

Il decadimento $\bar{B}_d \rightarrow \bar{K}^ \mu^+ \mu^-$: uno studio nel Modello Standard*

Marco Fedele

Università La Sapienza, INFN, Roma



SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA



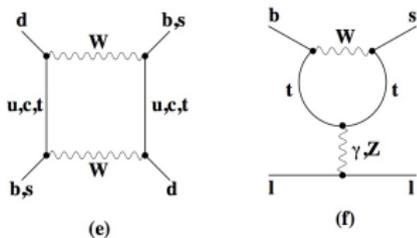
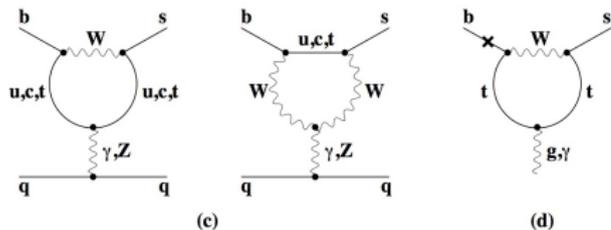
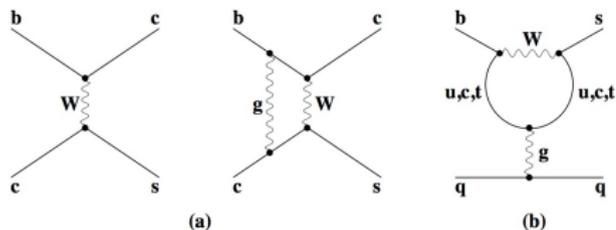
Istituto Nazionale
di Fisica Nucleare

- La Lagrangiana del Modello Standard è la Lagrangiana rinormalizzabile più generale contenente i fermioni ed il campo di Higgs

- La Lagrangiana del Modello Standard è la Lagrangiana rinormalizzabile più generale contenente i fermioni ed il campo di Higgs
- Passando dalla base degli autostati di flavour alla base degli autostati di massa per i fermioni si osserva l'assenza di correnti neutre con cambiamento di sapore (Flavour Changing Neutral Currents)

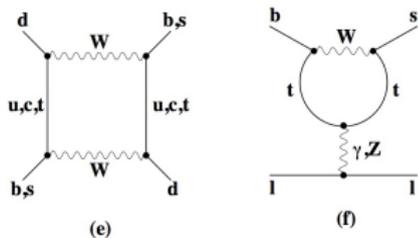
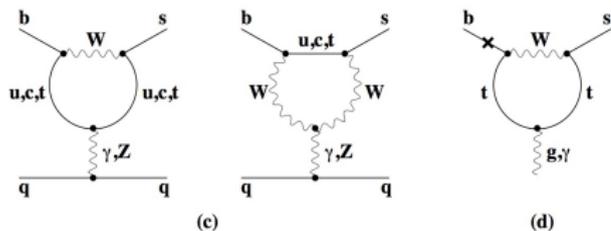
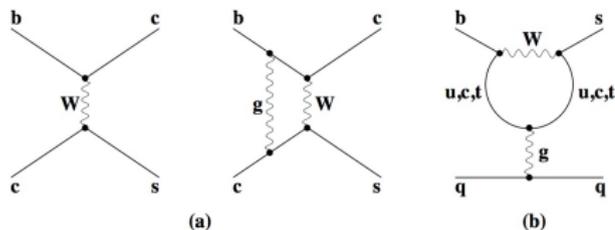
- La Lagrangiana del Modello Standard è la Lagrangiana rinormalizzabile più generale contenente i fermioni ed il campo di Higgs
- Passando dalla base degli autostati di flavour alla base degli autostati di massa per i fermioni si osserva l'assenza di correnti neutre con cambiamento di sapore (Flavour Changing Neutral Currents)
- I processi con cambiamento di sapore possono accadere unicamente a livello di loop

Decadimenti del mesone B e ricerca di nuova fisica

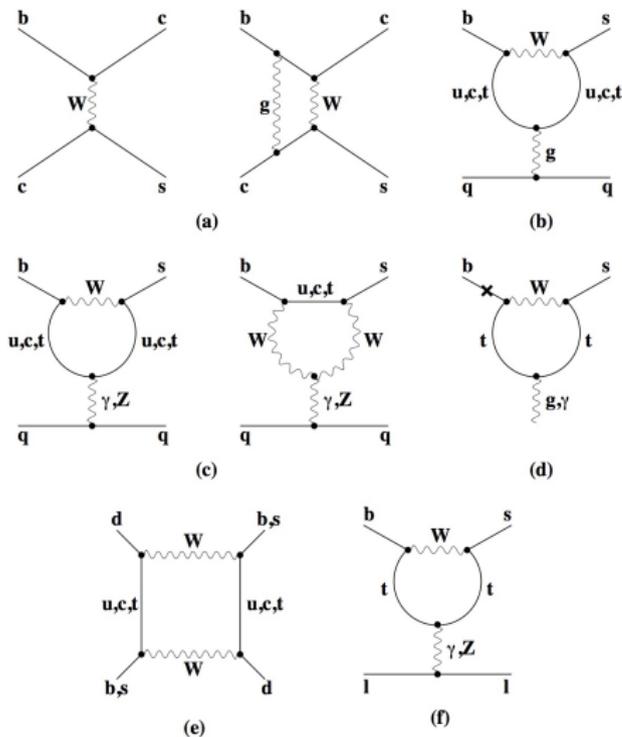


Decadimenti del mesone B e ricerca di nuova fisica

I decadimenti che coinvolgono FCNC sono assenti al tree-level



Decadimenti del mesone B e ricerca di nuova fisica

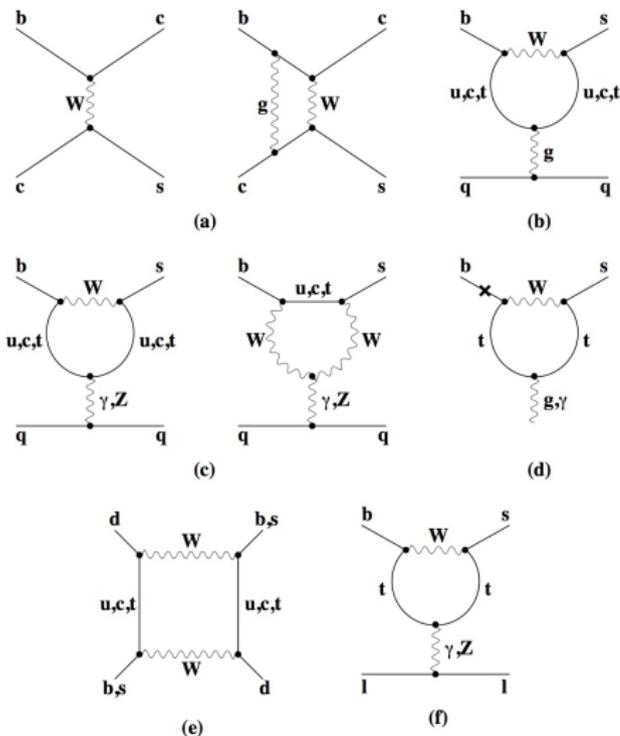


I decadimenti che coinvolgono FCNC sono assenti al tree-level



I contributi a livello di loop sono rilevanti

Decadimenti del mesone B e ricerca di nuova fisica



I decadimenti che coinvolgono FCNC sono assenti al tree-level

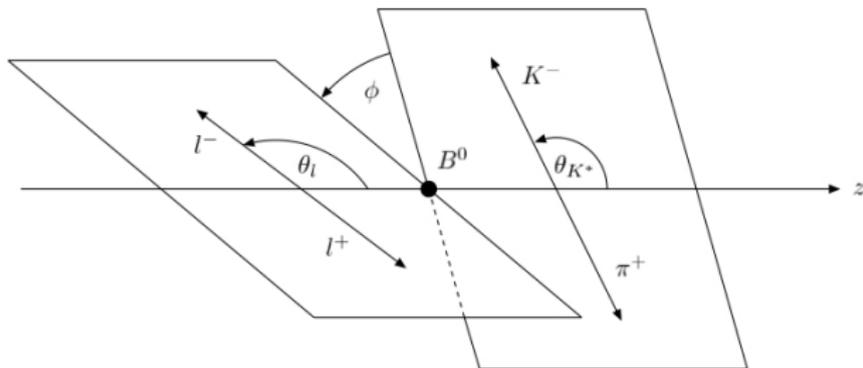


I contributi a livello di loop sono rilevanti

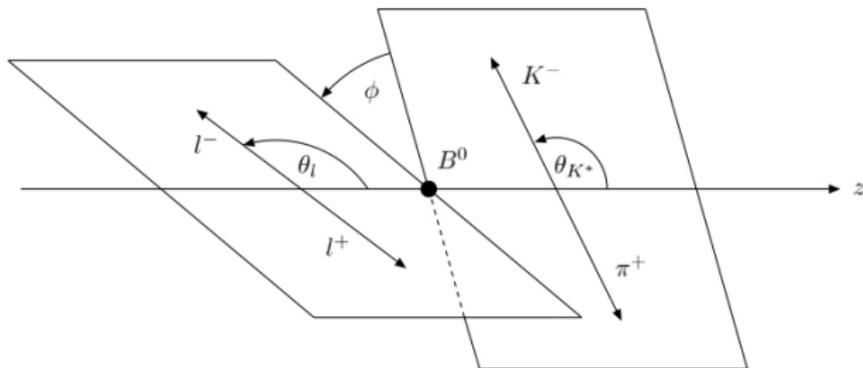


Processi di nuova fisica potrebbero influire in maniera significativa

Il decadimento $\bar{B}_d \rightarrow \bar{K}^*(\rightarrow K^-\pi^+)\mu^+\mu^-$

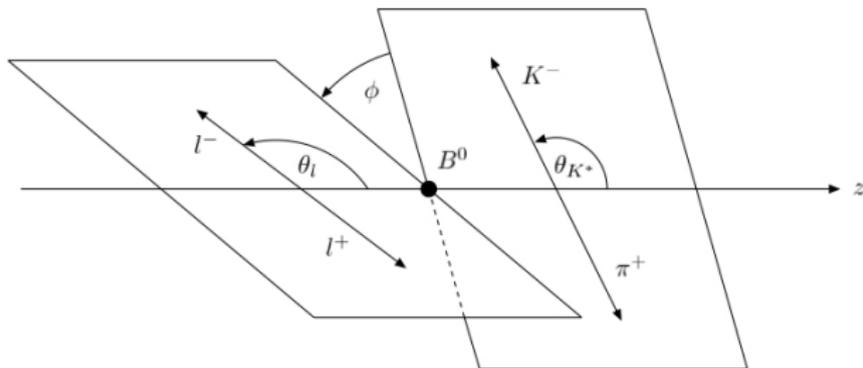


Il decadimento $\bar{B}_d \rightarrow \bar{K}^*(\rightarrow K^-\pi^+)\mu^+\mu^-$



- Decadimento con FCNC

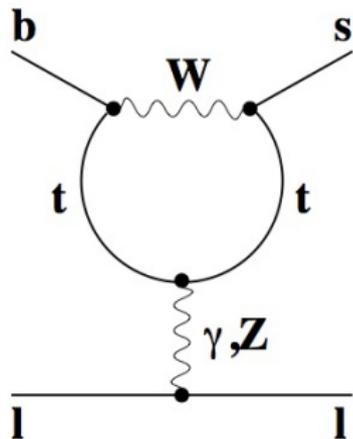
Il decadimento $\bar{B}_d \rightarrow \bar{K}^*(\rightarrow K^-\pi^+)\mu^+\mu^-$



- Decadimento con FCNC
- Analisi angolare effettuabile dal punto di vista sperimentale, con risultati combinabili in opportuni *theoretical clean observables* (P_i , P'_i) dipendenti dalla massa invariante del sistema dileptonico (q^2)

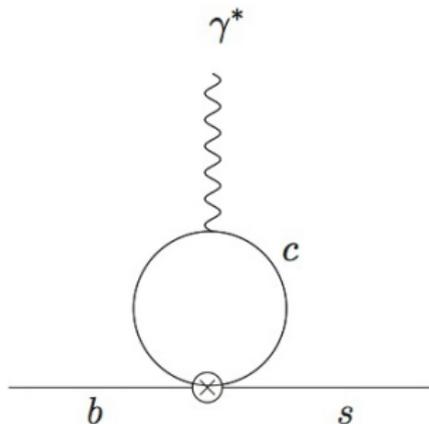
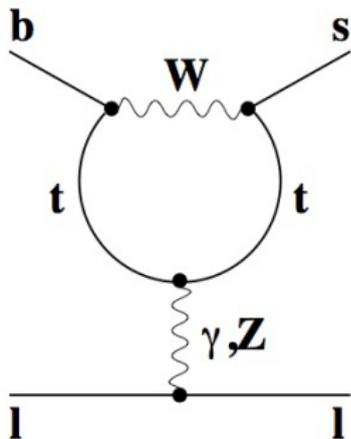
Contributi al decadimento $\bar{B}_d \rightarrow \bar{K}^* \mu^+ \mu^-$

- Contributi principali provenienti da operatori a pinguino



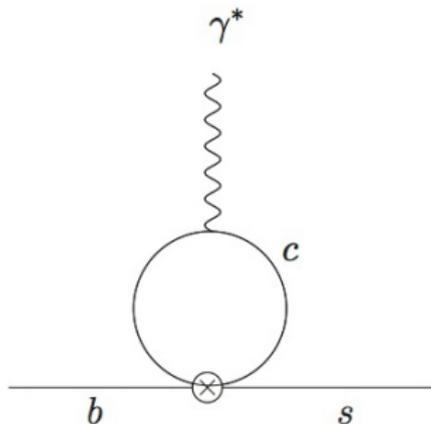
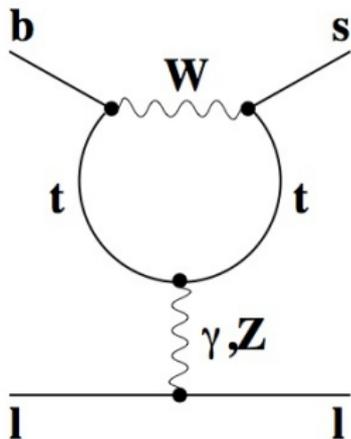
Contributi al decadimento $\bar{B}_d \rightarrow \bar{K}^* \mu^+ \mu^-$

- Contributi principali provenienti da operatori a pinguino
- Contributi secondari provenienti da operatori corrente-corrente



Contributi al decadimento $\bar{B}_d \rightarrow \bar{K}^* \mu^+ \mu^-$

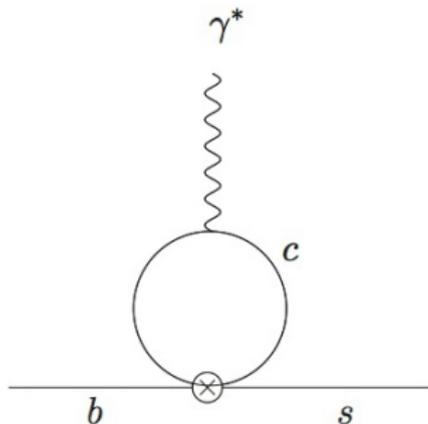
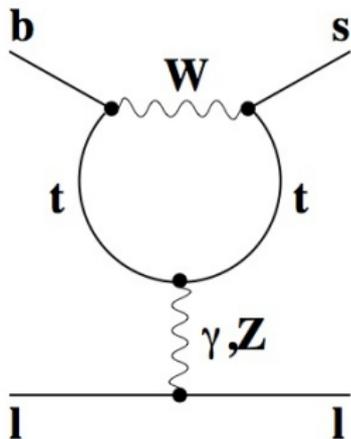
- Contributi principali provenienti da operatori a pinguino
- Contributi secondari provenienti da operatori corrente-corrente



Contributi adronici fattorizzabili (e piccoli) nel limite $m_b \rightarrow \infty$, ma con correzioni di ordine Λ/m_b nel caso di massa finita

Contributi al decadimento $\bar{B}_d \rightarrow \bar{K}^* \mu^+ \mu^-$

- Contributi principali provenienti da operatori a pinguino
- Contributi secondari provenienti da operatori corrente-corrente



Contributi adronici fattorizzabili (e piccoli) nel limite $m_b \rightarrow \infty$, ma con correzioni di ordine Λ/m_b nel caso di massa finita (tuttavia spesso trascurate nelle analisi fenomenologiche!!)

- Predizioni effettuate nel MS

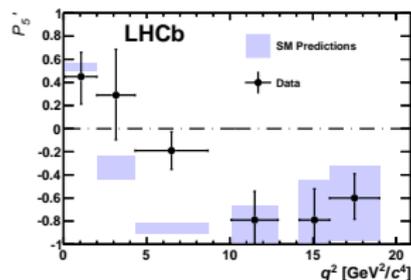
- Predizioni effettuate nel MS
- Dati raccolti ad LHCb in vari bin del q^2

- Predizioni effettuate nel MS
- Dati raccolti ad LHCb in vari bin del q^2

Forte discrepanza nel *clean observable* P'_5 :

Observable	Experiment	SM prediction
$\langle P'_5 \rangle_{[0.1,2]}$	$0.45^{+0.21}_{-0.24}$	$0.533^{+0.033}_{-0.041}$
$\langle P'_5 \rangle_{[2,4.3]}$	$0.29^{+0.40}_{-0.39}$	$-0.334^{+0.097}_{-0.113}$
$\langle P'_5 \rangle_{[4.3,8.68]}$	$-0.19^{+0.16}_{-0.16}$	$-0.872^{+0.053}_{-0.041}$
$\langle P'_5 \rangle_{[14.18,16]}$	$-0.79^{+0.27}_{-0.22}$	$-0.779^{+0.328}_{-0.363}$
$\langle P'_5 \rangle_{[16,19]}$	$-0.60^{+0.21}_{-0.18}$	$-0.601^{+0.282}_{-0.367}$

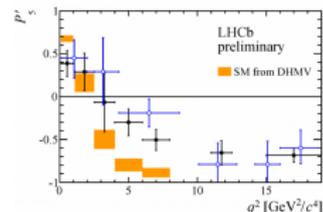
Descotes-Genon, Matias and Virto,
1307:5683



LHCb collaboration, 1308:1707

- Predizioni effettuate nel MS
- Dati raccolti ad LHCb in vari bin del q^2

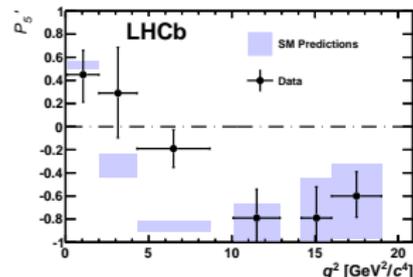
Forte discrepanza nel *clean observable* P'_5 :



Moriond, 2015

Observable	Experiment	SM prediction
$\langle P'_5 \rangle_{[0.1,2]}$	$0.45^{+0.21}_{-0.24}$	$0.533^{+0.033}_{-0.041}$
$\langle P'_5 \rangle_{[2,4.3]}$	$0.29^{+0.40}_{-0.39}$	$-0.334^{+0.097}_{-0.113}$
$\langle P'_5 \rangle_{[4.3,8.68]}$	$-0.19^{+0.16}_{-0.16}$	$-0.872^{+0.053}_{-0.041}$
$\langle P'_5 \rangle_{[14.18,16]}$	$-0.79^{+0.27}_{-0.22}$	$-0.779^{+0.328}_{-0.363}$
$\langle P'_5 \rangle_{[16,19]}$	$-0.60^{+0.21}_{-0.18}$	$-0.601^{+0.282}_{-0.367}$

Descotes-Genon, Matias and Virto,
1307:5683



LHCb collaboration, 1308:1707

Tuttavia...

Ma noi non siamo convinti...

Le predizioni effettuate non ci hanno convinto

Ma noi non siamo convinti...

Le predizioni effettuate non ci hanno convinto

- *Clean observables* definiti come opportuni rapporti tra osservabili angolari

Ma noi non siamo convinti...

Le predizioni effettuate non ci hanno convinto

- *Clean observables* definiti come opportuni rapporti tra osservabili angolari



ridotta l'incertezza proveniente dai fattori di forma (così fattorizzati)

Ma noi non siamo convinti...

Le predizioni effettuate non ci hanno convinto

- *Clean observables* definiti come opportuni rapporti tra osservabili angolari



ridotta l'incertezza proveniente dai fattori di forma (così fattorizzati)

TUTTAVIA

sperimentalmente l'integrazione sul bin viene effettuata sugli osservabili angolari e *non sui rapporti*

Ma noi non siamo convinti...

Le predizioni effettuate non ci hanno convinto

- *Clean observables* definiti come opportuni rapporti tra osservabili angolari



ridotta l'incertezza proveniente dai fattori di forma (così fattorizzati)

TUTTAVIA

sperimentalmente l'integrazione sul bin viene effettuata sugli osservabili angolari e *non sui rapporti*

- Analisi effettuata nel limite di massa infinita del B , nonostante le correzioni siano rilevanti e non trascurabili

Ma noi non siamo convinti...

Le predizioni effettuate non ci hanno convinto

- *Clean observables* definiti come opportuni rapporti tra osservabili angolari



ridotta l'incertezza proveniente dai fattori di forma (così fattorizzati)

TUTTAVIA

sperimentalmente l'integrazione sul bin viene effettuata sugli osservabili angolari e *non sui rapporti*

- Analisi effettuata nel limite di massa infinita del B , nonostante le correzioni siano rilevanti e non trascurabili
- Incertezza adronica sottostimata rispetto alle ultime stime [Khodjamirian et al., 1006.4945]

Necessario un nuovo studio, effettuato attraverso un'analisi bayesiana del decadimento

Necessario un nuovo studio, effettuato attraverso un'analisi bayesiana del decadimento

$$P(\vec{\lambda}|\vec{D}) = \frac{P(\vec{D}|\vec{\lambda})P_0(\vec{\lambda})}{\int d\vec{\lambda}P(\vec{D}|\vec{\lambda})P_0(\vec{\lambda})}$$

$\vec{\lambda}$: set di parametri

\vec{D} : dati sperimentali

Necessario un nuovo studio, effettuato attraverso un'analisi bayesiana del decadimento

$$P(\vec{\lambda}|\vec{D}) = \frac{P(\vec{D}|\vec{\lambda})P_0(\vec{\lambda})}{\int d\vec{\lambda}P(\vec{D}|\vec{\lambda})P_0(\vec{\lambda})}$$

$\vec{\lambda}$: set di parametri

\vec{D} : dati sperimentali

Prodotti dell'analisi:

- p.d.f. per gli osservabili
- p.d.f. per i parametri

Necessario un nuovo studio, effettuato attraverso un'analisi bayesiana del decadimento

$$P(\vec{\lambda}|\vec{D}) = \frac{P(\vec{D}|\vec{\lambda})P_0(\vec{\lambda})}{\int d\vec{\lambda}P(\vec{D}|\vec{\lambda})P_0(\vec{\lambda})}$$

$\vec{\lambda}$: set di parametri

\vec{D} : dati sperimentali

Prodotti dell'analisi:

- p.d.f. per gli osservabili
- p.d.f. per i parametri

Punti cruciali da implementare:

- Fattori di forma
- Contributi adronici

- Termini non perturbativi

Fattori di Forma

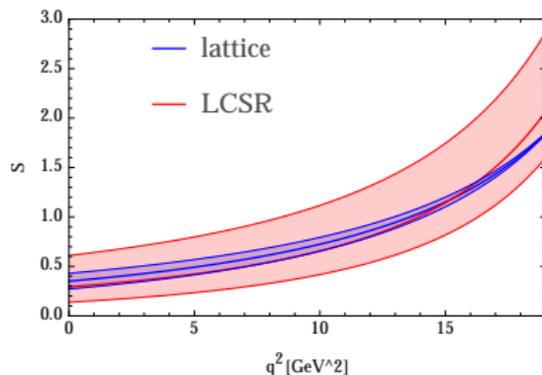
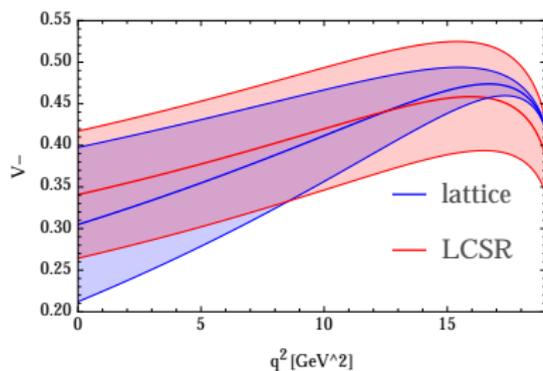
- Termini non perturbativi
- Valori ottenuti tramite “Light Cone Sum Rules” per bassi valori del q^2

Fattori di Forma

- Termini non perturbativi
- Valori ottenuti tramite “Light Cone Sum Rules” per bassi valori del q^2
- Valori ottenuti tramite approssimazione su reticolo per alti valori di q^2

Fattori di Forma

- Termini non perturbativi
- Valori ottenuti tramite “Light Cone Sum Rules” per bassi valori del q^2
- Valori ottenuti tramite approssimazione su reticolo per alti valori di q^2



- Termini non fattorizzabili e non locali, dovuti ai loop del charm

- Termini non fattorizzabili e non locali, dovuti ai loop del charm
- Espresi in letteratura come correzioni al coefficiente di Wilson C_9 nella base trasversa

$$\Delta C_9^{M_i}(q^2)$$

- Termini non fattorizzabili e non locali, dovuti ai loop del charm
- Espresi in letteratura come correzioni al coefficiente di Wilson C_9 nella base trasversa

$$\Delta C_9^{M_i}(q^2)$$

- Analisi effettuata nella base dell'elicità, in cui i contributi possono essere parametrizzati nella forma

$$\Delta C_9^\lambda(q^2) = \frac{m_B^2}{q^2} 16\pi^2 (h_\lambda^0 + q^2 h_\lambda^1)$$

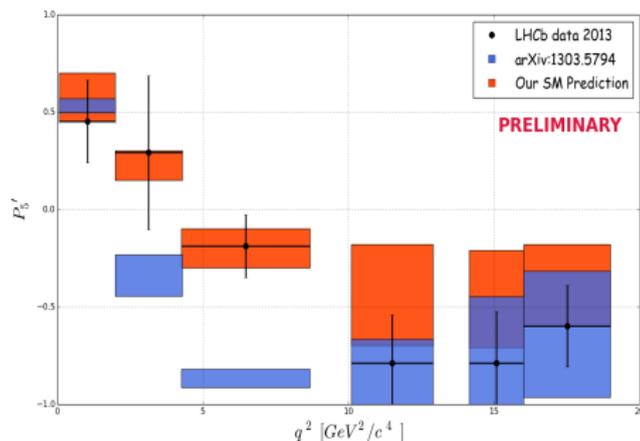
di più diretto controllo

- Fit eseguito su un ampio set di osservabili (BR , A_{FB} , F_L , P_1 , P_2 , P_3 , P'_4 , P'_5 , P'_6 , P'_8)

- Fit eseguito su un ampio set di osservabili (BR , A_{FB} , F_L , P_1 , P_2 , P_3 , P'_4 , P'_5 , P'_6 , P'_8)
- Risultati sperimentali riprodotti in modo più che soddisfacente

- Fit eseguito su un ampio set di osservabili (BR , A_{FB} , F_L , P_1 , P_2 , P_3 , P_4 , P'_5 , P'_6 , P'_8)
- Risultati sperimentali riprodotti in modo più che soddisfacente
- Interessante risultato riguardo ai valori di P'_5 ...

- Fit eseguito su un ampio set di osservabili (BR , A_{FB} , F_L , P_1 , P_2 , P_3 , P_4 , P'_5 , P'_6 , P'_8)
- Risultati sperimentali riprodotti in modo più che soddisfacente
- Interessante risultato riguardo ai valori di P'_5 ...



bin (q^2)	fit value	experimental value
$2.0 \leq q^2 \leq 4.3$	0.20(37)	0.29(40)
$4.3 \leq q^2 \leq 8.68$	-0.22(45)	-0.19(16)

Risultati nel bin $[0.1,2]$ compatibili con le stime degli ordini di grandezza effettuate in [Khodjamirian et al., 1006.4945] a $q^2 = 1$ (correzioni ad NLO importanti ma *non* calcolate)

	fit results	Khodj. results
$\Delta C_9^{M_1}$	4.47 ± 1.83	$0.72^{+0.57}_{-0.37}$
$\Delta C_9^{M_2}$	3.03 ± 1.32	$0.76^{+0.70}_{-0.41}$
$\Delta C_9^{M_3}$	3.94 ± 1.80	$1.11^{+1.14}_{-0.70}$

- Iniziale discrepanza tra dati sperimentali e predizioni teoriche

Conclusioni e Sviluppi Futuri

- Iniziale discrepanza tra dati sperimentali e predizioni teoriche
- Necessità di un'appropriata considerazione dei contributi adronici

Conclusioni e Sviluppi Futuri

- Iniziale discrepanza tra dati sperimentali e predizioni teoriche
- Necessità di un'appropriata considerazione dei contributi adronici
- Riproduzione di tutti i dati sperimentali senza la necessità di introdurre nuova fisica

Conclusioni e Sviluppi Futuri

- Iniziale discrepanza tra dati sperimentali e predizioni teoriche
- Necessità di un'appropriata considerazione dei contributi adronici
- Riproduzione di tutti i dati sperimentali senza la necessità di introdurre nuova fisica
- Range per il contributo adronico coerente con le ultime stime

Conclusioni e Sviluppi Futuri

- Iniziale discrepanza tra dati sperimentali e predizioni teoriche
- Necessità di un'appropriate considerazione dei contributi adronici
- Riproduzione di tutti i dati sperimentali senza la necessità di introdurre nuova fisica
- Range per il contributo adronico coerente con le ultime stime
- Possibili studi futuri per una migliore determinazione del contributo adronico

Grazie per l'attenzione!