

Комментарии к докладу

Дзюба Алексей

Смешивание и CPT-теорема

- Эти матрицы нарушают CPT-симметрию по построению.
 - Они противоречат следствию из CPT-теоремы о том, что времена жизни (ширины) частиц и античастиц совпадают.
 - CPT-теорема утверждает, что любая лоренц-инвариантная квантово-полевая теория с локальными полями, эрмитовым гамильтонианом проквантованная по статистике Бозе-Эйнштейна или Ферми-Дирака сохраняет CPT.
 - Можно задаться вопросом: **Какое из условий CPT-теоремы нарушает введение W_R ?**
- Попытка объяснить существующий эффект СР-нарушения для нейтральных K -мезонов при помощи W_R , отменяет:
 - существующее самосогласованное его объяснение (ККМ-матрица в Стандартной модели),
 - фундамент любых квантово-полевых теорий.
- Если интерпретировать эффекты СР-нарушения в нейтральных, которые уже интерпретированы в СМ, вы должны объяснить как, тогда везде (!) заменить ККМ-механизм

$$\begin{pmatrix} M - i \frac{\Gamma_0 - \Delta\Gamma}{2} & 0 \\ 0 & M - i \frac{\Gamma_0 + \Delta\Gamma}{2} \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} M - i \frac{\Gamma_0 - \Delta\Gamma}{2} & \delta m - i \frac{\partial\Gamma}{2} \\ \delta m + i \frac{\partial\Gamma}{2} & M - i \frac{\Gamma_0 + \Delta\Gamma}{2} \end{pmatrix}$$

Ограничение CPLEAR на $\Delta\Gamma$

- Корректно сравнивать не расчеты между собой, а параметры с известными опубликованными ограничениями.
- $\Delta\Gamma=4\delta\zeta=0,01$ на порядок превосходит ограничение **0,001** полученное экспериментом CPLEAR
 - Physics Letters B 471 (1999) 332–338

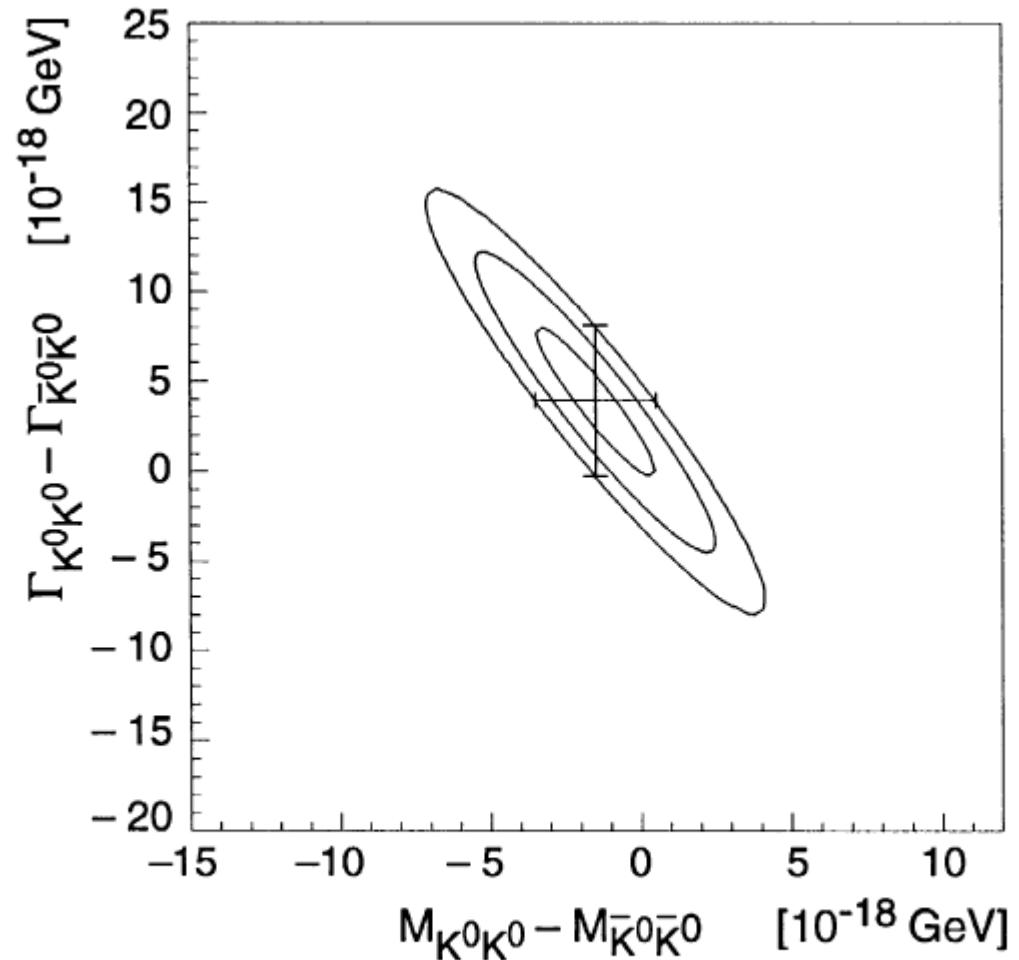
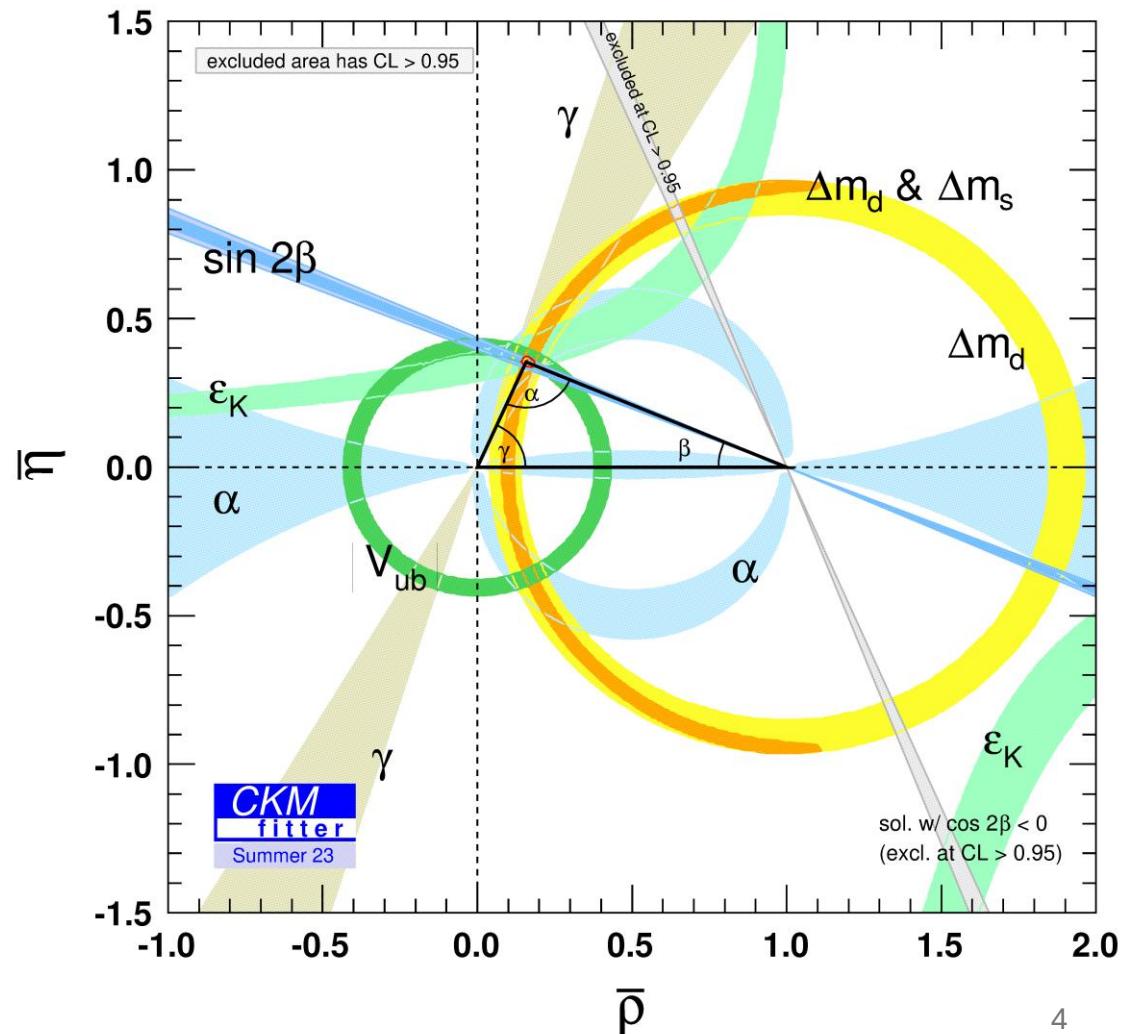


Fig. 1. The $K^0 - \bar{K}^0$ decay-width versus mass difference. The 1σ , 2σ and 3σ ellipses are also shown.

Новая интерпретация осцилляций (W_R)

- Если интерпретировать эффекты CP-нарушения в нейтральных, которые уже интерпретированы в СМ, необходимо объяснить как, тогда **везде (!)** заменить ККМ-механизм
- Например, «развалится» треугольник унитарности (ε_K).

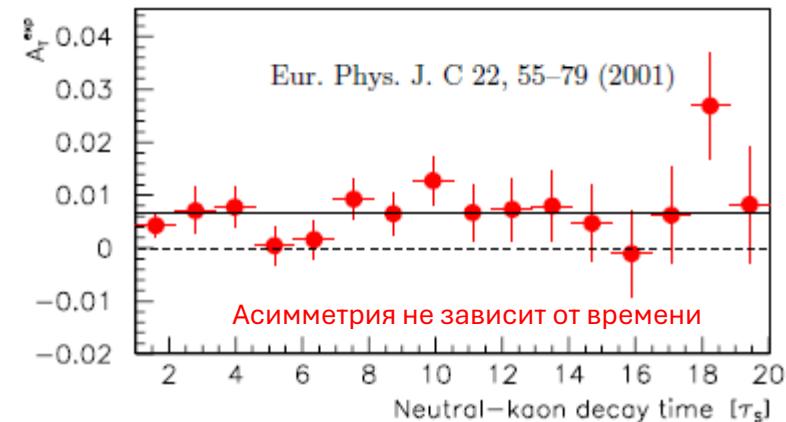
$$|\varepsilon| \propto \eta(1 - \rho + \text{constant}).$$



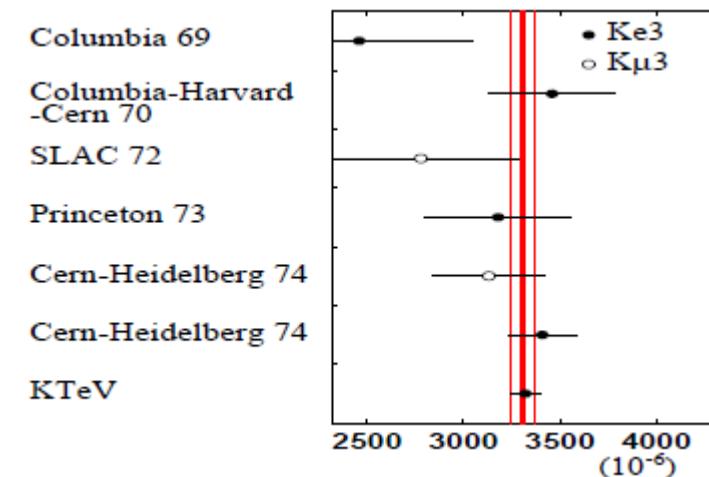
Косвенное СР-нарушение для K^0

- Критическим является измерение СР-нарушение для K^0 -мезонов.
- Общепринято, что природа этого нарушение косвенная
- Оно возникает из-за того, что
 - $|M_L\rangle = p|K^0\rangle + q|K^0\bar{b}\rangle$, $|M^H\rangle = p|K^0\rangle - q|K^0\bar{b}\rangle$,
 - $|q/p| = (1 - \varepsilon_K)/(1 + \varepsilon_K) \neq 1$
- Это приводит к небольшой СР-четной (K_2^0) примеси в волновую функцию $|K_L^0\rangle$
 - $|K_0L\rangle = (|K_1^0\rangle + \varepsilon_K |K_2^0\rangle)/\sqrt{1+|\varepsilon_K|^2}$
- С точки зрения флейворного состава $|K_L^0\rangle$:
 - $|K_L^0\rangle = [(1 + \varepsilon_K)|K^0\rangle + (1 - \varepsilon_K)|K^0\bar{b}\rangle]/\sqrt{2+2|\varepsilon_K|^2}$

- A_T – это не прямая, а косвенная Т-нарушающая (или что тоже самое СР-нарушающая) асимметрия.
- Странность каона фиксируется только в момент его рождения ($t=0$), что приводит к $A_T = 4\text{Re}(\varepsilon_K)$



- Соотношение $A_T = 2A_L$ естественно для квантово-механического описания осцилляций



$$\delta_L = 2\text{Re} \epsilon_L - 2\text{Re} Y - \text{Re}(x - \bar{x}).$$

The terms Y and $\text{Re}(x - \bar{x})$ parameterize CPT violation

Есть ли прямое СР-нарушение для K^0

- Да! Но оно мало!
- На три порядка меньше косвенного.
- Если ввести дополнительное прямое СР-нарушение, то в СР-четном канале (например, $K^0 \rightarrow \pi^-\pi^+$), то возникнет интерференция процессов смешивания и распадов
 - Этот эффект известен и наблюдается для прелестных мезонов (B) →
 - Амплитуда распада с W_R неизбежно должна интерферировать с процессами смешивания, а она большая $2\delta\zeta$

СР violation can also occur in the decay amplitudes

$$A(K^0 \rightarrow \pi\pi(I)) = A_I e^{i\delta_I}, \quad A(\bar{K}^0 \rightarrow \pi\pi(I)) = A_I^* e^{i\delta_I}, \quad (68.4)$$

where I is the isospin of $\pi\pi$, δ_I is the final-state phase shift, and A_I would be real if СР invariance held. The СР-violating observables are usually expressed in terms of ϵ and ϵ' defined by

$$\eta_{+-} = \epsilon + \epsilon', \quad \eta_{00} = \epsilon - 2\epsilon'. \quad (68.5a)$$

$$|\epsilon| = (2.228 \pm 0.011) \times 10^{-3},$$

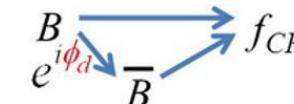
$$\phi_\epsilon = (43.5 \pm 0.5)^\circ,$$

$$\text{Re}(\epsilon'/\epsilon) \approx \epsilon'/\epsilon = (1.66 \pm 0.23) \times 10^{-3},$$

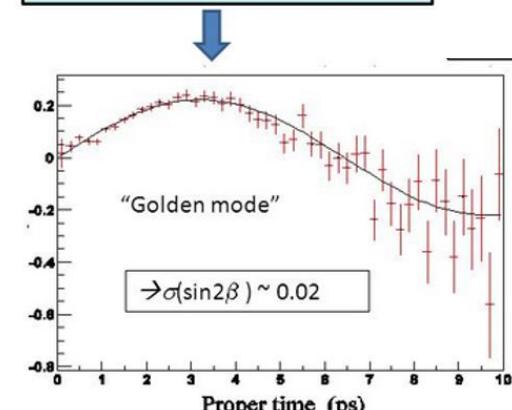
$$\phi_{+-} = (43.4 \pm 0.5)^\circ,$$

$$\phi_{00} - \phi_{+-} = (0.34 \pm 0.32)^\circ,$$

$$A_L = (3.32 \pm 0.06) \times 10^{-3}.$$

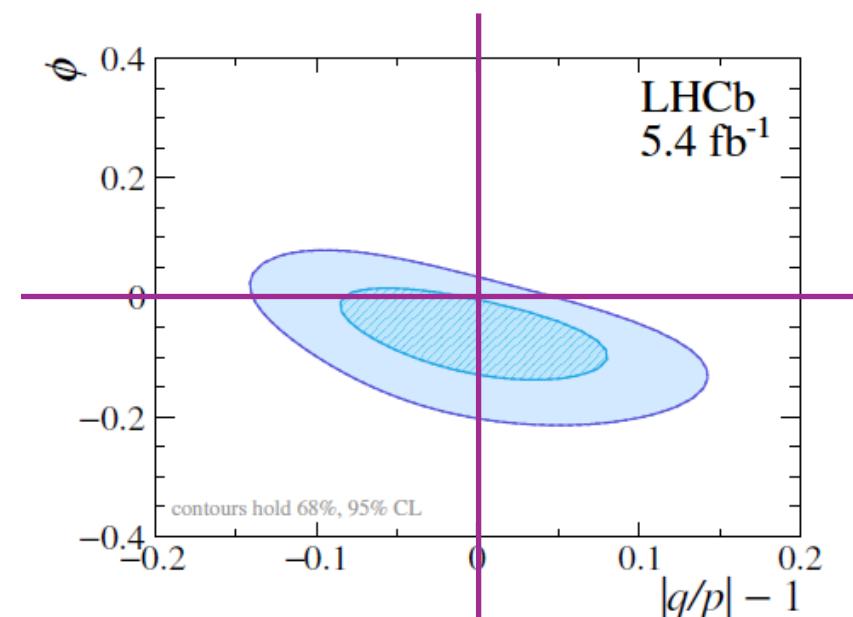
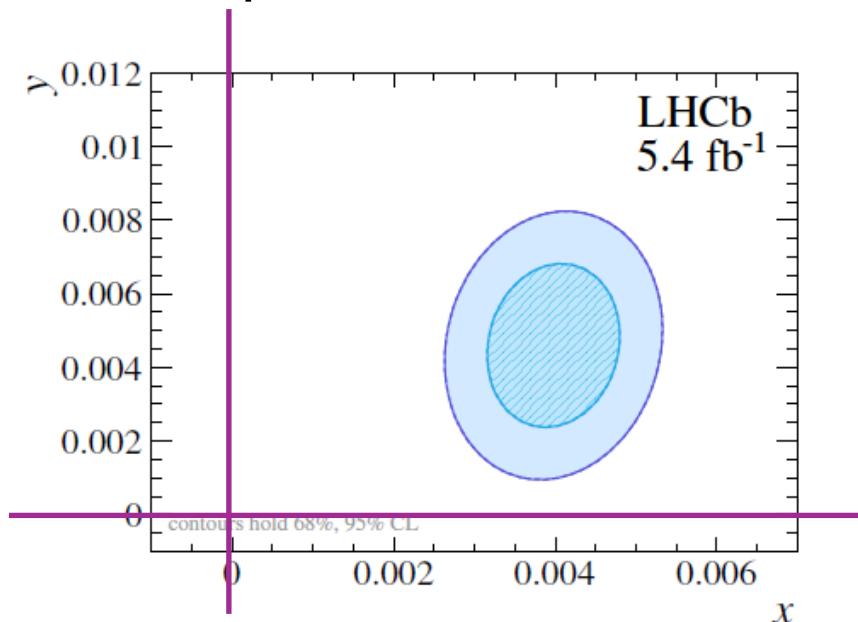


$$B^0: \quad A_{CP}(t) = \eta_f \sin \phi_d \sin(\Delta m_d t)$$



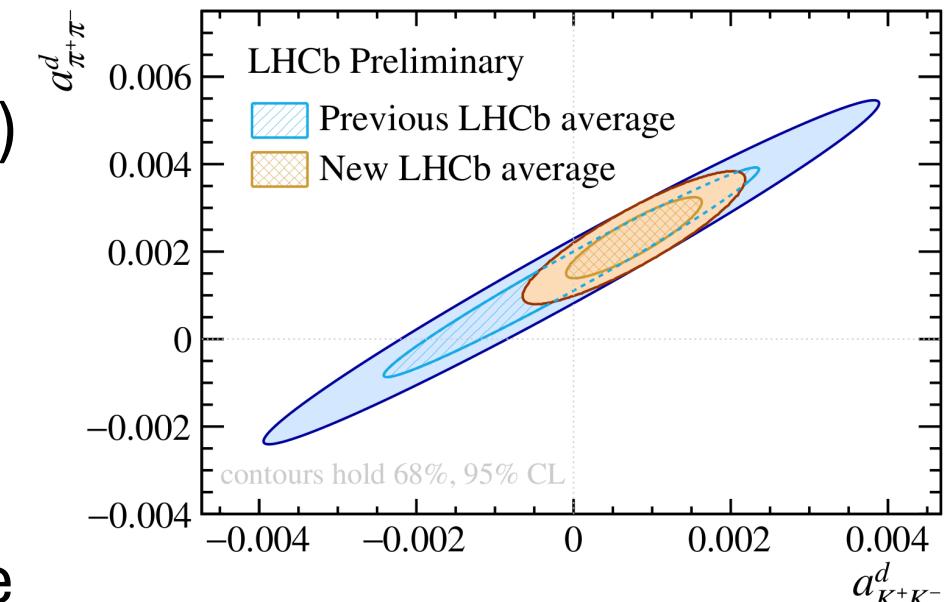
СР-нарушение при смешивании D^0

- Параметры x и y – это параметры смешивания
- ϕ и $|q/p|$ – параметры СР-нарушения при смешивании
- То, что величина y , которая не является параметром СР-нарушения, численно близка с $A^{LR}=-2\delta\zeta$ ни о чем не говорит.
- y – разница ширин массовых, а не ароматовых (очарованных) состояний.



Прямое СР-нарушение для D^0

- СР-нарушение установлено LHCb при измерении ненулевой разницы $A_{CP}(D^0 \rightarrow \pi^-\pi^+)$ и $A_{CP}(D^0 \rightarrow K^+K^-)$.
 - $\Delta A_{CP} = A_{CP}(K^+K^-) - A_{CP}(\pi^+\pi^-) = (-15.4 \pm 2.9) \times 10^{-4}$
 - $a_{CP}(K^+K^-) = (7.7 \pm 5.7) \times 10^{-4}$
- Из этих двух измерений следует, что скорее всего дело в $D^0 \rightarrow \pi^-\pi^+$ канале:
 - $a_{CP}(\pi^-\pi^+) = (23.2 \pm 6.1) \times 10^{-4}$



Phys. Rev. Lett. 122 (2019) 211803

Phys. Rev. Lett. 131 (2023) 091802