

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 CP-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 CP-нарушения в нейтральных , которые уже интерпретированы в СМ, вы должны объяснить как, тогда везде (!) заменить ККМ-механизм

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

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

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

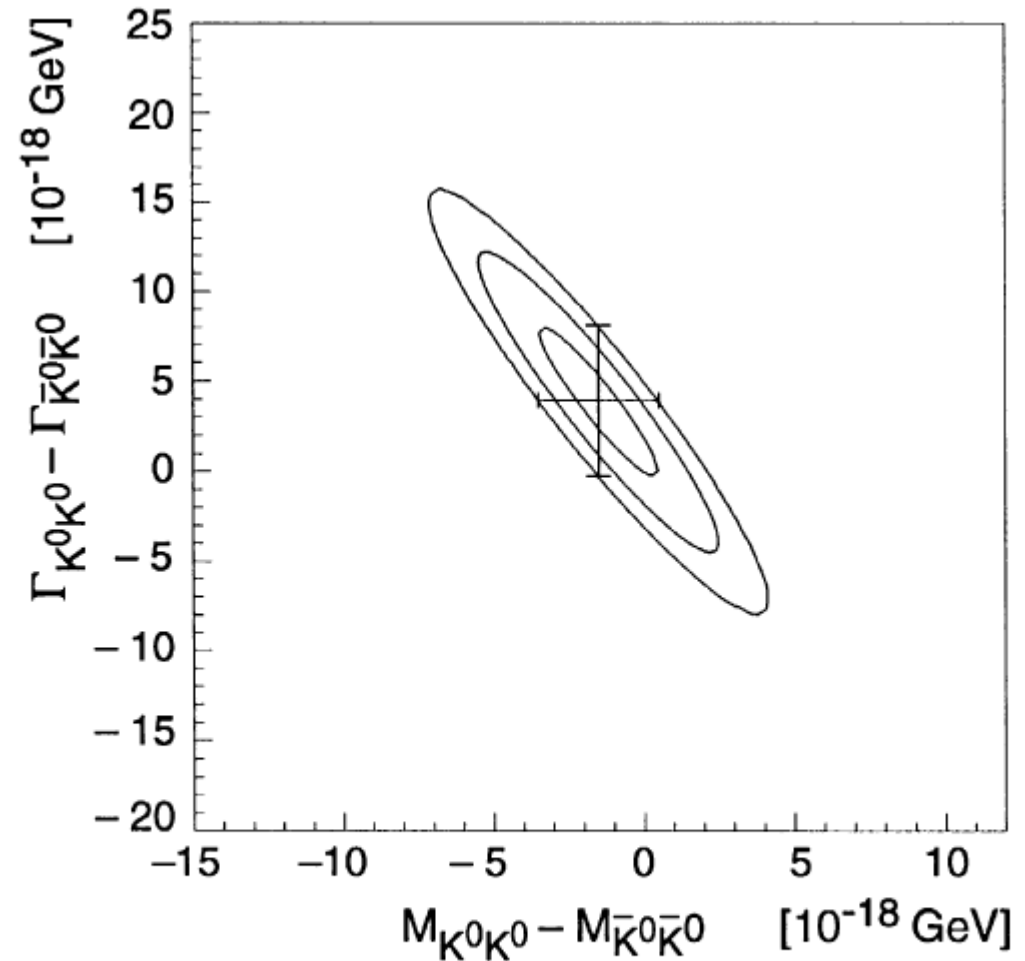
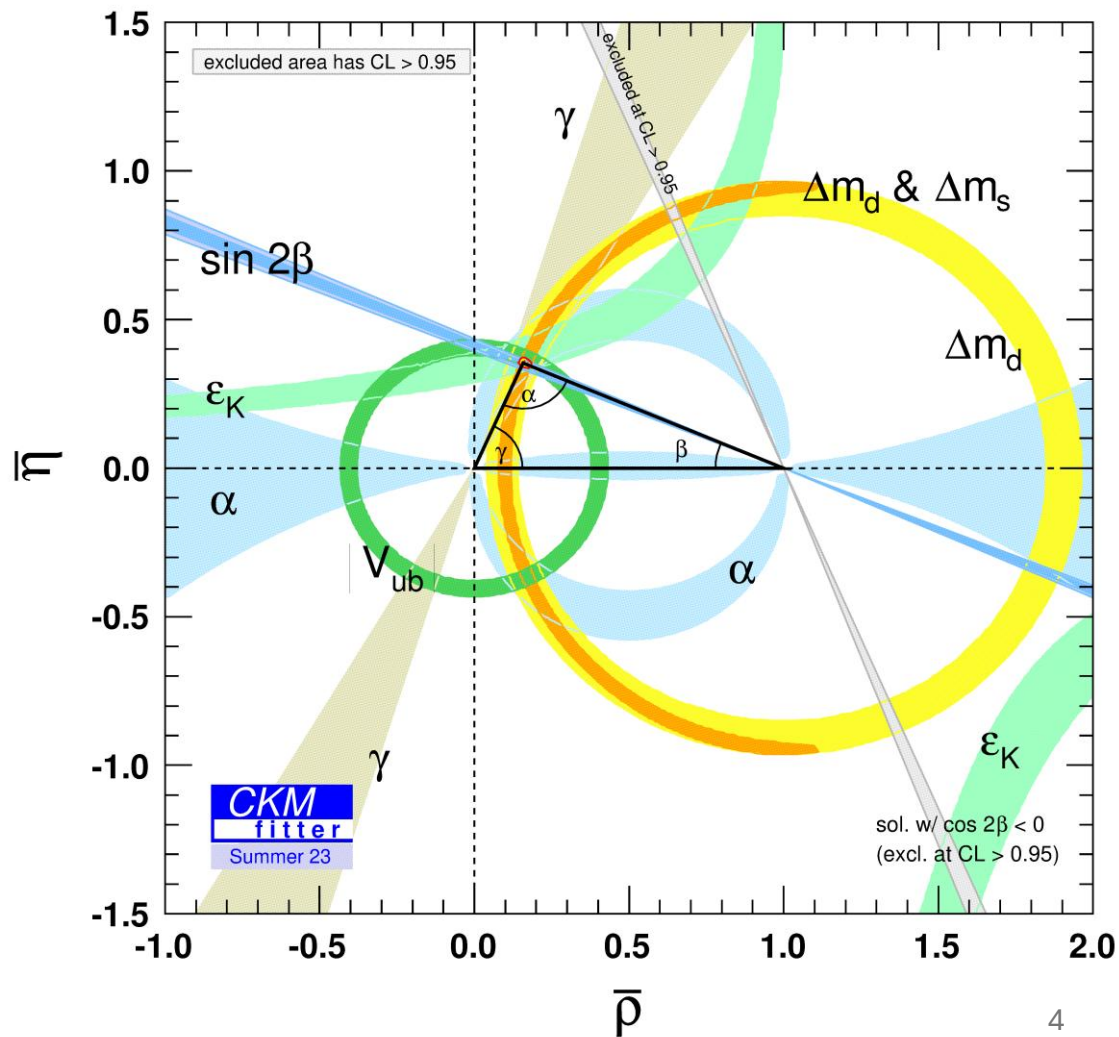


Fig. 1. The $K^0 - \bar{K}^0$ decay-width versus mass difference. The 1σ , 2σ and 3σ ellipses are also shown.

Новая интерпретация осцилляций (W_R)

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

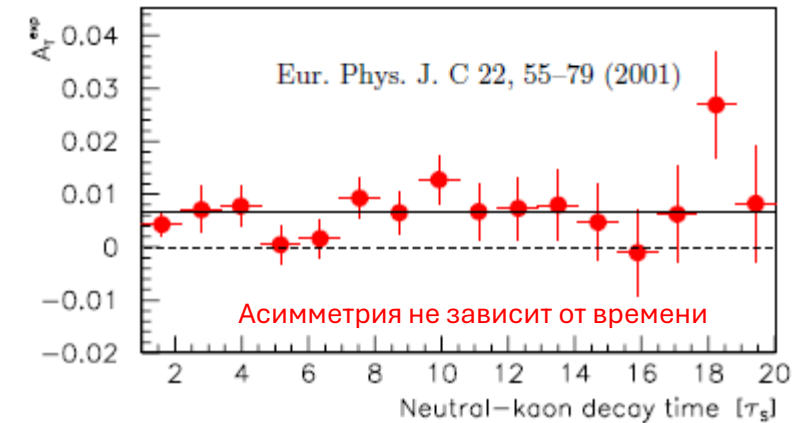
$$|\varepsilon| \propto \eta(1 - \rho + \text{constant}).$$



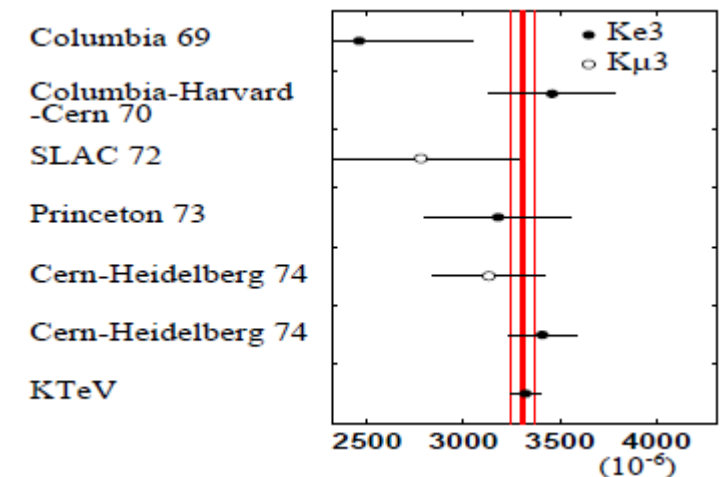
Косвенное CP-нарушение для K^0

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

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



- 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 CP-нарушение для K^0

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

CP 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 CP invariance held. The CP -violating observables are usually expressed in terms of ϵ and ϵ' defined by

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

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

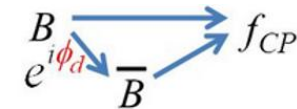
$$\phi_\epsilon = (43.5 \pm 0.5)^\circ,$$

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

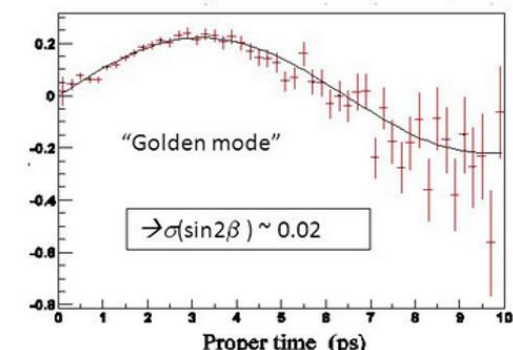
$$\phi_{+-} = (43.4 \pm 0.5)^\circ,$$

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

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

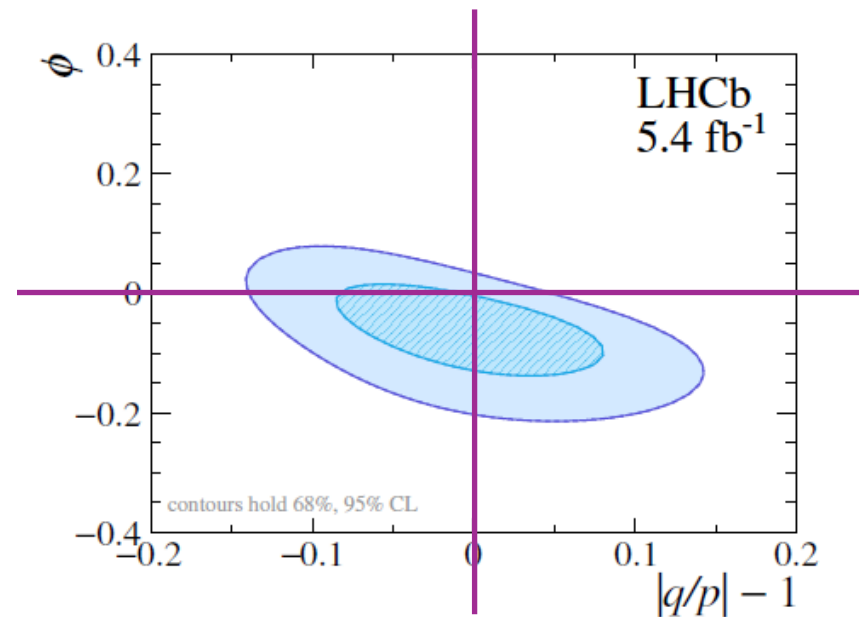
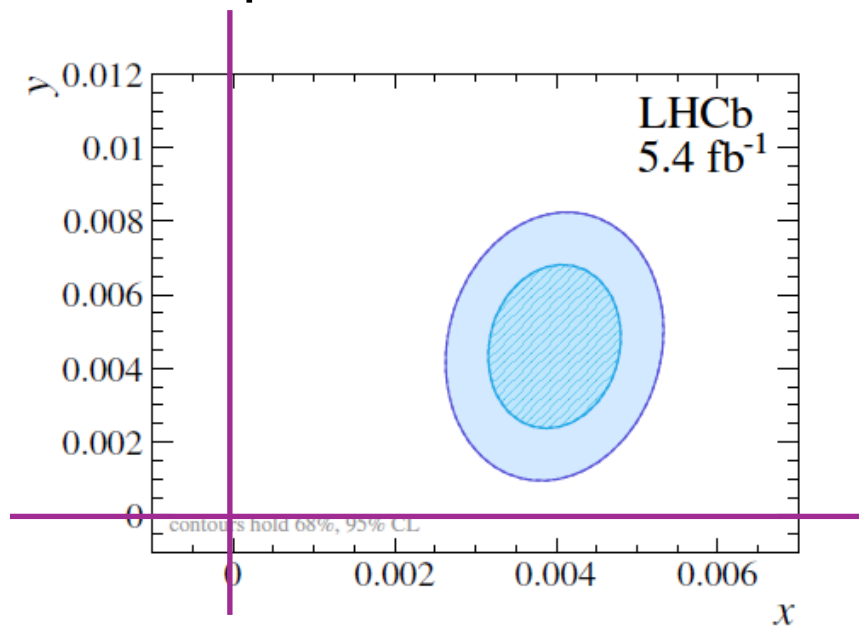


$$B^0: A_{CP}(t) = \eta_f \sin \phi_d \sin(\Delta m_d t)$$



CP-нарушение при смешивании D^0

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



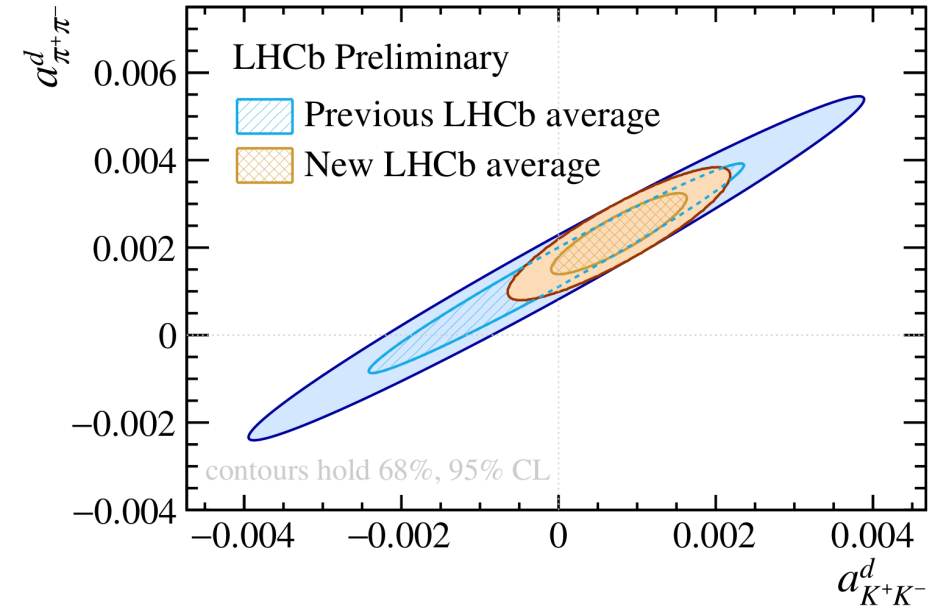
Phys. Rev. Lett. 127, 111801 (2021)

Phys. Rev. Lett. 131, 079901 (2023)

Для D^0 также измерено отличие от нуля параметра x

Прямое CP-нарушение для D^0

- CP-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