + \frac{\alpha_s^2}{24} \frac{\sqrt{2}}{m_g^2 G_F} [f(x_b) - f(x_s)], \quad (3)$$

и $f_\phi^2 = 60\pi$, $f_K = 155,6$ МэВ и $p_{\phi,K}$ — импульсы соответствующих частиц.

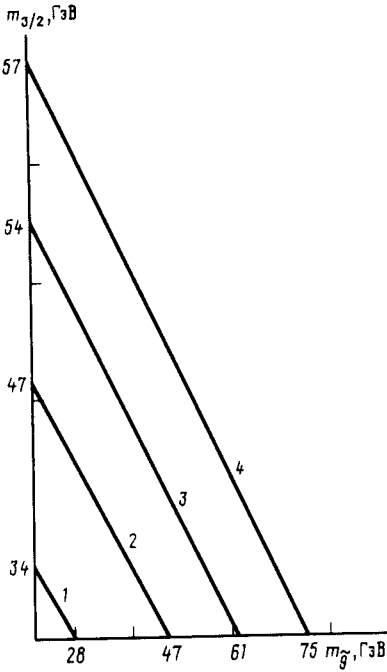


Рис. 3. Области масс СУСИ-частиц, не противоречащие данным по распаду. Линии соответствуют различным массам t -кварка: 1 — $m_t = 50$ ГэВ, 2 — $m_t = 100$ ГэВ, 3 — $m_t = 150$ ГэВ, 4 — $m_t = 200$ ГэВ

Следует подчеркнуть, что поскольку $f(x_s) > f(x_b)$ (т.к. $\tilde{m}_s < \tilde{m}_b$) стандартный и суперсимметричный вклады в (3) имеют одинаковый знак. Но их численные значения зависят от величины массы t -кварка, глюино, скалярных кварков. Вычисления показывают, что действительно существуют области этих масс, где СУСИ вклад в амплитуду $b \rightarrow s$ -перехода превышает стандартный (см. рис. 1).

Используя экспериментальные ограничения на рассматриваемые процессы:

$$BR(B_d \rightarrow K^0 \phi) < 4,5 \cdot 10^{-4}, \quad 90\% CL \quad 10$$

$$BR(B_d \rightarrow K^+ \pi^-) < 0,9 \cdot 10^{-4}, \quad 90\% CL \quad 11$$

можно получить ограничения на массы СУСИ-частиц (предполагая m_t фиксированным).

Область исключенных значений масс СУСИ-частиц изображены на рис. 2, 3, где при вычислениях было положено $|V_{ts}^* V_{tb}|^2 = 0,002$. Видно, что более сильные ограничения получаются из анализа распада $B_d \rightarrow K^+ \pi^-$. Например полагая $m_t = 100$ ГэВ, можно получить следующие ограничения на массы СУСИ-частиц: $m_{\tilde{g}} > 47$ ГэВ, $m_{\tilde{q}} > 73$ ГэВ. Такие пределы вполне могут конкурировать с ограничениями, полученными на коллайдерах.

Таким образом, можно ожидать, что существенный прогресс в поисках СУСИ-частиц будет сделан после того, как начнется работа B -мезонных фабрик и парциальные ширины различных каналов распадов B -мезонов будут определены с весьма большой точностью.

Авторы благодарны Н.Паверу за проявленный интерес к работе и полезные обсуждения.

Литература

1. *Behrend A. et al.* Z. Physik, 1987, C35, 181.
2. *Albajar C. et al.* Phys. Lett. B, 1987, 198, 261.
3. *Donoghue G.F. et al.* Phys. Lett. B, 1983, 128, 55; *Duncan M.J.* Nucl. Phys. B, 1983, 221, 285.
4. *Hou W.S. et al.* Phys. Rev. Lett., 1987, 59, 1521.
5. *Duncan M.J., Trampetic J.* Phys. Lett. B, 1984, 212, 439; *Gerard J.M. et al.* Phys. Lett. B, 1984, 140, 349; Phys. Lett. B, 1984, 141, 79; Nucl. Phys. B, 1985, 253, 93.
6. *Bertolini S. et al.* Phys. Lett. B, 1987, 192, 437; *Masiero A., Ridolfi G.* Phys. Lett. B, 1988, 212, 171; 213, 562; *Aliev T.M. et al.* Phys. Lett. B, to be published.
7. *Bertolini S., Masiero A.* Phys. Lett. B, 1986, 174, 343.
8. *Gavela M.B. et al.* Phys. Lett. B, 1985, 154, 425.
9. *Shifman M.A. et al.* Nucl. Phys. B, 1977, 120, 316.
10. *Golutvin A.I. et al.* Proceedings of XXIV Int. Conf. on High En. Physics. Eds. R.Kotthaus and J.Kuhn, Heidelberg: Springer-Verlag, 1988, p. 553.
11. *Jawahery A. et al.* (CLEO Collab.) *ibid.*, p. 545.

Институт ядерных исследований
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
19 декабря 1989 г.