

Токи второго класса в распадах τ лептона

З.К. Силагадзе

S. Weinberg, Phys. Rev. 112 (1958), 1375.

$$H_{int} = \sum_i J_i \bar{\psi}_l O^i \psi_\nu + H.c., \quad O^i = 1, \gamma_\mu, \sigma_{\mu\nu}, i\gamma_5 \gamma_\mu, \gamma_5$$

$$G = C e^{i\pi I_2}$$

$$J_i^{(1)} = J_i - \xi_i G J_i G^{-1},$$

$$J_i^{(2)} = J_i + \xi_i G J_i G^{-1},$$

$\xi_i = +1$, для S, A, P , и -1 для V, T .

$$G J_i^{(1)} G^{-1} = -\xi_i J_i^{(1)},$$

$$G J_i^{(2)} G^{-1} = \xi_i J_i^{(2)}.$$

“Истинные” токи второго класса

- В SM слабые токи — это токи первого класса:

$$J_\mu = V_\mu - A_\mu = \bar{u}\gamma_\mu(1 - \gamma_5)d$$

$$GV_\mu G^{-1} = V_\mu, \quad GA_\mu G^{-1} = -A_\mu.$$

- Токи второго класса можно построить, если ввести новое квантовое число (P. Langacker, 1977) :

$$J_\mu^{(1)} = \bar{u}_i\gamma_\mu(1 - \gamma_5)d_j\delta_{ij}, \quad J_\mu^{(2)} = \bar{u}_i\gamma_\mu(1 - \gamma_5)d_j\epsilon_{ij}.$$

- Фейнман предложил назвать это квантовое число “запах”.
- Огромные феноменологические проблемы (P. Langacker, PRD 15 (1977), 2386). “Такие токи в настоящее время находятся в немилости у первоклассных теоретиков, поскольку они не вписываются в их любимые схемы” V.L Telegdi, 1977.
- Квантовое число “запах” — хорошая идея для КХД на решетке (G. Parisi, 1983, скрученные граничные условия).

“экспериментаторы никогда не должны отговариваться утверждениями теоретиков о том, что некоторые возможности маловероятны. Физика — экспериментальная наука”.

B.R. Holstein, *Weak Interactions in Nuclei*, 2017.

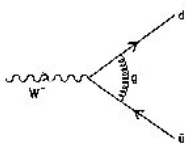


Все, что не запрещено является обязательным!

T. H. White, *The Once and Future King* (Ace Books, New York, 1996), p. 121.

Изотопическая симметрия нарушается

$$m_d - m_u \neq 0, \quad \alpha \neq 0.$$



$$\frac{m_d - m_u}{m_s} \sim \alpha \sim 0.01, \quad Br(\tau \rightarrow \bar{u}d\nu_\tau) \sim 5 \cdot 10^{-6}, \quad G(\bar{u}d) = -1.$$

J.L. Diaz-Cruz, G. Lopez Castro, Mod. Phys. Lett. A6 (1991) 1605.

Процесс адронизации тоже может генерировать SCC.

$$J_\mu = \partial_\mu(\sqrt{2/3}\eta\pi^- + K^0K^-).$$

H. Pietschmann and H. Rupertsberger, PRD 40 (1989), 3115.

W может перейти в мезон с $I = 1$ и $J = 1$, или $J = 0$ ($\tau \rightarrow \pi^- \nu_\tau$).
N. Nakanishi, Mod. Phys. Lett. A17 (2002), 89). $G = (-1)^{I+L+S}$.

- Первого класса $0^{--}(\pi)$, $1^{-+}(\rho)$, $1^{+-}(a_1)$
- Второго класса $0^{+-}(a_0)$ (поправки к вершине), $1^{++}(b_1)$ (поправки к вершине или адронизация)
- Экзотические первого класса $0^{++}(\omega a_0$ в р-состоянии). Требуется обоим механизмов нарушения симметрии.
- Экзотические второго класса $0^{-+}(\pi a_0$ в s-состоянии), $1^{--}(\eta\pi$ в р-состоянии). Только через процесс адронизации.

E.L. Berger, H.J. Lipkin, Phys. Rev. Lett. 59 (1987), 1394.

$$\langle p_f | V_\mu | p_i \rangle = \bar{u}(p_f) \left[F_V(q^2) \gamma_\mu + F_M(q^2) \frac{i\sigma_{\mu\nu} q^\nu}{2M} + F_S(q^2) \frac{q_\mu}{2M} \right] u(p_i)$$

$$\langle p_f | A_\mu | p_i \rangle = \bar{u}(p_f) \left[G_A(q^2) \gamma_\mu \gamma_5 + G_E(q^2) \frac{i\sigma_{\mu\nu} q^\nu \gamma_5}{2M} + G_P(q^2) \frac{q_\mu \gamma_5}{2M} \right] u(p_i)$$

$$F_M = \frac{\mu_{qp} - \mu_{qn}}{2M} \approx 1.98 \cdot 10^{-3} \text{ MeV}^{-1}$$

$$|G_E/F_M| = 0.0052 \pm 0.0018, \quad G_E = (1.0 \pm 0.4) \cdot 10^{-5} \text{ MeV}^{-1}$$

Правила сумм КХД с $m_u = (5.1 \pm 0.9) \text{ MeV}$ и $m_d = (9.0 \pm 1.6) \text{ MeV}$.

$$\xi = (0.04 \pm 0.18) \cdot 10^{-3} \text{ MeV}^{-1}, \quad |\xi| < 0.22 \cdot 10^{-3} \text{ MeV}^{-1} (90\% \text{ CL})$$

D.H. Wilkinson, Eur. Phys. J. A7 (2000), 307.

- Малые передачи импульса $q/M \leq 1\%$
- Кулоновские поправки
- Структура ядра
- Мезонные обменные токи

$$\tau^\pm \rightarrow b_1 \nu_\tau \rightarrow \omega \pi^\pm \nu_\tau$$

$G(\omega\pi) = +1$, SCC если через аксиальный ток

Доля токов второго класса в этом распаде $< 0.69\%$ (BaBar, Phys. Rev. Lett. 103 (2009), 041802.)

$$\tau^\pm \rightarrow a_0 \nu_\tau \rightarrow \eta \pi^\pm \nu_\tau$$

$G(\eta\pi) = -1$, только через векторный ток

C. Leroy, J. Pestieau, Phys. Lett. 72B (1978) 398.

$$\tau^\pm \rightarrow \rho \pi^\pm \nu_\tau, \quad \tau^\pm \rightarrow \phi \pi^\pm \nu_\tau$$

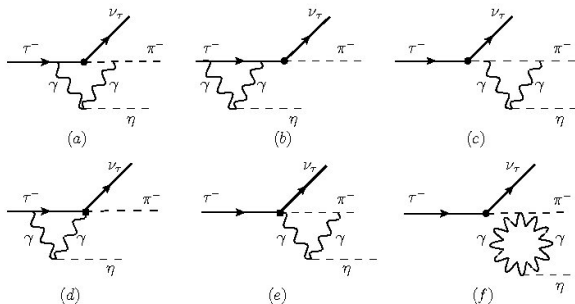
V.P. Barannik, A.P. Korzh, M.P. Rekalov, Acta Phys. Polon. B13 (1982) 835.

Идут только через токи второго класса

$\eta\pi$ в s-волне имеет $J^{PG} = 0^{+-}(a_0)$, может возникнуть только из-за поправок к вершине.

$\eta\pi$ в p-волне имеет $J^{PG} = 1^{--}$ (экзотический ток второго класса), может возникнуть только в процессе адронизации.

Электромагнитный механизм



Этот вклад очень мал и может иметь значение только для поиска новой физики, дающий вклад на уровне 10^{-4} в распад $\tau \rightarrow \eta' \pi \nu_\tau$

G. Hernández-Tomé, G. López Castro, P. Roig, PRD 96 (2017), 053003.

“Одна из трудностей, с которыми столкнулись B -фабрики, заключалась в том, что значительное количество $\eta\pi$ пар рождается из фоновых мод, таких как $\tau^- \rightarrow \eta\pi^- \pi^0 \nu_\tau$, и этот вклад должен быть вычтен. Резкое сокращение этого фона должно быть возможным на c/τ -фабриках.”

S. Descotes-Genon, B. Moussallam, Eur. Phys. J. C74 (2014), 2946.

Теоретические предсказания для $\tau^- \rightarrow \eta\pi^- \nu_\tau$

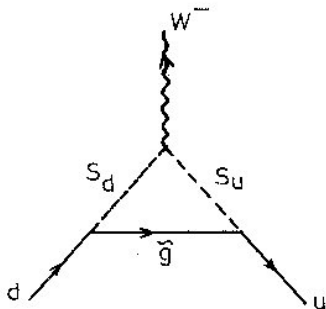
$BR \times 10^5$	Reference
1.85	Tisserant, Truong, Phys. Lett. B 115 (1982) 264.
1.50	Bramon, Narison, Pich, Phys. Lett. B 196, 543 (1987)
1.21	Neufeld, Rupertsberger, Z. Phys. C 68 (1995) 91.
1.36	Nussinov, Soffer, PRD 78 (2008), 033006.
[0.4, 2.9]	Paver, Riazuddin, PRD 82 (2010), 057301
0.48	Volkov, Kostunin, PRD 86 (2012), 013005
0.33	Descotes-Genon, Moussallam, Eur. Phys. J. C 74 (2014), 2946
[0.98, 1.67]	R. Escribano, S. González-Solis, P. Roig, PRD 94 (2016), 034008
<14 (95% CL)	CLEO, Phys. Rev. Lett. 76 (1996) 4119
<7.3 (90% CL)	BELLE, PoS EPS-HEP2009, 374 (2009)
<9.9 (95% CL)	BaBar, PRD 83 (2011) 032002

Теоретические предсказания для $\tau^- \rightarrow \eta' \pi^- \nu_\tau$

BR	Reference
$[0.2, 1.4] \times 10^{-6}$	Nussinov, Soffer, PRD 80 (2009), 033010.
$[0.61, 2.1] \times 10^{-7}$	Paver, Riazuddin, PRD 84 (2011), 017302
3.74×10^{-8}	Volkov, Kostunin, PRD 86 (2012), 013005
$[5 \cdot 10^{-5}, 3] \times 10^{-6}$	R. Escribano, S. González-Solís, P. Roig, PRD 94 (2016), 034008
<hr/>	
$< 4 \times 10^{-6}$ (90% CL)	BaBar, PRD 86 (2012), 092010
$< 7.2 \times 10^{-6}$ (90% CL)	BaBar, PRD 77 (2008), 112002

Пренебрежимо мал для $\tau^- \rightarrow \eta\pi^-\nu_\tau$, если требовать $E_\gamma > 100$ MeV, но все еще может быть важным фоном в канале η' .

[A. Guevara, arXiv:1708.05110](#)



S. Alam, S.N. Biswas, A. Goyal, Phys. Rev. D 30 (1984), 680.

Y. Meurice, Phys. Rev. D 36 (1987), 2780.

- Скалярные токи
- Нарушение лептонной универсальности
- Токи второго класса

$$f_0^{\eta\pi}(s) = f_{0(SM)}^{\eta\pi}(s) \left(1 - \frac{\xi_\tau^*(\xi_u m_u - \xi_d m_d)}{m_u - m_d} \frac{s}{M_{H^+}^2} \right).$$

Надо измерить (и вычислить) $f_0^{\eta\pi}$ при $s = 1 \text{ GeV}^2$ с 20%-ой точностью чтобы конкурировать с $B \rightarrow \tau\nu_\tau$.

S. Descotes-Genon, B. Moussallam, Eur. Phys. J. C 74 (2014), 2946.

- Поиск токов второго класса в распадах τ — естественная часть физической программы c/τ -фабрики.
- BELLE-II, наверное, опередит и откроет $\tau^- \rightarrow \eta\pi^- \nu_\tau$.
- Не так очевидно для $\tau^- \rightarrow \eta'\pi^- \nu_\tau$.
- Даже если BELLE-II опередит, изучение этих распадов и других проявлении токов второго класса будут представлять интерес.
- Можно искать проявления новой физики в этих распадах.

“вероятность успеха оценить трудно: но если не искать, шансы на успех будут равны нулю.”

G. Cocconi, P. Morrison, Nature 184 (1959), 844.