FLAVOR Physics and CP violation

۲۰۱۰/۱۲/۱۴
۰۱:۵۸ ب.ظ

چندپارامتر در بخش پیمانه‌ای داریم؟

〃 〃 Yukawa داریم؟

Flavor physics $\begin{cases} \text{lepton} \\ \text{quark} \end{cases}$

FCNC ← t

FCNC ← new physics

FCNC ← mixing

FCNC ← small splitting

FCNC ← loop

} suppressed

نقش تاریخی فرآیندهای FCNC در شکل‌گیری
مدل استاندارد ذرات بنیادی به شکلی که اکنون می‌شناسیم.

$K^0 \leftrightarrow \bar{K}^0$

$c \rightarrow$ $K^0 \rightarrow \mu^+\mu^-$ GIM 1970

m_c Gaillard Lee 1974

CP-violation in K^0-$\bar{K}^0$ system Kobayashi Maskawa 1973

نسل سوم

$\ldots < m_t \leftarrow B^0$-$\bar{B}^0$

Hint for new physics $\begin{pmatrix} 2\sigma \\ 3\sigma \end{pmatrix}$

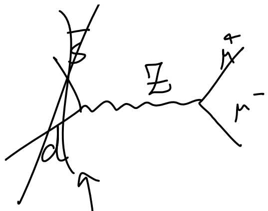
درحالت کلی نقض CP و نقض طعم لزوماً یک منشأ ندارند.

کتاب یک مثال خیلی خاص زده اما مثال‌ها فراوانند.

$\mu \rightarrow e\gamma$?

GIM

$$\underbrace{K^0}_{d\bar s} \to \mu^+\mu^-$$



حتی اگر در پایه‌ی جرم باشیم.

اساس کاری که کردند آن بود که برهمکنش پیمانه‌ای را برای دو نسل یکسان (universal) کردند. یعنی گفتند نسل اول و دوم باید دقیقاً یکسان با Z برهمکنش کنند، یک تقارن $SU(n_g)$ معرفی کردند.

نسل‌ها $n_g = 3$

$$\mathcal{L} = Z_\mu \left(a_L^f \bar f_L \gamma_\mu f_L + a_R^f \bar f_R \gamma_\mu f_R \right)$$

$$a_L^u = a_L^c = a_L^t \qquad a_R^u = a_R^c = a_R^t$$

$$a_L^d = a_L^s = a_L^b \qquad a_R^d = a_R^s = a_R^b$$

$$\begin{pmatrix} u_L \\ c_L \\ t_L \end{pmatrix} \to W_x \begin{pmatrix} u_L \\ c_L \\ t_L \end{pmatrix} \qquad \begin{pmatrix} d \\ s \\ b \end{pmatrix}$$

همین طور درمورد

horizontal symmetry

vertical symmetry ← Gauge

$\cancel{\bar s \gamma_\mu d Z^\mu}$

Two Higgs doublet models $\begin{pmatrix} \varphi_1^+ \\ \varphi_1^0 \end{pmatrix}$ $\begin{pmatrix} \varphi_2^+ \\ \varphi_2^0 \end{pmatrix}$

$$\bar u_{iL} \left[f_{ij}^{(1)} \varphi_1^0 + f_{ij}^{(2)} \varphi_2^0 \right] u_{jR} + H.c.$$

$$\langle \varphi_1^0 \rangle = \frac{v_1}{\sqrt 2} \qquad \langle \varphi_2^0 \rangle = \frac{v_2}{\sqrt 2}$$

$$\underline{v_1 \varphi_1^0 + v_2 \varphi_2^0} \to \text{flavor diagonal}$$

$\sqrt{v_1^2 + v_2^2}$

$$\frac{v_2 \varphi_1^0 - v_1 \varphi_2^0}{\sqrt{v_1^2 + v_2^2}} \rightarrow \text{flavor off-diagonal}$$

در MSSM چنین مسئله ای نداریم. با این که دو دوتایی هیگز
وجود دارد $\left[H_d = \begin{pmatrix} H_d^+ \\ H_d^0 \end{pmatrix} \text{ ، } H_u = \begin{pmatrix} H_u^0 \\ H_u^- \end{pmatrix} \right]$
اما بخش هیگز منجر به نقض طعم نمی‌شود. دلیل آن است که:

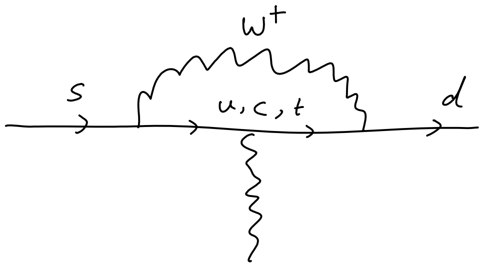
$$\bar{u}_L H_u^0 u_R + \cancel{\bar{u}_L H_d^0 u_R} \qquad \bar{d}_L H_d^0 d_R + \cancel{\bar{d}_L H_u^0 d_R}$$

$m_u \neq m_t \neq m_c \quad \longrightarrow \quad SU(3)^{n_g}$ شکست $\rightarrow (U(1))^3$

افقی

یا

$SU(n_g) \longrightarrow (U(1))^{n_g}$



$m_c = m_u = m_t \quad \longleftrightarrow \quad SU(3)$ symmetry

$\sum_i U_{id}^* U_{is} = 0 \quad \longrightarrow \quad$ no FCNC

حوسل

$$U_{cd}^* U_{cs} \frac{m_c^2 - m_u^2}{M_W^2} = \cos\theta_c \sin\theta_c \frac{m_c^2 - m_u^2}{m_W^2}$$

$\simeq 6 \times 10^{-5}$

فرآیندهای نادر در سیستم کائون

$K^0 \sim \bar{s} \gamma_5 d \qquad \bar{K}^0 \sim \bar{d} \gamma_5 s$

$CP|K^0\rangle \qquad |\bar{K}^0\rangle$

$$CP\,|K^0\rangle = -|\bar{K}^0\rangle$$

از آزادی تعریف استفاده کرده‌ام.

$S=-1 \leftarrow s$ $\qquad$ بقیه‌ی ذرات $\longrightarrow S=0$

$S=1 \leftarrow \bar{s}$

$K^0 \longrightarrow S=-1 \qquad \bar{K}^0 \longrightarrow S=+1$

فرآیندهای نادر

(a) $|\Delta S|=2 \qquad K^0 \longleftrightarrow \bar{K}^0$

(b) $|\Delta S|=1 \qquad \underline{K_L} \to \mu^+\mu^- \qquad K^+ \to \pi^+\nu\bar{\nu}$

$$K^+ \longrightarrow \pi^+\nu\bar{\nu} \equiv K^+ \to \pi^+\nu_e\bar{\nu}_e \,,\; K^+ \to \pi^+\nu_\mu\bar{\nu}_\mu \,,\; K^+ \to \nu_\tau\bar{\nu}_\tau\pi^+$$

$K^0 \to \pi^+\nu_e\bar{\nu}_\mu$??

فرآیندهایی با $|\Delta S|=2$

$$\begin{cases} QCD \\ QCD + QED \end{cases}$$

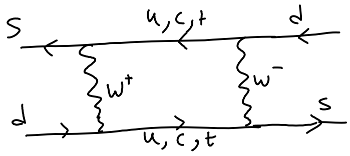
$|K^0\rangle$, $|\bar{K}^0\rangle$ → eigenstate های هامیلتونی

$$(K^{0\dagger} \;\; \bar{K}^{0\dagger}) \underbrace{\begin{pmatrix} M^2 & 0 \\ 0 & M^2 \end{pmatrix}}_{} \begin{pmatrix} K^0 \\ \bar{K}^0 \end{pmatrix}$$ ← جمله‌ی جرمی

جملات غیرقطری صفر هستند.

چون s بقا دارد.

روشن کردن برهمکنش ضعیف ← نقض شگفتی



tan

$$H = \begin{pmatrix} M & M_{12} \\ M_{12}^* & M \end{pmatrix}$$

جذر ماتریسی جری

دقت کنید که از CPT استفاده کرده‌ایم.

فعلاً M را حقیقی بگیریم.

آیا M می‌تواند موهومی باشد.

معنای مختلط بودن M

یکانی بودن چه می‌شود.

$$|K_1\rangle \equiv \frac{|K^0\rangle - |\bar{K}^0\rangle}{\sqrt{2}} \qquad m_1 = M - M_{12}$$

$$|K_2 \equiv \frac{|K^0\rangle + |\bar{K}^0\rangle}{\sqrt{2}} \qquad m_2 = M + M_{12}$$

درواقع به علت ε، M_{12} موهومی است ولی فعلاً آن

را حقیقی بگیریم.

$$CP|K_1\rangle = |K_1\rangle \quad ; \quad CP|K_2\rangle = -|K_2\rangle$$

Absorptive parts تعریف

$$\frac{|M_{12} - M_{12}^*|}{|M_{12} + M_{12}^*|} \ll 1$$ اما درواقع $M_{12} \neq M_{12}^*$

$$\frac{Im(M)}{Re(M)} \ll 1$$

درواقعیت

$K_S \simeq K_1 \qquad K_L \simeq K_2$

$\Delta m_K \equiv m_{K_L} - m_{K_S} \simeq 2M_{12} = (3.552 \pm 0.016)\times 10^{-12}\,\mathrm{MeV}$

$K_S \to \pi\pi \quad \leftarrow$ CP conserving

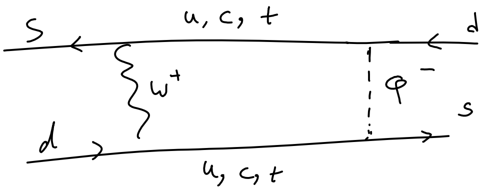
$K_L \to \pi\pi\pi \quad$ CP-violating

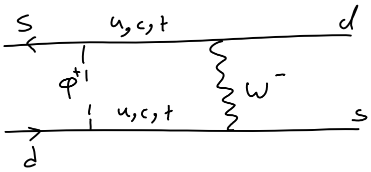
$\quad\quad \pi\pi \quad \cancel{\mathrm{CP}}$

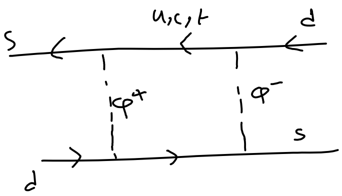
gauge R_ξ میرویم به

$$\frac{i}{k^2 - \frac{m_W^2}{\xi} + i\varepsilon}$$

φ^{+}
$\downarrow$
Nambu Goldstone boson







$$Y_t^4 \left(\frac{1}{m_t^2}\right)^2 \sim \left(\frac{g\, m_t}{m_W}\right)^4 \frac{m_t^2}{m_t^4} \propto m_t^2$$

non-decoupling

دیاگرام های جعبه

$K_L \to \mu\mu \quad \longleftarrow \quad$ دیاگرام های پنگوئن

$$\mathcal{L}_{eff}^{|\Delta S|=2} = \frac{G_F}{\sqrt{2}} \frac{\alpha}{4\pi \sin^2\theta_W} \sum_{i,j=c,u,t} (V_{is}^* V_{id})$$

$$(V_{js}^* V_{jd})\; E(x_i, x_j)\; (\bar{s}\gamma_\mu L d)(\bar{s}\gamma^\mu L d)$$

$$E(x_i, x_j) = -x_i x_j \Big\{ \frac{1}{x_i - x_j} \Big[\Big(\frac{1}{4} - \frac{3}{2}\frac{1}{\ldots}$$

$$E(x_i, x_j) = -x_i x_j \left\{ \frac{1}{x_i - x_j} \left[\left(\frac{1}{4} - \frac{3}{2} \frac{1}{x_i - 1} \right. \right. \right.$$

$$\left. \left. - \frac{3}{4} \frac{1}{(x_i-1)^2} \right) \ln x_i \quad - (x_i \to x_j) \right] - \frac{3}{4} \frac{1}{(x_i-1)(x_j-1)}$$

$$x_i = \frac{m_i^2}{m_W^2}$$

کردان

$$\langle K^0 | (\bar{s}\gamma_\mu L d)(\bar{s}\gamma^\mu L d) | \bar{K}^0 \rangle = \frac{2}{3} f_K^2 m_K^2 B$$

$$m_K = M$$

Bag parameter

$$\langle K^0 | (\bar{s}\gamma_\mu L d) \underbrace{\sum_n |n\rangle\langle n|}_{=1} (\bar{s}\gamma^\mu L d) | \bar{K}^0 \rangle$$

$$\underbrace{}_{|0\rangle\langle 0| + | \cdot \;\cdots\cdots}$$

خلاء

$B = 1 \Rightarrow$ vacuum saturation

$$\begin{pmatrix} M^2 & \delta m^2 \\ \delta m^2 & M^2 \end{pmatrix}$$

$$\delta m^2 = -\langle \bar{K}^0 | \mathcal{L}_{eff}^{|\Delta S|=2} | K^0 \rangle =$$

$$-\frac{G_F}{\sqrt{2}} \frac{\alpha}{6\pi \sin^2\theta_W} f_K^2 m_K^2 B \left[(V_{is}^* V_{id})(V_{js}^* V_{jd}) E(x_i, x_j) \right)$$

$$H \simeq \begin{pmatrix} M & \frac{\delta m^2}{2M} \\ \frac{\delta m^2}{2M} & M^2 \end{pmatrix}$$

$$M_{12} \simeq \frac{\delta m^2}{2M}$$

$$\Delta m_K \simeq 2\,\mathrm{Re}[M_{12}] = \frac{\mathrm{Re}\,\delta m^2}{M}$$

$$\simeq -\frac{G_F}{\sqrt{2}} \frac{\alpha}{6\pi \sin^2\theta_W} f_K^2 m_K B \,\mathrm{Re}[\quad J E(x_i, x_j))$$

2 نسل

$$\Delta m_K \simeq \frac{\alpha G_F f_K^2 m_K}{6\sqrt{2}\,\pi \sin^2\theta_W} B \left(\sin\theta_c \cos\theta_c\right)^2 \frac{m_c^2}{m_W^2}$$

Gaillard & Lee $\longrightarrow$ $m_c \simeq 1.3\,\text{GeV}$

$\uparrow$

Δm_K

نمی‌دانم B را چه کرده بود

intermediate non-perturbative u

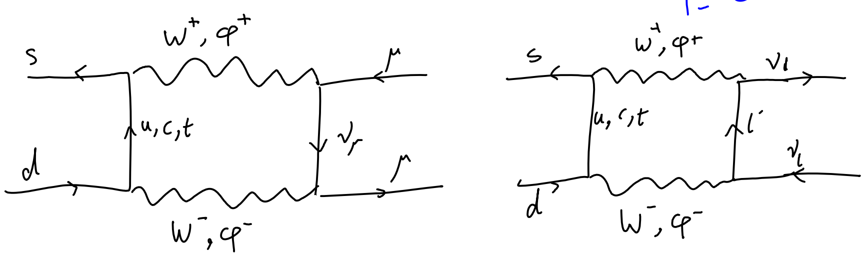
که این مسأله را ندارد.

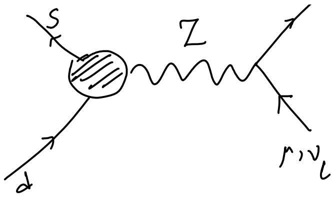
$|\Delta S| = 1$ processes

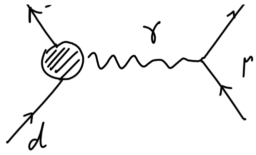
$K_L \to \mu\bar{\mu}$

$K^+ \to \pi^+ \nu\bar{\nu}$

$(K_L \to \pi^0 e^+ e^- \leftarrow \cancel{CP})$ $\leftarrow$ در این باره صحبت نمی‌کنیم.







$$\mathcal{L}_{\bar s d Z} = \frac{\alpha}{4\pi \sin^2\theta_w} \frac{g}{\cos\theta_w} \sum_{i=c,t,\cancel{u}} (V_{is}^* V_{id})\, \Gamma^Z_{(x_i;\xi)}\, \bar s_L \gamma_\mu d_L Z^\mu$$

gauge parameter

$$\mathcal{L}_{\bar s d \gamma} = \frac{\alpha}{4\pi \sin^2\theta_w} \frac{e}{2M_W^2} \sum_{i=c,t,\cancel{u}} V_{is}^* V_{id}$$

دقت

$$\bar s \left[F_1(x_i;\xi)(q^2 \gamma_\mu - q_\mu \not q) L + F_2(x_i)\, \sigma_{\mu\nu}\, i q^\nu \right.$$
$$\left. (m_s L + m_d R) \right] d A^\mu$$

تابعی از ξ نیست

$q^\mu \equiv p_s^\mu - p_d^\mu$ $\qquad$ $x_i = \frac{m_i^2}{M_W^2}$ $\qquad$ $i = u, t, c$

در واقع از رابطه‌ی یکانی بودن استفاده شده :

$$(V_{us}^* V_{ud} = - V_{ts}^* V_{td} - V_{cs}^* V_{cd})$$

تا $\mathcal{L}_{\bar s d Z}$ و $\mathcal{L}_{\bar s d \gamma}$ به این شکل درآید.

بستگی به x_u تنها به صورت یک واگرایی مادون‌قرمز در $F_1(x_i)$ ظاهر می‌شود:

$$F_1(x_i) = \cdots - \frac{2}{3} \ln \frac{x_i}{x_u}$$

تنها جمله ای که به $s \to d\gamma$ سهم می‌دهد جمله‌ی F_2 هست. دقت کنید که F_2 تحت تبدیل پیمانه‌ای ناورداست اما بقیه جمله‌ها خیر. نتیجه نهایی بعد از درنظرگرفتن سهم دیاگرام جعبه ناوردای پیمانه‌ای است.

نام گذاری

$$[\bar{s}(q^2\gamma_\mu - q_\mu \not{q})\, d] \qquad \bar{s}\,\sigma_{\mu\nu} d\, q^\nu$$

جمله پائولی

شعاع بار

ضرب q_μ در هردو صفر حاصل می‌دهد. (حتی بدون استفاده از معادله ی حرکت.) این همان بقای جریان هست.

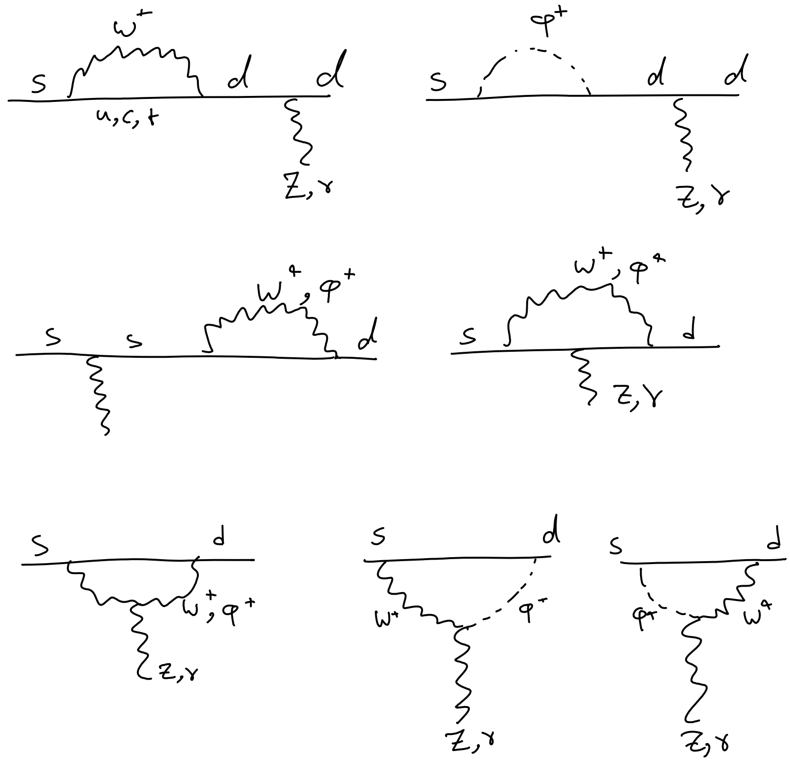
یادآوری $\underbrace{\bar{\psi}\gamma^\mu\psi}_{j^\mu} A_\mu$

$$q_\mu j^\mu = 0$$

معادله ی حرکت

بستگی γ رأس $\bar{s}d\gamma$ باعث می‌شود بستگی قوی به (m_t^2) نداشته باشیم. بستگی لگاریتمی است.

اون حباب چی بود؟



$$\mathcal{L}_{eff}^{|\Delta S|=1} = \frac{4G_F}{\sqrt{2}}\frac{\alpha}{4\pi\sin^2\theta_W}\sum_{i=c,t}(V_{is}^* V_{id})\left[C(x_i)\,\bar{s}_L\gamma_\mu d_L\,\bar{\mu}_L\gamma^\mu\mu_L\right.$$

$$- \sum_{j=1}^{3} D(x_i, x_j)\ \bar{s}_L \gamma_\mu d_L\ \bar{\nu}_{jL} \gamma^\mu \nu_{jL}$$

$$y_j = \frac{m_{l_j}^2}{m_W^2}$$

$$C(x_i) = C_\square(x_i, \xi) + C_Z(x_i; \xi)$$

بستگی به ξ ندارد

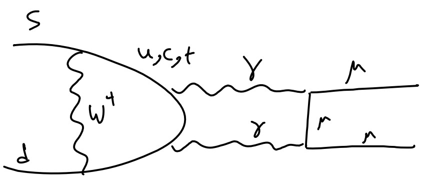
$$D(x_i, y_j) = D_\square(x_i, y_i; \xi) + D_Z(x_i, y_i, \xi)$$

$$q_\mu \bar{\mu} \gamma_\mu \mu = 0 \qquad \text{اما} \qquad q_\mu \bar{\mu}_L \gamma^\mu \mu_L \neq 0$$

$$\frac{Br(K_L \to \mu\bar{\mu})_{sd}}{Br(K^+ \to \bar{\mu}\nu_\mu)} \simeq \frac{\tau(K_L)}{\tau(K_+)}\, 4 \left(\frac{\alpha}{4\pi \sin^2\theta_W}\right)^2 \frac{\left[Re\left(\sum_{i=c,t} V_{is}^* V_{id}\, C(x_i)\right)\right]^2}{V_{us}^2}$$

$$\frac{Br(K^+ \to \pi^+ \nu\bar{\nu})}{Br(K^+ \to \pi^0 e^+ \nu_e)} = 2\left(\frac{\alpha}{4\pi \sin^2\theta_W}\right)^2 \sum_j \frac{\left|\sum_{i=c,t} V_{is}^* V_{id}\, V(x_i, y_i)\right|^2}{(V_{us})^2}$$

اینجا از اختلاف جرم K^+ و K_L صرفنظر شده



یک سهم جدید :

$$K^+ \to \pi^+ \nu\bar{\nu}$$

سهم فوتون ندارد.

BNL $\qquad O(10^{-10})$

PDG 2010

Kaon oscillation

$$K_1 = \frac{K^0 - \bar{K}^0}{\quad} \qquad K_2 = \frac{K^0 + \bar{K}^0}{\quad}$$

$\sqrt{2}$ $\sqrt{2}$

$K_L \simeq K_2$ $K_S \simeq K_1$

$K^0 \longleftrightarrow \bar{K}^0$ مثل نوترینو

تفاوت نوترینو پایدار است اما K خیر

$$H = \begin{pmatrix} M - \frac{i}{2}\Gamma & M_{12} - \frac{i}{2}\Gamma_{12} \\ M_{12}^* - \frac{i}{2}\Gamma_{12}^* & M - \frac{i}{2}\Gamma \end{pmatrix}$$

M, Γ

همین بحث درمورد سیستم B ـمزون هم صحیح است.

$B_d \sim \bar{b}\gamma_5 d$ $\bar{B}_d \sim \bar{d}\gamma_5 b$

$B_s \sim \bar{b}\gamma_5 s$ $\bar{B}_s \sim \bar{s}\gamma_5 b$

$$|B_1\rangle \equiv \frac{1}{\sqrt{|p|^2+|q|^2}}\left(p\,|B^0\rangle - q\,|\bar{B}^0\rangle\right)$$

$$|B_2\rangle \equiv \frac{1}{\sqrt{|p|^2+|q|^2}}\left(p\,|B^0\rangle + q\,|\bar{B}^0\rangle\right)$$

$\langle B_2|B_1\rangle = 0$ آیا ؟ تمرین *

$$q/p = \frac{\sqrt{M_{12}^* - \frac{i}{2}\Gamma_{12}^*}}{\sqrt{M_{12} - \frac{i}{2}\Gamma_{12}}}$$

$CP \longrightarrow 1 = q/p$

$\lambda_1 = m_1 - \frac{i}{2}\Gamma_1$ $\lambda_2 = m_2 - \frac{i}{2}\Gamma_2$

$\Delta\lambda = \lambda_2 - \lambda_1 = \Delta m - \frac{i}{2}\Delta\Gamma$

$$= 2\sqrt{M_{12} - \frac{i}{2}\Gamma_{12}}\;\sqrt{M_{12}^{*} - \frac{i}{2}\Gamma_{12}^{*}}$$

$$\psi(t) = C(t)\,|B^0\rangle + \bar{C}(t)\,|\bar{B}^0\rangle$$

$$i\frac{d}{dt}\begin{pmatrix} C(t) \\ \bar{C}(t) \end{pmatrix} = H \begin{pmatrix} C(t) \\ \bar{C}(t) \end{pmatrix}$$

$$\frac{\sqrt{|p|^2 + |q|^2}}{2pq}\begin{pmatrix} q & p \\ q & p \end{pmatrix} H \frac{1}{\sqrt{|p|^2+|q|^2}}\begin{pmatrix} p & p \\ -q & q \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \lambda_1 & 0 \\ 0 & \lambda_2 \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} C(t) \\ \bar{C}(t) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} p & p \\ -q & q \end{pmatrix}\begin{pmatrix} e^{-i\lambda_1 t} & 0 \\ 0 & e^{-i\lambda_2 t} \end{pmatrix}\begin{pmatrix} \frac{1}{2p} & -\frac{1}{2q} \\ \frac{1}{2p} & \frac{1}{2q} \end{pmatrix}\begin{pmatrix} C(0) \\ \bar{C}(0) \end{pmatrix}$$

$$= \begin{pmatrix} g_+(t) & -\frac{p}{q}g_-(t) \\ -\frac{q}{p}g_-(t) & g_+(t) \end{pmatrix}\begin{pmatrix} C(0) \\ \bar{C}(0) \end{pmatrix}$$

$$g_{\pm}(t) \equiv \frac{1}{2}\left[e^{-i\lambda_1 t} \pm e^{-i\lambda_2 t}\right] =$$

$$= \frac{1}{2} e^{-\frac{i\Gamma_1 t}{2}} e^{-im_1 t}\left[1 \pm e^{-\frac{\Delta\Gamma t}{2}} e^{-i\Delta m t}\right]$$

$$|B(0)\rangle = |B^0\rangle \qquad |\bar{B}(0)\rangle = |\bar{B}^0\rangle$$

$$|B(t)\rangle = g_+(t)\,|B^0\rangle - \frac{q}{p}g_-(t)\,|\bar{B}^0\rangle$$

$$|\bar{B}(t)\rangle = g_+(t)\,|\bar{B}^0\rangle - \frac{p}{q}g_-(t)\,|B^0\rangle$$

$$P(B^0 \to B^0) = |\langle B^0 | B(t)\rangle|^2 = |g_+(t)|^2 \simeq e^{-\Gamma t}\cos^2\frac{\Delta m t}{2}$$

$$P(B^0 \to \bar{B}^0) = |\langle \bar{B}^0 | B(t)\rangle|^2 = \left|\frac{q}{p}g_-(t)\right|^2 = \left|\frac{q}{p}\right|^2 e^{-\Gamma t}\sin^2\frac{\Delta m t}{2}$$

$$\underbrace{\Delta\Gamma \ll \Gamma_1, \Gamma_2 \qquad \Gamma_1 \simeq \Gamma_2 \simeq \Gamma}_{\text{درمورد سیستم } B}$$

$$\Delta\Gamma \sim \Gamma$$ درمورد کائون ها

$$P(B \to B) = |\langle B | B(t)\rangle| = |g_+(t)| \simeq e \cos\frac{\Delta m t}{2}$$

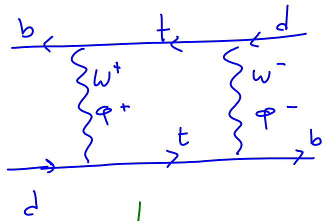
$$P(B^0 \to \bar{B}^0) = |\langle \bar{B}^0 | B(t)\rangle|^2 = \left|\frac{q}{p} g_-(t)\right|^2 = \left|\frac{q}{p}\right|^2 e^{-\Gamma t} \sin^2\frac{\Delta m t}{2}$$

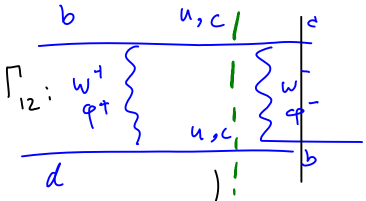
$$\underbrace{\Delta\Gamma \ll \Gamma_1, \Gamma_2 \qquad \Gamma_1 \simeq \Gamma_2 \simeq \Gamma}_{\text{در مورد سیستم } B}$$

$\Delta\Gamma \sim \Gamma$ در مورد کائون ها

ببینیم علت این اختلاف چیست.

M_{12}:





$$-\frac{1}{4}x_i = -\frac{m_t^2}{4m_W^2}$$

$$\int \underbrace{\frac{1}{k^2 - m_1^2 - i\varepsilon}\;\frac{1}{k^2 - m_2^2 - i\varepsilon}}_{\text{on-shell همزمان آن}} d^4k$$

$$\frac{1}{k^0 - 2E_q \pm i\varepsilon} = P\frac{1}{k^0 - 2E_q} \mp i\pi\,\delta(k^0 - 2E_q)$$

فصل ۳-۷ پسکین

$$|V_{ub}^* V_{ud}| \sim |V_{cb}^* V_{cd}| \sim |V_{tb}^* V_{td}|$$

درصورتی که

$$|V_{ts} V_{td}| \ll |V_{us} V_{ud}|, |V_{cs} V_{sd}|$$

$x = \frac{\Delta m}{\Gamma}$ وقتی می‌خواهیم نوسان را بررسی کنیم

باید به حد کافی بزرگ باشد.

در مورد B $\quad x \simeq 0.7$

در مورد $B_s^0, \bar{B}_s^0$ $\quad x$ بزرگ هست:

$$|V_{ts} / V_{td}|^2$$

$$r \equiv \frac{\int_0^\infty P(B^0 \to \bar{B}^0)\,dt}{\int_0^\infty P(B^0 \to B^0)\,dt} = \frac{x^2}{2+x^2}$$

$$e^+e^- \to B^0 \bar{B}^0$$

$$\begin{cases} b \to c + l^- + \bar{\nu}_l \\ \bar{b} \to \bar{c} + l^+ + \nu_l \end{cases} \qquad \frac{N_{l^+l^+} + N_{l^-l^-}}{N_{l^+l^-}} \simeq 2r$$

for $r \ll 1$

CP

Δm یا به عبارت دیگر دیاگرام جعبه "bottom number"

را دو واحد تغییر می‌دهد.

$$|N_{l^+l^+} - N_{l^-l^-}| \Longleftrightarrow P(B^0 \to \bar{B}^0) - P(\bar{B}^0 \to B^0)$$

CP-violation

$$\left|\frac{q}{p}\right|^2 \neq \left|\frac{p}{q}\right|^2 \qquad \longleftrightarrow \left|\frac{p}{q}\right| \neq 1$$

ممکن است M_{12} و Γ_{12} یک فاز داشته باشند یعنی CP

داشته باشیم اما باز هم $1 = \left|\frac{q}{p}\right|$

$\Gamma_{12} \neq \Gamma_{12}^* \to B^0$ در واپاشی $\cancel{CP}$

اما اگر $\left|\frac{q}{p}\right| = 1$ در نوسان B^0 اثر $\cancel{CP}$ نمی‌بینیم.

یادآوری

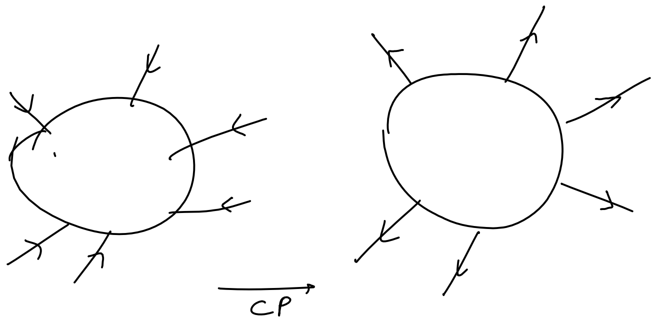
$$V_{ub}^* V_{ud} + V_{cb}^* V_{cd} = -V_{tb}^* V_{td}$$

انحراف $\left|\frac{q}{p}\right|$ از یک با

$$\frac{-m_u^2+m_c^2}{m_t^2}$$

داده می‌شود.

$\cancel{CP}$ in CKM matrix



$$M_u \longrightarrow M_u^*$$
$$M_d \qquad\quad M_d^*$$

Weak basis

$$H_u \equiv M_u M_u^* \qquad H_d = M_d M_d^*$$

راست دست ها در برهمکنش ظاهر نمی‌شوند

$$\mathcal{M} = f(H_u, H_d)$$

$$\cancel{CP} \longleftrightarrow \operatorname{Im}\operatorname{Tr}\left[P_1(H_d)\,P_1'(H_u)\,P_2(H_d)\,P_2'(H_u)\;\cdots\;P_n'(H_u)\right] \neq 0$$

$$n=1 \qquad \left\{\operatorname{Tr}\left[P_1(H_d)\,P_1'(H_u)\right]\right\}^* = \operatorname{Tr}\left[P_1(H_d)\,P_1'(H_u)\right]^\dagger$$

$$= \operatorname{Tr}\left[P_1'(H_u)\,P_1(H_d)\right] = \operatorname{Tr}\left[P_1(H_d)\,P_1'(H_d)\right]$$

$$\Downarrow$$

$$\operatorname{Im}\operatorname{Tr}\left[P_1(H_d)\,P_1'(H_u)\right] = 0$$

$$n=2 \qquad \operatorname{Im}\operatorname{Tr}\left[H_d H_u H_d^2 H_u^2\right]$$

Gronau, Kfir Loewy 1986 فقط همین

$$\mathrm{Tr}\left[H_d H_u H_d^2 H_u^2\right] \neq 0 \quad \xleftrightarrow{\text{حساب ساده}} \quad \det\left[H_u , H_d\right] \neq 0$$

$$\det\left[M_u M_u^\dagger , M_d M_d^\dagger\right] \neq 0$$

$$(m_u^2-m_c^2)(m_u^2-m_t^2)(m_c^2-m_t^2)(m_d^2-m_s^2)(m_d^2-m_b^2)(m_s^2-m_b^2) \times J \neq 0$$

$$J \equiv \left|\mathrm{Im}\left(V_{i\alpha} V_{j\alpha}^* V_{j\beta} V_{i\beta}^*\right)\right| =$$

$$\sin^2\theta_1 \sin\theta_2 \sin\theta_3 \cos\theta_1 \cos\theta_2 \cos\theta_3 \sin\delta$$

$$\simeq \underbrace{A^2\lambda^5\eta}_{\text{پارامترهای ولفنشتاین}} = O(10^{-6})$$

$$\text{CP\_violation} \left\{ \begin{array}{ll} \text{no degeneracy} & \begin{array}{l} m_d \neq m_s \neq m_b \\ m_u \neq m_t \neq m_c \end{array} \\ & \end{array} \right.$$

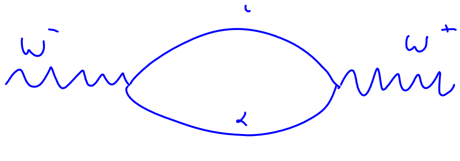
به نظر رسد ۹ جور می‌توانیم J تعریف کنیم اما در واقع تنها ۱ جور J داریم.

$$\mathrm{Im}\left(V_{id} V_{jd}^* V_{js} V_{is}^*\right) = -\mathrm{Im}\left[V_{id} V_{jd}^* V_{jd} V_{id}^* + V_{id} V_{jd}^* V_{jb} V_{ib}^*\right] =$$

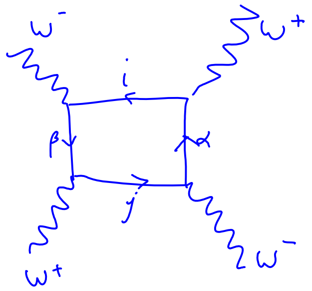
$$-\mathrm{Im}\left(V_{id} V_{jd}^* V_{jb} V_{ib}^*\right)$$

J تحت $d_\alpha \to e^{i\varphi_\alpha} d_\alpha$ و $u_i \to e^{i\varphi_i} u_i$ ناورداست.

درباره‌ی جرم



$$\mathrm{Im}\left(V_{i\alpha} V_{i\alpha}^*\right) = 0$$



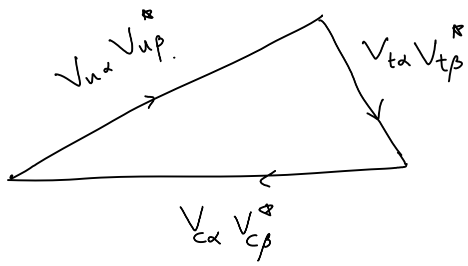
$$\mathrm{Im}(V_{i\alpha} V_{j\alpha}^* V_{j\beta} V_{i\beta}^*)$$

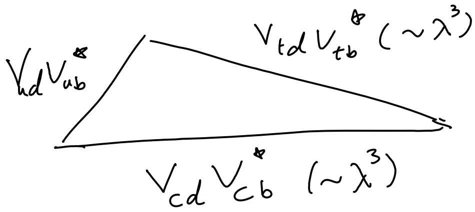
$i \neq j \neq k$ $\alpha \neq \beta \neq \gamma$

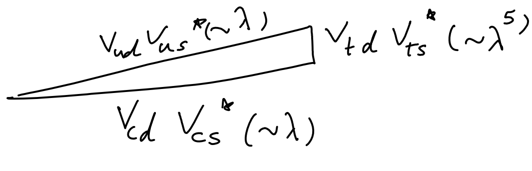
از یکانی بودن و این که سه تا بیشتر $\alpha\ \beta\ \gamma$ نداریم استفاده کردیم

$$\mathrm{Im}(V_{i\alpha} V_{j\alpha}^* V_{j\beta} V_{k\beta}^* V_{k\gamma} V_{i\gamma}^*) = -|V_{i\alpha}|^2\, \mathrm{Im}(V_{j\alpha}^* V_{j\beta} V_{k\beta}^* V_{k\alpha})$$
$$- |V_{k\beta}|^2\, \mathrm{Im}(V_{i\alpha} V_{j\alpha}^* V_{j\beta} V_{i\beta}^*)$$

Unitarity triangles مثلث های یکانی







$$\sum_i V_{i\alpha} V_{i\beta}^* = 0$$

مساحت مثلث $J/2$

Interference لازم - absorptive part لازم

$$A = A_1 e^{i\delta_1} + A_2 e^{i\delta_2}$$
$$A^{(CP)} = A_1^* e^{i\delta_1} + A_2^* e^{i\delta_2}$$

$$|A|^2 - |A^{(CP)}|^2 = 4\sin(\delta_1 - \delta_2)\,\mathrm{Im}(A_1^* A_2)$$

$$|A|^2 - |A^{(CP)}|^2 = 4\sin(\delta_1-\delta_2)\,\mathrm{Im}(A_{w1}^{*}A_{w2})$$

$\cancel{CP}$ in the Neutral K system

$(K^\circ, \bar{K}^\circ)$ کتاب نوشته تنها در سیستم K°

$(B^\circ, \bar{B}^\circ)$ CP دیده اند.

KEK $\leftarrow$ BELLE

SLAC $\leftarrow$ Babar

اولین بار که CP را دیدند.

$K_L \to \pi\pi$

$$|V_{ts}V_{td}^{*}| = O(A^2\lambda^5) \ll |V_{us}V_{ud}^{*}| \simeq |V_{cs}V_{cd}^{*}| = O(\lambda)$$

CP_ asymmetry in the Kaon system $\sim O(A^2\lambda^4) = O(10^{-3})$

$K_L \simeq K_2$ تا

$$\begin{cases} \text{indirect CP violation} & K_L \neq K_2 \\ \text{direct CP-violation} & K_2 \to \pi\pi \end{cases}$$

$$|K_L\rangle = \frac{(1+\bar{\varepsilon})|K^\circ\rangle + (1-\bar{\varepsilon})|\bar{K}^\circ\rangle}{\sqrt{2(1+|\bar{\varepsilon}|^2)}} =$$

$$= \frac{|K_2\rangle + \bar{\varepsilon}|K_1\rangle}{\sqrt{2(1+|\bar{\varepsilon}|^2)}}$$

$$|K_S\rangle = \frac{(1+\bar{\varepsilon})|K^\circ\rangle - (1-\bar{\varepsilon})|\bar{K}^\circ\rangle}{\sqrt{2(1+|\bar{\varepsilon}|^2)}} =$$

$$\frac{|K_1\rangle + \bar{\varepsilon}|K_2\rangle}{}$$

$$\sqrt{2(1+|\bar{\epsilon}|^2)}$$

$$V=\begin{pmatrix} c_{12}c_{13} & c_{12}c_{13} & s_{13}e^{-i\delta_1} \\ -s_{12}c_{23}-c_{12}s_{23}s_{13}e^{i\delta} & c_{12}c_{23}-s_{12}s_{23}s_{13}e^{i\delta} & s_{23}c_{13} \\ s_{12}s_{23}-c_{12}c_{23}s_{13}e^{i\delta} & -c_{12}s_{23}-s_{12}c_{23}s_{13}e^{i\delta} & c_{23}c_{13} \end{pmatrix}$$

آیا این رابطه همیشه درست است؟

$$\left.\begin{cases} \mathrm{Im}(V_{cs}V_{cd}^*) = -\mathrm{Im}(V_{ts}V_{td}^*) \\ E(x_c)/E(x_t) \sim m_c^2/m_t^2 \ll 1 \end{cases}\right\} \Longrightarrow \mathrm{Im}(\Gamma_{12}) \ll \mathrm{Im}(M_{12})$$

نتایج آزمایشگاهی

$$\Delta\Gamma_K = \Gamma_L - \Gamma_S \; (\simeq -\Gamma_S) = 2\Gamma_{12} \simeq -2\Delta m_K = -4M_{12}$$

به عبارت دیگر $\quad \Gamma_{12} \simeq -2M_{12}$

$$\bar{\epsilon} \simeq \frac{e^{i\frac{\pi}{4}}}{\sqrt{2}} \frac{\mathrm{Im}\,M_{12}}{\Delta m_K}$$

* تمرین: رابطه‌ی مقابل را اثبات کنید:

$\bar{\epsilon}$ ناوردا نیست:

$$s \to e^{i\varphi} s \qquad \begin{cases} K^0 \to e^{-i\varphi} K^0 \\ \bar{K}^0 \to e^{i\varphi} \bar{K}^0 \end{cases} \qquad \frac{q_K}{p_K} \left(= \frac{1-\bar{\epsilon}}{1+\bar{\epsilon}}\right) \to e^{-2i\varphi} \frac{q_K}{p_K}$$

$$|\varphi| \ll 1 \;, \qquad \bar{\epsilon} \to \bar{\epsilon} - i\varphi$$

$$\mathrm{Re}\,\bar{\epsilon} \simeq \frac{1}{2}\left(1 - \left|\frac{1-\bar{\epsilon}}{1+\bar{\epsilon}}\right|\right) \leftarrow \text{ناوردا}$$

$$\delta_L \equiv \frac{\Gamma(K_L \to \pi^- l^+ \nu_l) - \Gamma(K_L \to \pi^+ l^- \bar{\nu}_l)}{\Gamma(K_L \to \pi^- l^+ \nu_l) + \Gamma(K_L \to \pi^+ l^- \bar{\nu}_l)} =$$

CP-conjugate

$$\frac{|p_K|^2 - |q_K|^2}{|p_K|^2 + |q_K|^2} \left(= \langle K_L | K_S \rangle =\right) 2\,\mathrm{Re}(\bar{\epsilon}) =$$

$(3.30 \pm 0.12) \times 10^{-3}$

Indirect CP violation

فاز absorptive

$$A(K^0 \longrightarrow \pi\pi) = e^{i\delta_I} A_I \qquad (I = 0, 2)$$

ایزواسپین صفر و دو

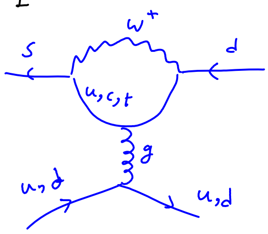
ایزواسپین ۱ ← پادمتقارن که با بوزون بودن در تضاد است.

$e^{i\delta_I}$ ← strong phase

A_I ← حاوی فازهای ضعیف

$$A(\bar{K}^0 \rightarrow \pi\pi) = -A_I^* e^{i\delta_I}$$

$I = 0$ ← سهم عمده

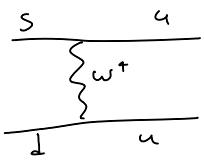


$\Delta I = \frac{1}{2}$ $\quad (\bar{d}\gamma_\mu(1+\gamma_5)\lambda^a s)(\bar{q}\gamma^\mu\lambda^a q)$

$$\frac{Re(A_0)}{Re(A_2)} \simeq 22 \quad \leftarrow \quad \Delta I = \frac{1}{2} \text{ rule}$$

$I = 2$ ←

Re



Im ←

$$|\pi^+\pi^-\rangle = \sqrt{\frac{2}{3}}\,|\pi\pi(I=0)\rangle + \sqrt{\frac{1}{3}}\,|\pi\pi(I=2)\rangle$$

$$|\pi^0\pi^0\rangle = -\frac{1}{\sqrt{3}}\,|\pi\pi(I=0)\rangle + \sqrt{\frac{2}{3}}\,|\pi\pi(I=2)\rangle$$

$$|K_L\rangle = \frac{|K_2\rangle + \bar{\varepsilon}|K_1\rangle}{\sqrt{2(1+|\bar{\varepsilon}|^2)}} \qquad |K_1\rangle \equiv \frac{|K^0\rangle - |\bar{K}^0\rangle}{\sqrt{2}}$$

$$|K_S\rangle = \frac{|K_1\rangle + \bar{\varepsilon}|K_2\rangle}{\sqrt{2(1+|\bar{\varepsilon}|^2)}} \qquad |K_2\rangle \equiv \frac{|K^0\rangle + |\bar{K}^0\rangle}{\sqrt{2}}$$

$$\frac{A(K_L\to\pi\pi)}{A(K_S\to\pi\pi)} \simeq \frac{\bar{\varepsilon}A(K_1\to\pi\pi) + A(K_2\to\pi\pi)}{A(K_1\to\pi\pi)}$$

$$\eta_{+-} \equiv \frac{A(K_L\to\pi^+\pi^-)}{A(K_S\to\pi^+\pi^-)} \equiv \varepsilon+\varepsilon'$$

$$\eta_{00} \equiv \frac{A(K_L\to\pi^0\pi^0)}{A(K_S\to\pi^0\pi^0)} \equiv \varepsilon - 2\varepsilon'$$

$|A_2| \ll |A_0|$ $\Downarrow$

* تمرین: روابط زیر را اثبات کنید:

$$\varepsilon \simeq \bar{\varepsilon} + i\,\frac{\mathrm{Im}(A_0)}{\mathrm{Re}(A_0)}$$

$$\varepsilon' \simeq \frac{i}{\sqrt{2}}\, e^{i(\delta_2-\delta_1)}\, \mathrm{Im}\left(\frac{A_2}{A_0}\right) \simeq \frac{i}{\sqrt{2}}\, e^{i(\delta_2-\delta_1)}\, \frac{\mathrm{Re}A_2}{\mathrm{Re}A_0}\left(\frac{\mathrm{Im}(A_2)}{\mathrm{Re}(A_2)} - \frac{\mathrm{Im}(A_0)}{\mathrm{Re}(A_0)}\right)$$

ε و ε' باید تحت rephasing ناوردا باشند

$$\epsilon = \frac{A(K_L\to\pi\pi)}{A(K_S\to\pi\pi)} = \frac{1 - \frac{q_K}{p_K}\frac{A_0^*}{A_0}}{1 + \frac{q_K}{p_K}\frac{A_0^*}{A_0}} \simeq \frac{1}{2}\left[1 - \frac{q_K}{p_K}\frac{A_2^*}{A_2}\right]$$

صرف‌نظر از A_2

$$\begin{cases} \dfrac{q_K}{p_K} \to e^{-2i\varphi}\dfrac{q_K}{p_K} \\ A_0 \to e^{-i\varphi} A_0 \end{cases}$$

در چارچوب مدل استاندارد

$$\epsilon \simeq \bar{\epsilon}$$

$$\epsilon \sim e^{i\frac{\pi}{4}} \;\alpha\, G_F \;\; B M_K f_K^2 \;\; \mathrm{Im}\{(V^* V)^2\}\, F(m_t^2)$$

$$\epsilon \simeq -e^{i\frac{\pi}{4}} \frac{\alpha G_F}{24\pi \sin^2\theta_w} \underbrace{\frac{B M_K f_K}{\Delta m_K}}_{} \,\mathrm{Im}\left\{(V_{ts}^* V_{td})^2\right\} E\left(\frac{m_t^2}{m_W^2}\right)$$

$O(1)$ perturbative QCD correction

$$V = \begin{pmatrix} - & - & - \\ - & - & - \\ A\lambda^3(1-\rho-i\eta) & -A\lambda^2 & 1 \end{pmatrix}$$

$$\mathrm{Im}(V_{ts}^* V_{td}) \propto \eta(1-\rho)$$

CP violation in the neutral B system

مشاهده و اندازه‌گیری $\cancel{CP}$ در K و B^0 ← تست مدل استاندارد

$$|V_{ub}^* V_{ud}| \sim |V_{cb}^* V_{cd}| \sim |V_{tb}^* V_{td}|$$

تفاوت ها با سیستم K

a) $\Delta\Gamma \ll \Delta m \sim \Gamma$

(b) B-factory : B^0, $\bar{B}^0$ oscillate

$$x \equiv \frac{\Delta m}{\Gamma} \sim 0.7$$

(c)

$\Delta B = 2$ CP-asymmetry

$$P(B^0 \to \bar{B}^0) - P(\bar{B}^0 \to B^0) \ll 1$$

suppressed by $\left|\frac{q}{p}\right| - 1$

$\Delta B = 1$ CP-asymmetry

$$\Gamma(B^0 \to f) - \Gamma(\bar{B}^0 \to \bar{f})$$

← خوب محاسبه نشده (strong)

(strong)

(d) پس بهتر است برویم به سراغ $\cancel{CP}$

که از تداخل دامنه‌های $\Delta B = 1$ و $\Delta B = 2$ به دست می‌آید.

$$\mathrm{Im}\left(\frac{q}{p}\,\frac{A(\bar{B}^0 \to f)}{A(B^0 \to f)}\right)$$

$$\downarrow$$

$$\mathrm{Im}(\varepsilon)$$

یک دیاگرام خاص نقش اصلی را دارد ← $f = \psi K_S$

تداخل $B^0 \to f$ و $B^0 \to \bar{B}^0 \to f$

$$\mathrm{Im}\left(\frac{q}{p}\,\frac{A(\bar{B}^0 \to f)}{A(B^0 \to f)}\right) = \frac{\mathrm{Im}\left(\frac{q}{p} A(\bar{B}^0 \to f) \times A(B^0 \to f)^*\right)}{|A(B^0 \to f)|^2}$$

هرچند asymmetry بزرگ است اما

$$Br(B \to \psi K_S) = O(10^{-4})$$

هرچند

درنتیجه ما هنوز به مقدار زیادی داده نیاز داریم

$$N \propto \frac{1}{A^2}$$

N: مقدار داده‌ی لازم

A: asymmetry

خطای آماری

$$\frac{\Delta N}{N} < A$$
$$\Downarrow$$
$$\frac{1}{\sqrt{N}} < A$$
$$\Downarrow$$
$$\frac{1}{A^2} < N$$

$\cancel{CP}$ in $B^0 \longleftrightarrow \bar{B}^0$

$$e^+e^- \to B^0\bar{B}^0,\; B^+B^-$$

$$A(t) \equiv \frac{P(B^0(t) \to f) - P(\bar{B}^0 \to \bar{f})}{P(B^0(t) \to f) + P(\bar{B}^0 \to \bar{f})}$$

$$|B(t)\rangle = g_+(t)\,|B^0\rangle - \frac{q}{p}\,g_-(t)\,|\bar{B}^0\rangle$$

$$|\bar{B}(t)\rangle = g_+(t)\,|\bar{B}^0\rangle - \frac{p}{q}\,g_-(t)\,|B^0\rangle$$

$$|B(t)\rangle = g_+(t)\,|B^0\rangle - \frac{p}{q}\,g_-(t)\,|\bar{B}^0\rangle$$

$$P(B^0(t)\to f) \propto \left| g_+(t)\,A(B^0\to f) - \frac{q}{p}\,g_-(t)\,A(\bar{B}^0\to f)\right|^2$$

$$P(\bar{B}^0(t)\to \bar{f}) \propto \left| g_+(t)\,A(\bar{B}^0\to \bar{f}) - \frac{p}{q}\,g_-(t)\,A(B^0\to \bar{f})\right|^2$$

$\left|\frac{q}{p}\right| \simeq 1$ $\qquad g_\pm(t) = \dfrac{e^{-\frac{\Gamma_1 t}{2}}\,e^{-im_1 t}}{2}\left[1 \pm e^{-\frac{\Delta\Gamma t}{2}}\,e^{-i\Delta m\,t}\right]$

$\bar{f} \doteq \pm f$ $\qquad$ حالتی را بگیریم که

$\dfrac{A(\bar{B}^0\to f)}{A(B^0\to f)}$ $\leftarrow$ Strong phase vanishes

$f = \psi K_s\,,\ \pi\pi$ $\leftarrow$ CP-symmetric

large CP

$$A(t) = \frac{\cos(\Delta m t)\left[\Gamma(B^0\to f) - \Gamma(\bar{B}^0\to f)\right] + 2\sin(\Delta m t)\,\Gamma(B^0\to f)\,\mathrm{Im}\left[\frac{q}{p}\frac{A(\bar{B}^0\to f)}{A(B^0\to f)}\right]}{\Gamma(B^0\to f) + \Gamma(\bar{B}^0\to f)}$$

$\Delta B = 1$ $\qquad$ $\Delta B=2$ و $\Delta B=1$ تداخل

اگر تنها یک دیاگرام دخیل باشد:

$$\Gamma(B^0\to f) \simeq \Gamma(\bar{B}^0\to f)$$

$$A(t) \simeq \sin(\Delta m t)\,\mathrm{Im}\left[\frac{q}{p}\frac{A(\bar{B}^0\to f)}{A(B^0\to f)}\right]$$

چون Γ محدود است میانگین $A(t)$ صفر نمی‌شود:

$$\frac{\int_0^\infty e^{-\Gamma t}\sin\Delta m t\,dt}{\int_0^\infty e^{-\Gamma t}\,dt} = \frac{x}{1+x^2}$$

$$\int_0^\infty e^{-\Gamma t}\, dt \qquad\qquad 1+x^2$$

$$A \equiv \frac{\int_0^\infty dt \left[P(B^0(t) \to f) - P(\bar{B}^0(t) \to \bar{f}) \right]}{\int_0^\infty dt \left[P(B^0(t) \to f) + P(\bar{B}^0(t) \to \bar{f}) \right]} =$$

$$\underbrace{\frac{x}{1+x^2}}_{\simeq 0.5} \operatorname{Im}\left[\frac{q}{p} \frac{A(\bar{B}^0 \to f)}{A(B^0 \to f)} \right]$$

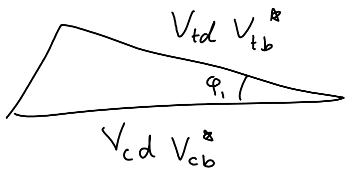
$$a(f) \equiv \operatorname{Im}\left(\frac{q}{p} \frac{A(\bar{B}^0 \to f)}{A(B \to f)} \right)$$

$$a(f) \equiv \operatorname{Im}\left(\frac{q}{p} \frac{A(\bar{B}^0 \to f)}{A(B^0 \to f)} \right)$$

$$a(\pi K_S) \simeq \operatorname{Im} \frac{(V_{tb} V_{td}^*)^2}{|V_{tb} V_{td}^*|^2} = -\sin(2\varphi_1)$$

$$\frac{V_{td} V_{tb}^*}{|V_{td} V_{tb}^*|} = e^{i(\varphi_1 - \pi)}$$

یکی از زوایای مثلث یکانی



$$a(\pi K_S) \simeq -\frac{2(1-\rho)\eta}{(1-\rho)^2 + \eta^2} \simeq 70\%$$

Belle & BaBar

rephasing

$$\frac{A(\bar{B}^0 \to \pi K_S)}{A(B^0 \to \pi K_S)} \simeq \frac{(V_{cb}^* V_{cs})\, p_K^*}{V_{cb} V_{cs}^*\, q_k^*} \simeq \underbrace{\frac{(V_{cb}^* V_{cs})^2}{|V_{cb}^* V_{cs}|^2}}_{\bar{b} \to c\bar{c}\bar{s}} \times \underbrace{\frac{(V_{cs}^* V_{cd})^2}{|V_{cs}^* V_{cd}|^2}}_{\frac{p_K^*}{q_K^*}}$$

$$V_{cb}^* V_{cs} \to \text{almost real}$$

$$\frac{p_K^*}{q_K^*} \simeq 1 + 2\bar{\varepsilon}^* \qquad |\bar{\varepsilon}| = O(10^{-3})$$

تا اینجا فرض کردیم که B^0 و یا $\bar{B}^0$ در $t=0$ به وجود می‌آیند

در عمل چنین نیست.

$$e^+e^- \to \underbrace{\Upsilon(4S)}_{j=1} \to \underbrace{B^0\bar{B}^0}_{l=1}$$

$$\frac{1}{\sqrt{2}}\left[\,|B^0(k)\rangle|\bar{B}^0(k')\rangle + C\,|B^0(k')\rangle|\bar{B}^0(k)\rangle\right]$$

$$C = (-1)^l \qquad l = 1 \quad \Rightarrow C = -1$$

L1

$$e^-e^+ \to \Upsilon(5S) \to B^0\bar{B}^0\gamma \leftarrow l=0$$

tagging هم B^0 و هم $\bar{B}^0$ به f_a واپاشی می‌کنند اما تنها $\bar{B}^0$ به f_b می‌رود.

$$P(f_a, f_b; t, t')\,dt\,dt' \propto$$

$C=-1 \leftarrow \mp$

$C=1$

$$\left|\frac{1}{\sqrt{2}}\left[\langle f_a|B^0(t)\rangle\langle f_b|\bar{B}^0(t')\rangle + C\langle f_b|B^0(t')\rangle\langle f_b|\bar{B}^0(t)\rangle\right]\right|^2$$

$$\propto \Gamma(B^0 \to f_a)\,\Gamma(\bar{B}^0 \to f_b)\, e^{-\Gamma t_+} \times$$

$$\left\{1 - \mathrm{Im}\left(\frac{q}{p}\,\frac{A(\bar{B}^0 \to f_a)}{A(B^0 \to f_a)}\right)\sin(\Delta m\, t_\mp)\right.$$

Integration over t_- and t_+ $\to$ بستگی به Im حذف می‌شود.

در آزمایش

$\vec{P}$

$\xrightarrow[e^-]{v_1}$ $\xleftarrow[e^+]{v_2}$ $P_{com} \neq 0$

که اندازه‌گیری t_1 و t_2 امکان‌پذیر است.

$$\int_{|t_-|}^{\infty} P(f_a, f_b ; t, t_-)\, dt_+ \propto e^{-\Gamma|t_-|}\left\{1 - \underbrace{Im\left(\frac{q}{p} \frac{A(\bar{B}^0 \to f_a)}{A(B^0 \to f_a)}\right)}_{= a(f_a)} \sin\Delta m t_-\right\}$$

$$\int_{|t_-|}^{\infty} P(f_a, \bar{f}_b ; t, t_-)\, dt_+ \sim \sim 1 + Im \sim - \sim$$

$$A = \frac{x}{1+x^2}\, a(f_a)$$

تعداد f_a و $\bar{f}_b$ در زمان t و t'

$$A = \frac{N(f_a, f_b)_{t>t'} - N(f_a, \bar{f}_b)_{t>t'} - N(f_a, f_b)_{t<t'} + N(f_a, \bar{f}_b)_{t<t'}}{\sim + \sim + \sim + \sim}$$

Last modified by: fsc