Studio della violazione di CP nel mixing con il canale $B_s \longrightarrow J/\Psi\phi$

Antonio Castelli

Corso di Fisica Nucleare e Subnucleare II

24 Giugno 2009

Tutor: Prof. Marco Rescigno

Docente: Prof. Carlo Dionisi

Sommario

Mesoni, quark e diagrammi a box I

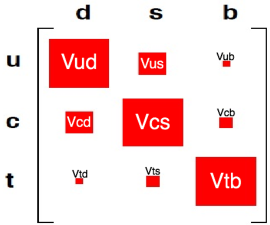
I mesoni neutri K, D, B_d e B_s sono le uniche particelle adroniche in grado di "mescolarsi" con le rispettive antiparticelle

$$B_s \equiv \overline{b}s \qquad \overline{B}_s \equiv b\overline{s}$$

Nello SM tutti i vertici di interazione conservano il sapore eccetto quelli relativi agli accoppiamenti tra bosoni $W^{\pm}$ e quark

$$\mathcal{L}_W = \frac{g_W}{\sqrt{2}} \sum_{j,k=1,2,3} \left[V_{jk} \overline{u}_{jL} \gamma^\mu d_{kL} W^+_\mu + V^*_{jk} \overline{d}_{kL} \gamma^\mu u_{jL} W^-_\mu \right]$$

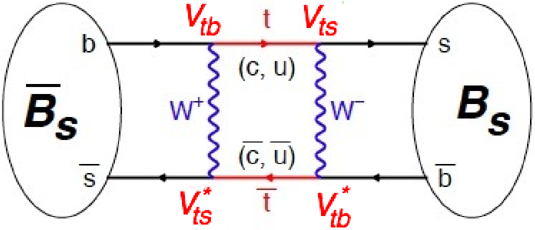
$$V_{CKM} = \begin{pmatrix} V_{ud} & V_{us} & V_{ub} \\ V_{cd} & V_{cs} & V_{cb} \\ V_{td} & V_{ts} & V_{tb} \end{pmatrix}$$



Mesoni, quark e diagrammi a box II

Se "spegnessimo" le interazioni deboli i mesoni B neutri sarebbero autostati del sapore

Il mixing del B_s è descritto da diagrammi a box al 4° ordine in g_W



Il contributo dominante è dato dal quark top ($m_t \simeq 173\ GeV/c^2$)

Il B_s appartiene alla categoria dei mesoni pseudoscalari $J^P = 0^-$

$$\boxed{CP\,|B_s\rangle = -\,|\overline{B}_s\rangle}$$

Un po' di storia

Nel 1964 Christenson, Cronin, Fitch e Turlay osservarono per la prima volta una violazione di CP attraverso decadimenti deboli del tipo:

$$K_L^0(CP=-1) \rightarrow 2\pi(CP=+1)$$

Dal teorema CPT

Una violazione di CP all'interno di un sistema fisico si manifesta con la presenza di una fase complessa nell'ampiezza di transizione

La matrice CKM deve avere termini immaginari
$\Rightarrow$ le famiglie di quark devono essere almeno 3

$$V_{CKM} = \begin{pmatrix} 1-\frac{1}{2}\lambda^2-\frac{1}{8}\lambda^4 & \lambda & A\lambda^3(\rho-i\eta) \\ -\lambda+\frac{1}{2}A^2\lambda^5[1-2(\rho+i\eta)] & 1-\frac{1}{2}\lambda^2-\frac{1}{8}\lambda^4(1+4A^2) & A\lambda^2 \\ \boxed{A\lambda^3[1-(1-\frac{1}{2}\lambda^2)(\rho-i\eta)]} & \boxed{-A\lambda^2+\frac{1}{2}A\lambda^4[1-2(\rho+i\eta)]} & 1-\frac{1}{2}A^2\lambda^4 \end{pmatrix} + O(\lambda^6)$$

Large CPV Suppressed CPV

Simmetria CP

$$\boxed{CP|f_{CP}\rangle = \eta_{CP}|f_{CP}\rangle} \Rightarrow \begin{cases} B_s \to f_{CP} \\ \overline{B}_s \to f_{CP} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \mathcal{A}_f = \mathcal{A}(B_s \to f) \\ \overline{\mathcal{A}}_f = \mathcal{A}(\overline{B}_s \to f) \end{cases}$$

Per descrivere il mixing tra mesone e antimesone è utile studiare stati che siano sovrapposizione di $|B_s\rangle$ e $|\overline{B}_s\rangle$ ed autostati della massa

$$\begin{aligned} |B_L\rangle &= p|B_s\rangle + q|\overline{B}_s\rangle \\ |B_H\rangle &= p|B_s\rangle - q|\overline{B}_s\rangle \end{aligned} \qquad |p|^2 + |q|^2 = 1$$

L'osservabile che determina la violazione di CP è: $\boxed{\lambda_f = \frac{q}{p}\frac{\overline{A}_f}{A_f}}$

- CPV diretta $\Rightarrow \quad \mathcal{A}_f \neq \overline{\mathcal{A}}_f$
- CPV nel mixing $\Rightarrow \quad \mathcal{P}(B_s \to \overline{B}_s) \neq \mathcal{P}(\overline{B}_s \to B_s) \Rightarrow \quad \left|\frac{q}{p}\right| \neq 1$
- CPV nell'interferenza tra $B_s \to f$ e $B_s \to \overline{B}_s \to f \Rightarrow \quad \mathrm{Im}(\lambda_f) \neq 0$

Evoluzione temporale del sistema I

$$\begin{pmatrix} |B(t)\rangle \\ |\overline{B}(t)\rangle \end{pmatrix} = \exp\left[-i\Sigma\right] \begin{pmatrix} |B\rangle \\ |\overline{B}\rangle \end{pmatrix} \iff \Sigma = \left(M - i\frac{\Gamma}{2}\right)$$

$$\boxed{M = \begin{pmatrix} M & M_{12} \\ M_{12}^* & M \end{pmatrix} \qquad \Gamma = \begin{pmatrix} \Gamma & \Gamma_{12} \\ \Gamma_{12}^* & \Gamma \end{pmatrix}}$$

Gli elementi diagonali di M e Γ devono essere uguali per il teorema CPT
$|B_L\rangle$ e $|B_H\rangle$ sono autostati della massa $\Rightarrow$ in questa base Σ è diagonale

$$M = \frac{M_H + M_L}{2}; \quad \Gamma = \frac{\Gamma_H + \Gamma_L}{2}; \quad \Delta M = M_H - M_L; \quad \Delta\Gamma = \Gamma_L - \Gamma_H$$

L'evoluzione temporale dei due stati è:

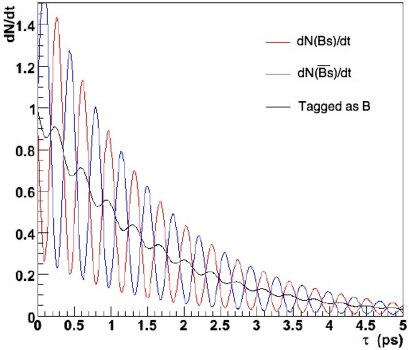
$$\begin{aligned} |B(t)\rangle &= g_+(t)|B\rangle + \frac{p}{q}g_-(t)|\overline{B}\rangle \\ |\overline{B}(t)\rangle &= \frac{q}{p}g_-(t)|B\rangle + g_+(t)|\overline{B}\rangle \end{aligned}$$

$$\boxed{\begin{aligned} g_+(0) &= 1 \\ g_-(0) &= 0 \end{aligned}}$$

Evoluzione temporale del sistema II

$$g_+(t) = e^{iMt} e^{-\Gamma t/2} \left[\cosh \frac{\Delta\Gamma t}{4} \cos \frac{\Delta M t}{2} - i \sinh \frac{\Delta\Gamma t}{4} \sin \frac{\Delta M t}{2} \right]$$

$$g_-(t) = e^{iMt} e^{-\Gamma t/2} \left[- \sinh \frac{\Delta\Gamma t}{4} \cos \frac{\Delta M t}{2} - i \cosh \frac{\Delta\Gamma t}{4} \sin \frac{\Delta M t}{2} \right]$$



$$\Delta M = (17.77 \pm 0.10\,(stat) \pm 0.07\,(syst))\ \mathrm{ps}^{-1}$$

prima evidenza sperimentale

CDF 2006

Quantità fisiche rilevanti I

Σ ha due autovalori $\sigma_{H,L} = M_{L,H} - i\Gamma_{L,H}/2$

Un cambio di fase globale non altera la fisica del sistema $\Rightarrow$ le quantità determinanti sono:

$$\boxed{|M_{12}|;\ |\Gamma_{12}|;\ \phi = arg\left(-\frac{M_{12}}{\Gamma_{12}}\right)}$$

Con semplici passaggi algebrici si ottiene:

$$(\Delta M)^2 - \frac{1}{4}(\Delta\Gamma)^2 = 4|M_{12}|^2 - |\Gamma_{12}|^2$$

$$\Delta M \Delta\Gamma = -4\mathrm{Re}(M_{12}\Gamma_{12}^*)$$

$$\frac{q}{p} = -\frac{\Delta M + i\Delta\Gamma/2}{2M_{12} - i\Gamma_{12}} = -\frac{2M_{12}^* - i\Gamma_{12}^*}{\Delta M + i\Delta\Gamma/2}$$

- Se $\phi \neq 0, \pi \Rightarrow\ |q/p| \neq 1 \Rightarrow$ c'è CPV nel mixing
- $\left.\begin{array}{l} M \leftrightarrow \text{interazioni forti} \\ \Gamma \leftrightarrow \text{interazioni deboli} \end{array}\right\} \Rightarrow |\Delta M|, |M_{H,L}| \gg |\Gamma_{ij}|, |\Gamma_{H,L}|$

$$\boxed{\Delta M \simeq 2|M_{12}|}$$

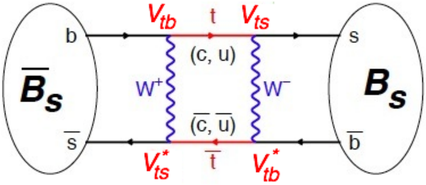
$$\boxed{\Delta\Gamma \simeq 2|\Gamma_{12}|\cos\phi}$$

$$\boxed{\left|\frac{q}{p}\right| \simeq 1 \Rightarrow \textbf{la CPV nel mixing è trascurabile}}$$

Previsioni del Modello Standard

Ciò che determina la CPV è la differenza di fase tra q e p

$$\boxed{\frac{q}{p} \simeq -\frac{M_{12}^*}{|M_{12}|}} \Longrightarrow \boxed{\arg\left(\frac{q}{p}\right) \simeq \text{fase del mixing} = \arg\left(V_{tb}^* V_{ts}\right)^2}$$



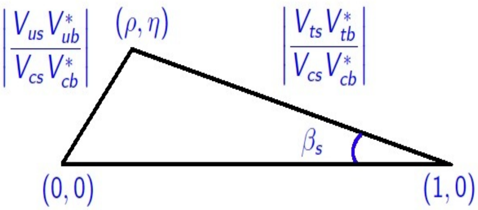
Dall'unitarietà della matrice CKM $\Rightarrow$

$$\boxed{V_{us}V_{ub}^* + V_{cs}V_{cb}^* + V_{ts}V_{tb}^* = 0}$$

$$\beta_s^{SM} = \arg\left(-\frac{V_{ts}V_{tb}^*}{V_{cs}V_{cb}^*}\right)$$

$$\boxed{\boldsymbol{\beta_s \cong \arg(-V_{ts}) = 0.04\,\text{rad}}}$$

$$\boxed{\frac{q}{p} = \exp\left(2i\beta_s\right)}$$



Fisica oltre il Modello Standard

- $|\Gamma_{12}|$ e $|M_{12}|$ sono misurabili dallo SM paraticamente insensibili a NP
- NP può contribuire alla fase relativa tra M_{12} e Γ_{12}

$$\phi = \arg\left(-\frac{M_{12}}{\Gamma_{12}}\right) = -2\beta_s - \arg(-\Gamma_{12}) \cong 2\beta_s = \phi^{SM} + \phi^{NP} \cong \phi^{NP}$$

$$\boxed{\Delta\Gamma \cong 2|\Gamma_{12}|\cos\phi = \Delta\Gamma^{SM}\cos\phi} \qquad \Delta\Gamma^{SM} = \sum_f [\Gamma(f_{CP+}) - \Gamma(f_{CP-})]$$

$\phi = 0, |\Gamma_{12}| > 0$ nello SM

- Gli autostati della massa B_H e B_L sono anche autostati di CP
- L'autostato CP positivo ha vita media maggiore di quello a CP negativa

$\phi \neq 0$ in NP

- La differenza di vita media tra i due stati si riduce
- Gli autostati della massa non sono più autostati di CP
- Dovrebbe aversi $\beta_s^{exp} > \beta_s^{SM}$

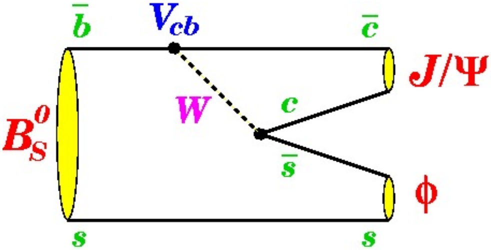
Decadimento $B_s \to J/\Psi\phi$

Il canale $B_s \to J/\Psi\phi$ fa parte dei cosiddetti *"golden modes"*

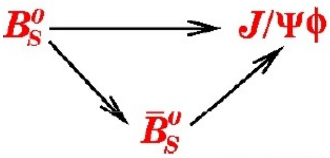
$$\Rightarrow \mathcal{A}_{J/\Psi\phi} = \overline{\mathcal{A}}_{J/\Psi\phi} \Rightarrow \textbf{NO DIRECT CPV} \Rightarrow \boxed{\lambda_{J/\Psi\phi} = \frac{q}{p} = \exp[2i\beta_s]}$$

Il processo elementare principale è descritto da un diagramma ad albero in cui il decadimento del quark $b(\overline{b})$ del antimesone(mesone) è provocato dall'emissione di un $W^{\pm}$

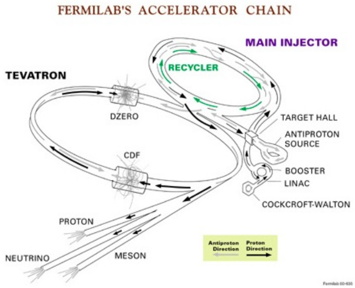
$\overline{\mathbf{b}} \to \mathbf{c\overline{c}\overline{s}}$ $\qquad$ $\mathbf{b} \to \mathbf{c\overline{c}s}$

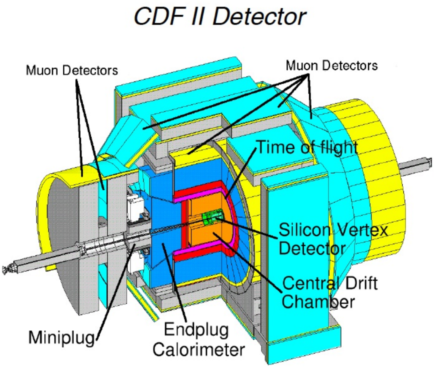


CPV nell'interferenza
$\mathbf{Im}(\lambda_{J/\Psi\phi}) = \sin(2\beta_s)$



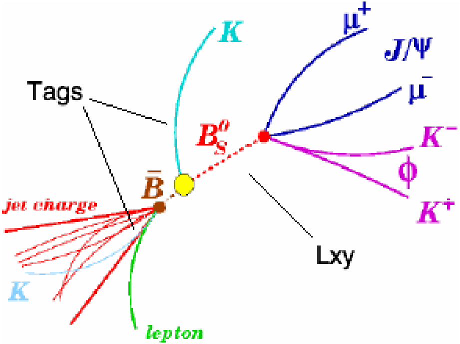
Il Tevatron e CDF (Collider Detector at Fermilab)





- $p\bar{p}$ collidono a 1.96 TeV
- Per il B_s Luminosità da 1.35 a 2.8 fb^{-1}
- Rivelatore al Si fondamentale per individuare il vertice del decadimento

Sequenza dell'esperimento I



1. **Ricostruzione del decadimento da prodotti stabili**

   $B_s \to J/\Psi[\to \mu^+\mu^-]\phi[\to K^+K^-]$

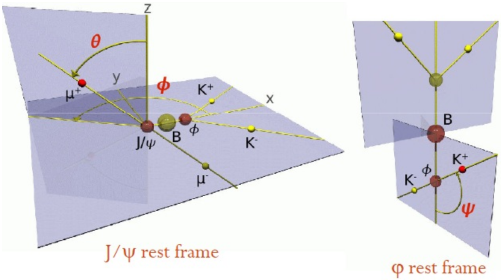
2. **Misura della vita media dal tempo di volo**

   $$c\tau = m_B \frac{Lxy}{p_T}$$

Sequenza dell'esperimento II

3. **Misura degli angoli di decadimento nella base trasversa**

   $\vec{w} = (\Theta, \Phi, \Psi)$



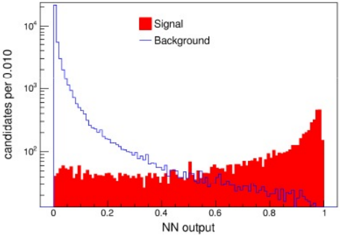
4. **Identificazione del $B_s/\overline{B}_s$ quando viene prodotto – Flavour Tagging**

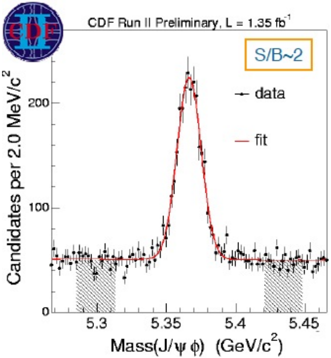
   $\xi = (-1, 0, 1) = (\overline{B}_s, \text{untagged}, B_s)$

5. **Fit di massima verosimiglianza**

   Input: m, $c\tau$, $\vec{w}$, ξ

Trigger





On line si selezionano gli eventi con coppie di muoni che hanno $\sqrt{s}$ vicina alla massa della J/Ψ

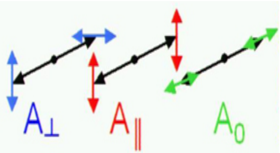
Per separare il segnale dal fondo (off line) $\Rightarrow$ Neural Network

Variabili usate per il NN

- B_s: p_T, "vertex quality"
- J/Ψ: p_T, "vertex quality"
- ϕ: massa, "vertex quality"
- $K^{\pm}$: p_T, PID, TOF, dE/dx

Proprietà dello stato finale

- $J/\Psi\phi$ è un miscuglio di stati a CP positiva e negativa
- $s_{B_s} = 0$; $s_{J/\Psi} = s_\phi = 1 \Rightarrow s_{FIN} = 0, 1, 2 \Rightarrow l = 0, 1, 2$
- A seconda della polarizzazione dello stato finale si hanno 3 ampiezze



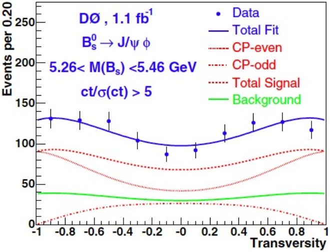
$$|\mathcal{A}_\perp(t)|^2 + |\mathcal{A}_{/\!/}(t)|^2 + |\mathcal{A}_0(t)|^2 = 1$$

$$\boxed{\begin{array}{lcl} CP = +1 & \leftrightarrow & \mathcal{A}_{/\!/},\ \mathcal{A}_0 \\ CP = -1 & \leftrightarrow & \mathcal{A}_\perp \end{array}}$$

Fasi forti compaiono nei termini di interferenza

$$\delta_{/\!/} = \arg(\mathcal{A}_{/\!/}^* \mathcal{A}_0)$$

$$\delta_\perp = \arg(\mathcal{A}_\perp^* \mathcal{A}_0)$$



Dallo studio delle distribuzioni angolari è possibile separare gli stati a CP positiva da quelli a CP negativa

Il tasso di decadimento dipende:

- dal tempo
- da $\vec{w} = (\Theta, \Phi, \Psi)$
- dal sapore del B_s
- da $\Delta\Gamma_s$ e β_s

Tasso di decadimento P $\to$ VV

$$\frac{d^4\mathcal{P}(t,\vec{w})}{dtd\vec{w}} \propto |\mathcal{A}_0|^2\mathcal{T}_+ f_1(\vec{w}) + |\mathcal{A}_{/\!/}|^2\mathcal{T}_+ f_2(\vec{w}) + |\mathcal{A}_\perp|^2\mathcal{T}_- f_3(\vec{w}) +$$
$$+ |\mathcal{A}_{/\!/}||\mathcal{A}_\perp|\mathcal{U}_+ f_4(\vec{w}) + |\mathcal{A}_0||\mathcal{A}_{/\!/}|\cos(\delta_{/\!/})\mathcal{T}_+ f_5(\vec{w})$$
$$+ |\mathcal{A}_0||\mathcal{A}_\perp|\mathcal{V}_+ f_6(\vec{w})$$

$$\left(\overline{B}_s \quad \Rightarrow \quad \mathcal{P}\to\overline{\mathcal{P}} \quad \Rightarrow \quad \mathcal{U}_+\to\mathcal{U}_- \text{ e } \mathcal{V}_+\to\mathcal{V}_-\right)$$

$$\mathcal{T}_\pm = e^{-\Gamma t}\left[\cosh(\Delta\Gamma t/2) \mp \cos(2\beta_s)\sinh(\Delta\Gamma t/2) \mp \eta\sin(2\beta_s)\sin(\Delta M t)\right]$$

$$\eta = +1 \text{ per } B_s \qquad \eta = -1 \text{ per } \overline{B}_s$$

$$\mathcal{U}_\pm = \pm e^{-\Gamma t}[\sin(\delta_\perp - \delta_{/\!/})\cos(\Delta M t) - \cos(\delta_\perp - \delta_{/\!/})\cos(2\beta_s)\sin(\Delta M t)$$
$$\pm\cos(\delta_\perp - \delta_{/\!/})\sin(2\beta_s)\sinh(\Delta\Gamma t/2)]$$

$$\mathcal{V}_\pm = \pm e^{-\Gamma t}[\sin(\delta_\perp\cos(\Delta M t) - \cos(\delta_\perp)\cos(2\beta_s)\sin(\Delta M t)$$
$$\pm\cos(\delta_\perp)\sin(2\beta_s)\sinh(\Delta\Gamma t/2)]$$

I termini dipendenti da β_s indicano la presenza di CPV

Tasso di decadimento P $\rightarrow$ VV

$$\frac{d^4\mathcal{P}(t,\vec{w})}{dtd\vec{w}} \propto |\mathcal{A}_0|^2\mathcal{T}_+ f_1(\vec{w}) + |\mathcal{A}_{/\!/}|^2\mathcal{T}_+ f_2(\vec{w}) + |\mathcal{A}_\perp|^2\mathcal{T}_- f_3(\vec{w}) +$$
$$+ |\mathcal{A}_{/\!/}||\mathcal{A}_\perp|\mathcal{U}_+ f_4(\vec{w}) + |\mathcal{A}_0||\mathcal{A}_{/\!/}|\cos(\delta_{/\!/})\mathcal{T}_+ f_5(\vec{w})$$
$$+ |\mathcal{A}_0||\mathcal{A}_\perp|\mathcal{V}_+ f_6(\vec{w})$$

$$\left(\overline{B}_s \quad \Rightarrow \quad \mathcal{P} \rightarrow \overline{\mathcal{P}} \quad \Rightarrow \quad \mathcal{U}_+ \rightarrow \mathcal{U}_- \text{ e } \mathcal{V}_+ \rightarrow \mathcal{V}_-\right)$$

$$\mathcal{T}_\pm = e^{-\Gamma t}\left[\cosh(\Delta\Gamma t/2) \mp \cos(2\beta_s)\sinh(\Delta\Gamma t/2) \mp \eta\sin(2\beta_s)\sin(\Delta M t)\right]$$

$$\eta = +1 \text{ per } B_s \qquad \eta = -1 \text{ per } \overline{B}_s$$

$$\mathcal{U}_\pm = \pm e^{-\Gamma t}[\sin(\delta_\perp - \delta_{/\!/})\cos(\Delta M t) - \cos(\delta_\perp - \delta_{/\!/})\cos(2\beta_s)\sin(\Delta M t)$$
$$\pm \cos(\delta_\perp - \delta_{/\!/})\sin(2\beta_s)\sinh(\Delta\Gamma t/2)]$$

$$\mathcal{V}_\pm = \pm e^{-\Gamma t}[\sin(\delta_\perp\cos(\Delta M t) - \cos(\delta_\perp)\cos(2\beta_s)\sin(\Delta M t)$$
$$\pm \cos(\delta_\perp)\sin(2\beta_s)\sinh(\Delta\Gamma t/2)]$$

I termini dipendenti da β_s indicano la presenza di CPV

Tasso di decadimento P $\rightarrow$ VV

$$\frac{d^4\mathcal{P}(t,\vec{w})}{dtd\vec{w}} \propto |\mathcal{A}_0|^2\mathcal{T}_+ f_1(\vec{w}) + |\mathcal{A}_{/\!/}|^2\mathcal{T}_+ f_2(\vec{w}) + |\mathcal{A}_\perp|^2\mathcal{T}_- f_3(\vec{w}) +$$
$$+ |\mathcal{A}_{/\!/}||\mathcal{A}_\perp|\mathcal{U}_+ f_4(\vec{w}) + |\mathcal{A}_0||\mathcal{A}_{/\!/}|\cos(\delta_{/\!/})\mathcal{T}_+ f_5(\vec{w})$$
$$+ |\mathcal{A}_0||\mathcal{A}_\perp|\mathcal{V}_+ f_6(\vec{w})$$

$$\left(\overline{B}_s \quad \Rightarrow \quad \mathcal{P} \rightarrow \overline{\mathcal{P}} \quad \Rightarrow \quad \mathcal{U}_+ \rightarrow \mathcal{U}_- \text{ e } \mathcal{V}_+ \rightarrow \mathcal{V}_-\right)$$

$$\mathcal{T}_\pm = e^{-\Gamma t}\left[\cosh(\Delta\Gamma t/2) \mp \cos(2\beta_s)\sinh(\Delta\Gamma t/2) \mp \eta\sin(2\beta_s)\sin(\Delta M t)\right]$$

$$\eta = +1 \text{ per } B_s \qquad \eta = -1 \text{ per } \overline{B}_s$$

$$\mathcal{U}_\pm = \pm\, e^{-\Gamma t}[\sin(\delta_\perp - \delta_{/\!/})\cos(\Delta M t) - \cos(\delta_\perp - \delta_{/\!/})\cos(2\beta_s)\sin(\Delta M t)$$
$$\pm \cos(\delta_\perp - \delta_{/\!/})\sin(2\beta_s)\sinh(\Delta\Gamma t/2)]$$

$$\mathcal{V}_\pm = \pm\, e^{-\Gamma t}[\sin(\delta_\perp\cos(\Delta M t) - \cos(\delta_\perp)\cos(2\beta_s)\sin(\Delta M t)$$
$$\pm \cos(\delta_\perp)\sin(2\beta_s)\sinh(\Delta\Gamma t/2)]$$

I termini dipendenti da β_s indicano la presenza di CPV

Tasso di decadimento P $\rightarrow$ VV

$$\frac{d^4\mathcal{P}(t,\vec{w})}{dtd\vec{w}} \propto |\mathcal{A}_0|^2\mathcal{T}_+ f_1(\vec{w}) + |\mathcal{A}_{/\!/}|^2\mathcal{T}_+ f_2(\vec{w}) + |\mathcal{A}_\perp|^2\mathcal{T}_- f_3(\vec{w}) +$$
$$+ |\mathcal{A}_{/\!/}||\mathcal{A}_\perp|\mathcal{U}_+ f_4(\vec{w}) + |\mathcal{A}_0||\mathcal{A}_{/\!/}|\cos(\delta_{/\!/})\mathcal{T}_+ f_5(\vec{w})$$
$$+ |\mathcal{A}_0||\mathcal{A}_\perp|\mathcal{V}_+ f_6(\vec{w})$$

$$\left(\overline{B}_s \quad \Rightarrow \quad \mathcal{P} \rightarrow \overline{\mathcal{P}} \quad \Rightarrow \quad \mathcal{U}_+ \rightarrow \mathcal{U}_- \text{ e } \mathcal{V}_+ \rightarrow \mathcal{V}_-\right)$$

$$\mathcal{T}_\pm = e^{-\Gamma t}\left[\cosh(\Delta\Gamma t/2) \mp \cos(2\beta_s)\sinh(\Delta\Gamma t/2) \mp \eta\sin(2\beta_s)\sin(\Delta M t)\right]$$

$$\eta = +1 \text{ per } B_s \qquad \eta = -1 \text{ per } \overline{B}_s$$

$$\mathcal{U}_\pm = \pm e^{-\Gamma t}[\sin(\delta_\perp - \delta_{/\!/})\cos(\Delta M t) - \cos(\delta_\perp - \delta_{/\!/})\cos(2\beta_s)\sin(\Delta M t)$$
$$\pm \cos(\delta_\perp - \delta_{/\!/})\sin(2\beta_s)\sinh(\Delta\Gamma t/2)]$$

$$\mathcal{V}_\pm = \pm e^{-\Gamma t}[\sin(\delta_\perp\cos(\Delta M t) - \cos(\delta_\perp)\cos(2\beta_s)\sin(\Delta M t)$$
$$\pm \cos(\delta_\perp)\sin(2\beta_s)\sinh(\Delta\Gamma t/2)]$$

I termini dipendenti da β_s indicano la presenza di CPV

Evoluzione temporale con o senza "Flavour Tagging"

Tag Vs. No Tag

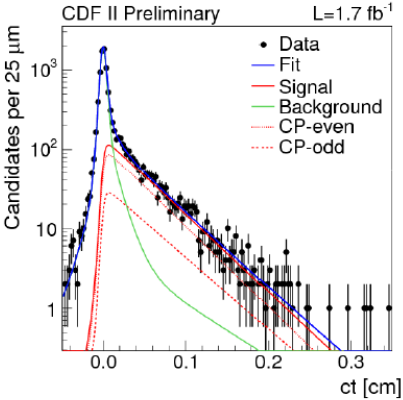
- T Termini oscillanti $\propto \Delta M$, difficoltà nel tagging, maggiore precisione
- NT Si cancellano i termini $\propto \Delta M$ ma non è possibile estrarre valori univoci dei parametri, minore precisione

$$\mathcal{T}_{\pm}^{notag} = e^{-\Gamma t}\left[\cosh(\Delta\Gamma t/2) \mp \cos(2\beta_s)\sinh(\Delta\Gamma t/2)\right]$$
$$\mathcal{V}_{\pm}^{notag} = \pm e^{-\Gamma t}\left[\pm\cos(\delta_\perp)\sin(2\beta_s)\sinh(\Delta\Gamma t/2)\right]$$
$$\mathcal{U}_{\pm}^{notag} = \pm e^{-\Gamma t}\left[\pm\cos(\delta_\perp - \delta_{/\!/})\sin(2\beta_s)\sinh(\Delta\Gamma t/2)\right]$$

Anche sommando i contributi relativi al B_s e al $\overline{B}_s$ sopravvivono dei termini che indicano la violazione di CP

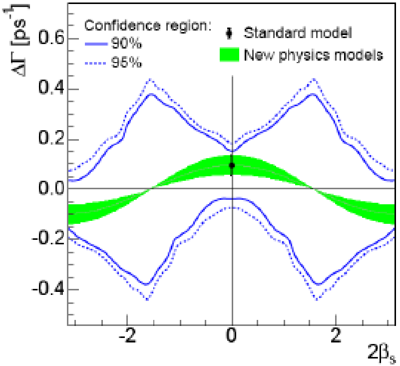
- questo è dovuto all'interferenza tra le ampiezze CP pari $\mathcal{A}_0$, $\mathcal{A}_{/\!/}$ e l'ampiezza CP dispari $\mathcal{A}_\perp$
- questi termini inoltre sono moltiplicati per dei coseni (oscillanti), ciò produce ambiguità nella determinazione di β_s e $\Delta\Gamma$

Fit senza "Flavour Tagging"



Fit con $\beta_s = 0$ $2.8\,\mathrm{fb}^{-1}$

$$\tau = 1.53 \pm 0.06\,(stat) \pm 0.01\,(syst)\,ps$$
$$\Delta\Gamma = 0.14 \pm 0.07\,(stat)^{+0.01}_{-0.02}\,(syst)\,ps^{-1}$$



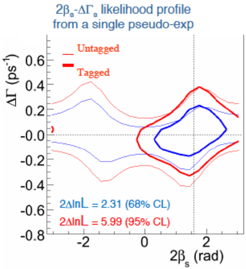
$\beta_s \neq 0$ 4 soluzioni indipendenti per β_s e $\Delta\Gamma$ data la simmetria

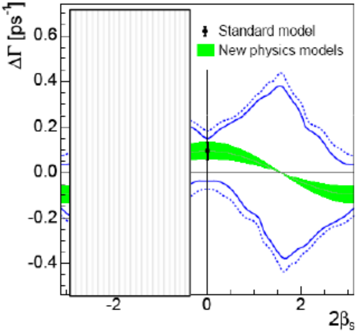
- $\beta_s \to -\beta_s$ $\delta_\perp \to \delta_\perp + \pi$
- $\Delta\Gamma \to -\Delta\Gamma$, $2\beta_s \to 2\beta_s + \pi$

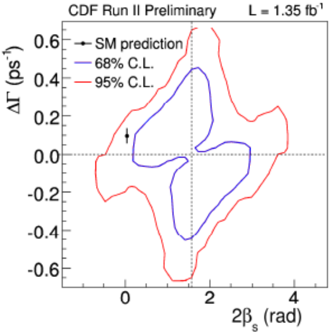
Fit con "Flavour Tagging"

Rimuove la simmetria $\beta_s \to -\beta_s$ grazie ai termini dipendenti da ΔM l'ambiguità diventa duplice

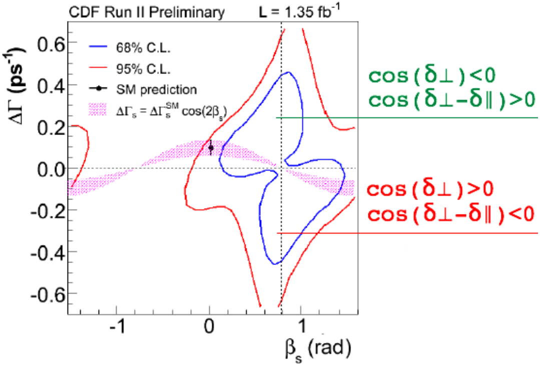
Grazie al flavour tagging lo spazio delle fasi disponibile per β_s è ridotto della metà







Risultati con Flavour Tagging



Valori teorici del modello Standard

$$\Delta\Gamma = 0.096 \pm 0.039\,\mathrm{ps}^{-1}$$

$$2\beta_s = 0.04 \pm 0.01\,\mathrm{rad}$$

I risultati sperimentali sono al al 68% di C.L.

$|\Gamma_{12}| = 0.048 \pm 0.018\,\mathrm{ps}^{-1}$ fissato da SM

$$\Delta\Gamma = 2|\Gamma_{12}|\cos(2\beta_s)$$

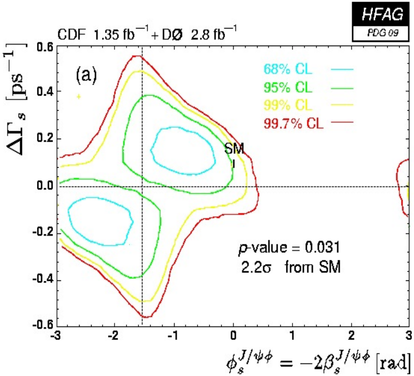
$$\boxed{2\beta_s \in [0.24, 1.36] \cup [1.78, 2.90]\,\mathrm{rad}}$$

Fissando i segni delle fasi forti da $B_d \to J/\Psi K^*$

$$\boxed{2\beta_s \in [0.40, 1.20]\,\mathrm{rad}}$$

Conclusioni

- **2006** Prima evidenza del mixing del B_s e misura di ΔM
- **2009** Misure combinate di CDF e DØ di $\phi = -2\beta_s$ e $\Delta\Gamma$



CDF II + DØ

90% C.L.

$$2\beta_s \in [0.29, 1.47] \cup [1.65, 2.85]\text{rad}$$

$$\Delta\Gamma \in [.036, .264] \cup [-.0264, -.036]\ \frac{1}{\text{ps}}$$

Il risultato previsto dallo SM è compatibile con i dati sperimentali solo al 3.1%. É lecito quindi aspettarsi la presenza di contributi di nuova fisica. Presto al Tevatron verrà analizzata una statistica 3 volte superiore che potrebbe confermare questa ipotesi

Bibliografia

CDF collaboration.
First Flavor-Tagged Determination of Bounds on Mixing-Induced CP Violation in $B_s^0 \rightarrow J/\Psi\Phi$ decays.
2008.

Isard Dunietz, Robert Fleischer, e Ulrich Nierste.
In Pursuit of New Physics with B_s Decays.
2000.

Ulrich Nierste.
Three Lectures on Meson Mixing and CKM phenomenology.
2009.

Marco Rescigno.
B_s mixing phase and CP violation at Tevatron.
2007.