

Violazione di CP e misura di $|V_{ub}|$ tramite decadimenti semileptonici di adroni B a LHCb

Vincenzo Battista

Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL)

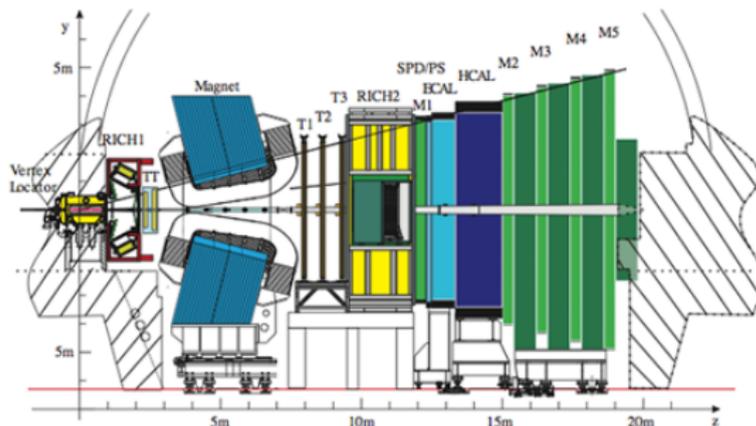
IFAE 2015, 08/04/2015



- 1 Introduzione
- 2 Misura di a_{sl}^d nelle oscillazioni $B^0-\bar{B}^0$
- 3 Misura di $|V_{ub}|$ nei decadimenti $\Lambda_b \rightarrow p\mu^-\bar{\nu}_\mu$
- 4 Conclusioni

Introduzione

- Misure ad alta precisione nella fisica del sapore (quark b e c).
- Accettanza ottimizzata per la produzione in avanti.

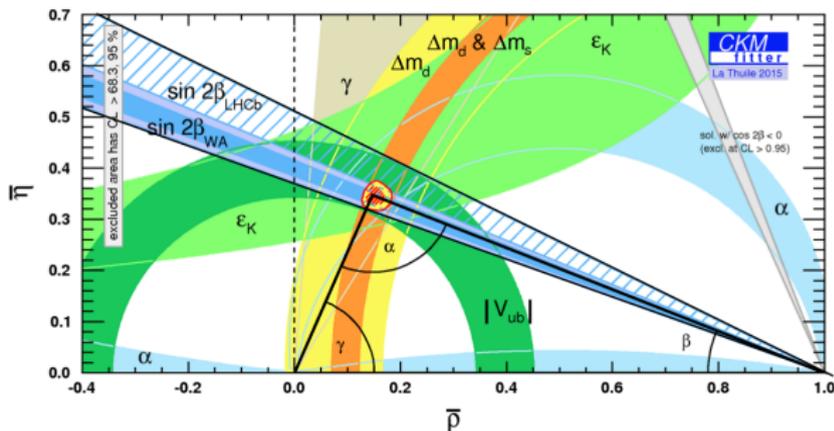


- (Alcune) prestazioni globali:
 - risoluzione vertice primario (VP): tra $\approx 10 \mu\text{m}$ e $\approx 40 \mu\text{m}$;
 - risoluzione massa invariante: tra $\approx 14 \text{ MeV}$ (J/ψ) e $\approx 1800 \text{ MeV}$ (Z^0);

- Una delle condizioni di unitarietà della matrice CKM si scrive come:

$$V_{ud}V_{ub}^* + V_{cd}V_{cb}^* + V_{td}V_{tb}^* = 0.$$

- Stato dell'arte:



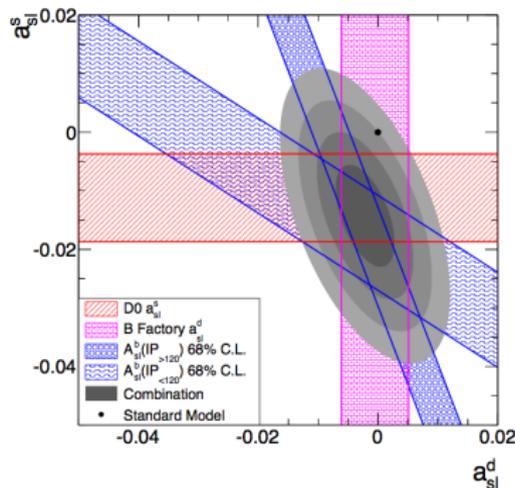
- Vertice dell'UT: limiti da β , V_{ub} e $\Delta m_{d,s}$
- In questa presentazione: misure di $|V_{ub}|$ e a_{sl}^d a LHCb mediante decadimenti *semileptonici*.

Misura di a_{sl}^d nelle oscillazioni $B^0-\bar{B}^0$

- Violazione di CP nelle oscillazioni $B^0-\bar{B}^0$:

$$a_{sl}^d = \frac{\Gamma(B^0 \rightarrow f) - \Gamma(\bar{B}^0 \rightarrow \bar{f})}{\Gamma(B^0 \rightarrow f) + \Gamma(\bar{B}^0 \rightarrow \bar{f})} \neq 0.$$

- Combinazione a_{sl}^d e a_{sl}^s : tensione con il MS a 3.0σ .
- Asimmetria A_{sl}^b nella produzione di dimuoni positivi e negativi: discrepanza con il MS a 3.6σ
- Si vedano [arXiv:1208.5813v2], [arXiv:1207.1769v3]

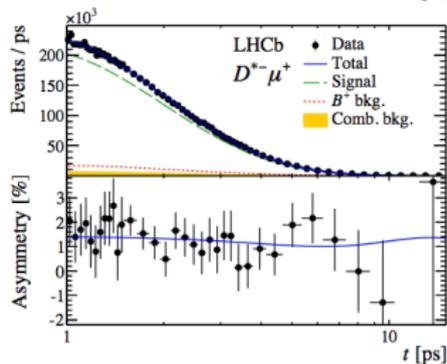
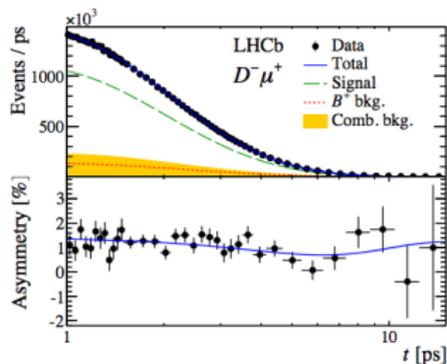
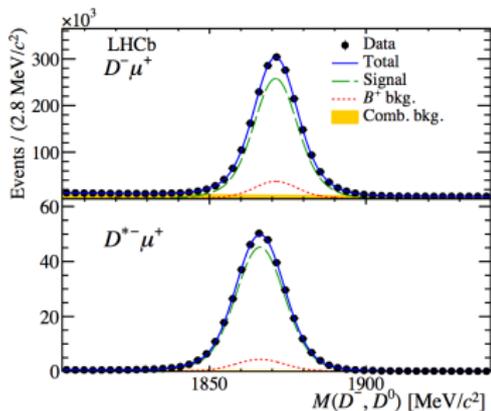


- LHCb: misura di a_{sl}^d dal tasso di decadimento di $B^0 \rightarrow D^{(*)-} \mu^+ \nu_\mu X$ con sapore iniziale non identificato (*untagged*).

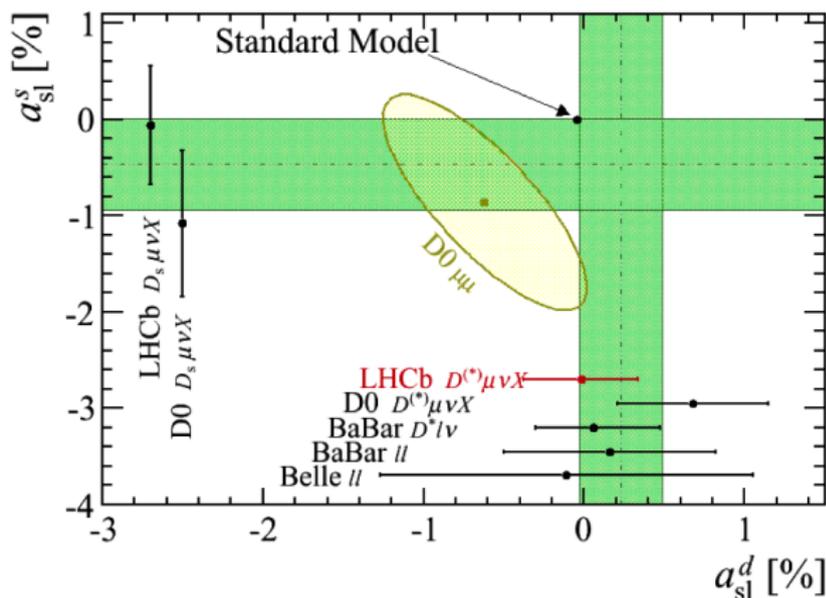
$$N(t) \propto e^{-\Gamma t} \left[1 + \zeta A_D + \zeta \frac{a_{sl}^d}{2} - \zeta \left(A_P + \frac{a_{sl}^d}{2} \right) \cos \Delta m_d \right].$$

- $\zeta = +1$ ($\zeta = -1$) per $f = +1$ ($f = -1$).
- Asimmetrie di produzione (A_P) e di rilevazione (A_D) fra B^0 e \bar{B}^0 .

- A_D : da campioni di controllo sui dati.
- a_{sl}^d e A_P : da adattamento simultaneo alle distribuzioni di tempo di vita del B e di massa del D .
- Asimmetria $D^{(*)}\pm\mu^\mp$ in intervalli di vita media.

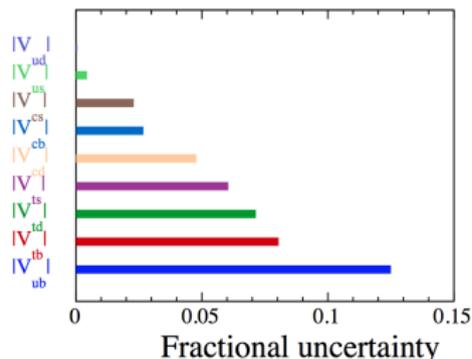
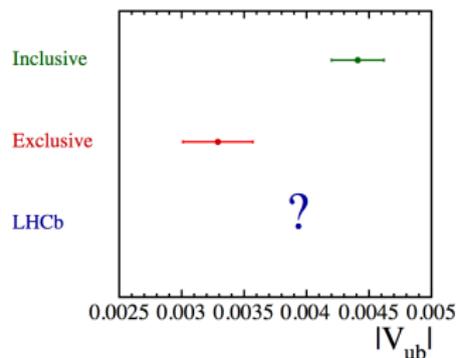


- Valore misurato: $a_{sl}^d = (-0.02 \pm 0.19(stat.) \pm 0.30(sist.))\%$.
- Incertezza sistematica dominata da A_D (0.26).
- Compatibile con il MS.
- Al momento, misura più precisa al mondo.
- Si veda [arXiv:1409.8586v2].



Misura di $|V_{ub}|$ nei decadimenti $\Lambda_b \rightarrow p\mu^-\bar{\nu}_\mu$

- $|V_{ub}|$ da decadimenti semileptonici esclusivi $B \rightarrow \pi \mu \nu$:
 - larghezza $\frac{d\Gamma}{dq^2} \propto |V_{ub}|^2 |f^+(q^2)|^2$;
 - fattori di forma da CDQ su reticolo [arXiv:1503.01421].
 - $|V_{ub}| = (3.28 \pm 0.29) \times 10^{-3}$
- $|V_{ub}|$ da decadimenti semileptonici inclusivi $b \rightarrow u l \nu$.
 - $|V_{ub}| = (4.41 \pm 0.15^{+0.15}_{-0.17}) \times 10^{-3}$
- Le due misure sono in disaccordo.
- $|V_{ub}|$ è il parametro CKM meno noto.
- E' possibile a LHCb?
 - No info sull'impulso iniziale (come in collisionatori e^+e^-).
 - 26×10^{10} coppie $b\bar{b}$ prodotte.
 - $\Lambda_b \rightarrow p \mu^- \bar{\nu}_\mu$: ricostruzione tracce e ID protone e muone eccellenti.

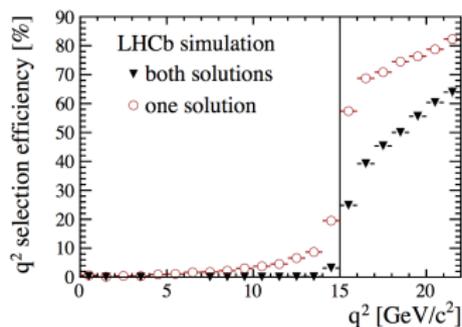


- Dati: 2fb^{-1} (2012).
- Regione cinematica: alto $q^2 = m_{\mu\nu}^2$ (incertezze teoriche ridotte).
- Osservabile: rapporto di diramazione $\Lambda_b \rightarrow p\mu^- \bar{\nu}_\mu$ normalizzato rispetto a $\Lambda_b \rightarrow \Lambda_c\mu^- \bar{\nu}_\mu$.

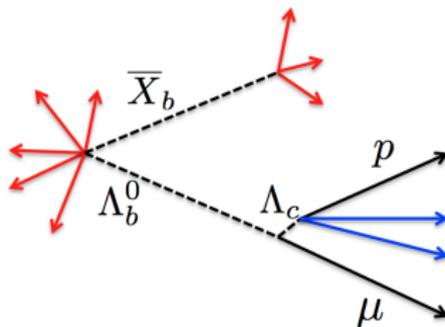
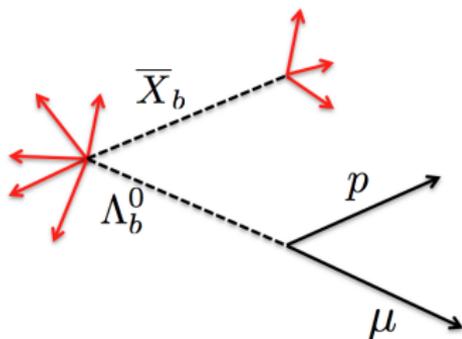
$$\begin{aligned}
 R_{\text{sperimentale}} &= \frac{\mathcal{B}(\Lambda_b \rightarrow p\mu^- \bar{\nu}_\mu)_{q^2 > 15\text{GeV}^2/c^4}}{\mathcal{B}(\Lambda_b \rightarrow \Lambda_c\mu^- \bar{\nu}_\mu)_{q^2 > 7\text{GeV}^2/c^4}} = \frac{N(\Lambda_b \rightarrow p\mu^- \bar{\nu}_\mu)}{N(\Lambda_b \rightarrow (\Lambda_c \rightarrow pK\pi)\mu^- \bar{\nu}_\mu)} \\
 &\quad \times \frac{\epsilon(\Lambda_b \rightarrow (\Lambda_c pK\pi)\mu^- \bar{\nu}_\mu)}{\epsilon(\Lambda_b \rightarrow p\mu^- \bar{\nu}_\mu)} \\
 &\quad \times \mathcal{B}(\Lambda_c \rightarrow pK\pi).
 \end{aligned}$$

- Da Belle: $\mathcal{B}(\Lambda_c \rightarrow pK\pi) = (6.84 \pm 0.24(\text{stat.})_{-0.27}^{+0.21}(\text{sist.}))\%$ [arXiv:1312.7826].
- Valore misurato: $|V_{ub}|^2 = |V_{cb}|^2 \frac{R_{\text{sperimentale}}}{R_{\text{teorico}}}$.
- $R_{\text{teorico}} = 1.470 \pm 0.115(\text{stat.}) \pm 0.104(\text{sist.})$ [arXiv:1503.01421]

- q^2 ricostruibile con ambiguità doppia e diversa risoluzione:
 - soluzione corretta $1 \text{ GeV}^2/c^4$;
 - soluzione errata $4 \text{ GeV}^2/c^4$
- $q^2 > 15 \text{ GeV}^2/c^4$ per entrambe: minimizzare il contributo da bassi q^2 .



- Analisi multivariata (BDT): rimozione di fondi con tracce cariche associate al vertice $p\mu$ (reiezione fondo $\approx 90\%$, efficienza segnale $\approx 80\%$).



- Definizione:

$$M_{corr} = \sqrt{p_{\perp}^2 + M_{p\mu}^2} + p_{\perp}$$

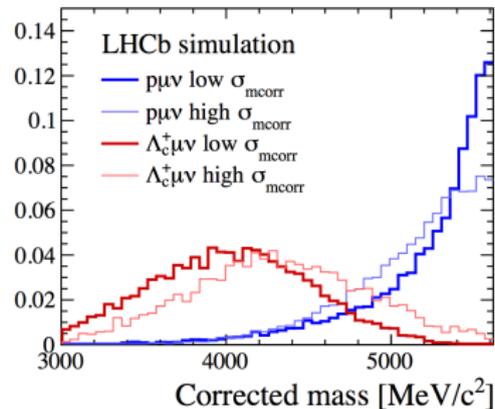
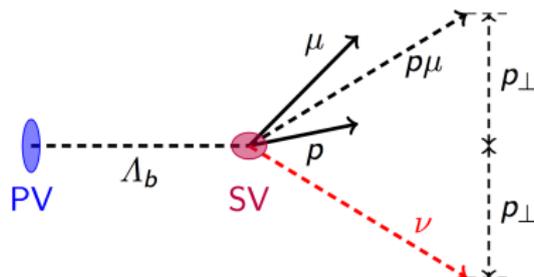
- Risoluzione:

- ≈ 10 volte peggiore rispetto a decadimenti totalmente ricostruiti;
- dovuta a incertezze su VP e vertice Λ_b .

- Candidati scartati se $\sigma_{M_{corr}} > 100$ MeV/ c^2 :

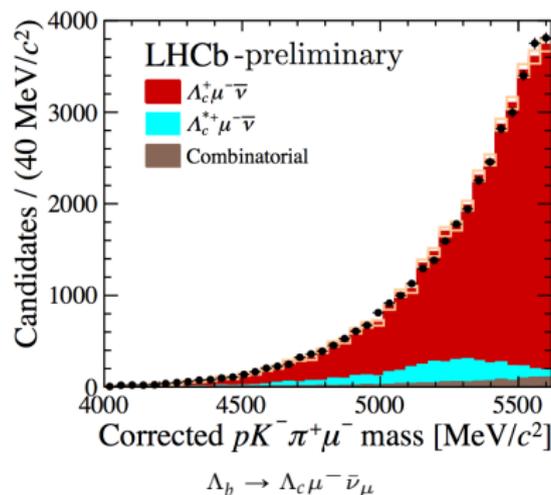
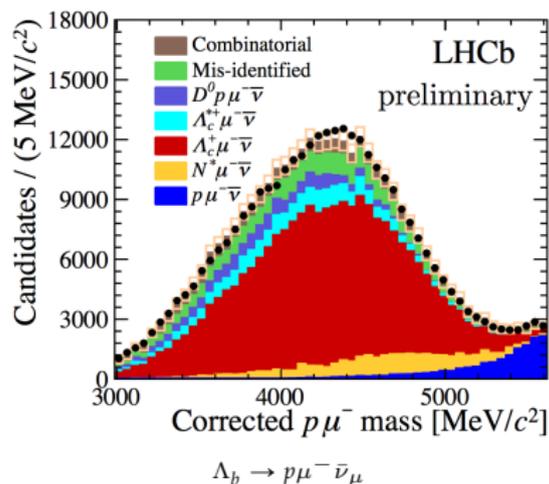
- $\Lambda_b \rightarrow p\mu^- \bar{\nu}_{\mu}$: efficienza $\approx 23\%$.
- $\Lambda_b \rightarrow \Lambda_c \mu^- \bar{\nu}_{\mu}$: taglio non applicato.

- Taglio a $M_{corr} = m_{\Lambda_b}$: dovuto alla selezione su q^2 .



- Eventi conteggiati:

- $\Lambda_b \rightarrow p\mu^- \bar{\nu}_\mu$: 17687 ± 733 (prima osservazione di questo decadimento);
- $\Lambda_b \rightarrow \Lambda_c \mu^- \bar{\nu}_\mu$: 34255 ± 571 .



- Efficienze dalla simulazione Monte Carlo:

$$\frac{\epsilon(\Lambda_b \rightarrow p\mu^-\bar{\nu}_\mu)}{\epsilon(\Lambda_b \rightarrow (\Lambda_c \rightarrow pK\pi)\mu^-\bar{\nu}_\mu)} = 3.52 \pm 0.20$$

- Incertezze sistematiche:

Contributo	Incertezza relativa (%)
$\mathcal{B}(\Lambda_c \rightarrow pK^+\pi^-)$	+4.7
Selezione di basso livello (<i>trigger</i>)	-5.3
Ricostruzione tracce	3.2
Efficienza selezione Λ_c	3.0
Forme $\Lambda_b \rightarrow N^*\mu\nu$	3.0
Vita media Λ_b	2.3
Isolamento tracce segnale	1.5
Fattori di forma	1.4
Produzione Λ_b	1.0
Contaminazione da bassi q^2	0.5
ID particelle	0.4
Totale	+7.8
	-8.2

- Rapporti di diramazione:

$$\frac{\mathcal{B}(\Lambda_b \rightarrow p\mu^-\bar{\nu}_\mu)_{q^2 > 15\text{GeV}^2/c^4}}{\mathcal{B}(\Lambda_b \rightarrow \Lambda_c\mu\nu)_{q^2 > 7\text{GeV}^2/c^4}} = (1.00 \pm 0.04(\text{stat.}) \pm 0.08(\text{sist.})) \times 10^{-2}.$$

- Estrapolazione a tutto l'intervallo di q^2 (incertezze dominate dai fattori di forma):

$$\mathcal{B}(\Lambda_b \rightarrow p\mu^-\bar{\nu}_\mu) = (3.9 \pm 0.8) \times 10^{-4}.$$

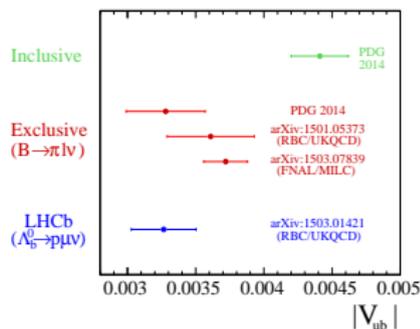
- Matrice CKM:

$$|V_{ub}| = (3.27 \pm 0.15(\text{misura}) \pm 0.17(\text{teoria}) \pm 0.06(|V_{cb}|)) \times 10^{-3}.$$

- Discrepanza LHCb-modo inclusivo:

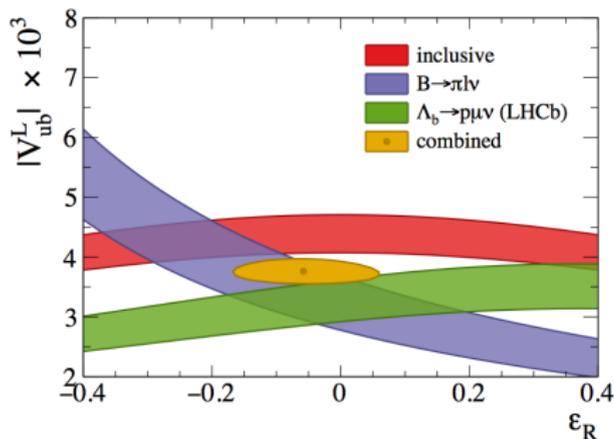
- 3.5 σ (solo LHCb).
- 3.9 σ (LHCb + $B \rightarrow \pi\mu\nu$).

- In corso di pubblicazione su *Nature Physics*.



- Discrepanza $|V_{ub}|$ esclusivo-inclusivo: correnti destrorse?

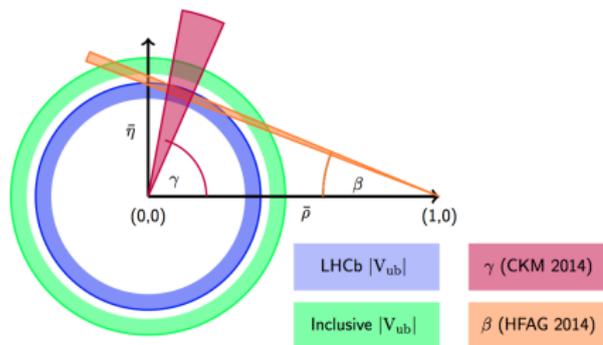
$$\mathcal{L}_{eff} = -\frac{4G_F}{\sqrt{2}} V_{ub}^L (\bar{u}\gamma_\mu P_L b + \epsilon_R \bar{u}\gamma_\mu P_R b) (\bar{\nu}\gamma^\mu P_L l) + h.c.$$



- Adattamento ai dati:
 - senza LHCb: $\chi^2/n_{d.o.f} = 2.8/1$, p -valore = 0.1 (correnti destrorse favorite);
 - con LHCb: $\chi^2/n_{d.o.f} = 16.4/2$, p -valore = 3×10^{-4} (adattamento non buono).
- Si vedano [arXiv:1408.2516] e [arXiv:0907.2461]

Conclusions

- Asimmetria di CP nelle oscillazioni $B^0-\bar{B}^0$ in decadimenti semileptonici (a_{sl}^d):
 - misura più precisa al mondo;
 - compatibile con il MS.
- Misura di $|V_{ub}|$ in $\Lambda_b \rightarrow p\mu^-\bar{\nu}_\mu$:
 - prima osservazione del decadimento $\Lambda_b \rightarrow p\mu^-\bar{\nu}_\mu$.
 - prima misura di $|V_{ub}|$ in un collisionatore adronico.
 - misura compatibile con altre misure esclusive, ma incompatibile con le misure inclusive (3.5σ);
 - correnti cariche destrorse: scenario non favorito includendo misura LHCb.
 - risultato di LHCb compatibile con media mondiale di $\sin 2\beta$.



Grazie a William Sutcliffe e Patrick Owen per le referenze.



*Grazie per
l'attenzione*

Miscellanea

- Asimmetria di produzione:

$$A_P = \frac{\mathcal{P}(B^0) - \mathcal{P}(\bar{B}^0)}{\mathcal{P}(B^0) + \mathcal{P}(\bar{B}^0)}.$$

- Asimmetria di rivelazione:

$$A_D = \frac{\epsilon(f) - \epsilon(\bar{f})}{\epsilon(f) + \epsilon(\bar{f})}.$$

- Tempo di decadimento del mesone B :

$$t = \frac{ML}{p}.$$

- Fattore di correzione k (neutrino non ricostruito):

$$k = \frac{p_{ricostruito}}{p_{vero}}.$$

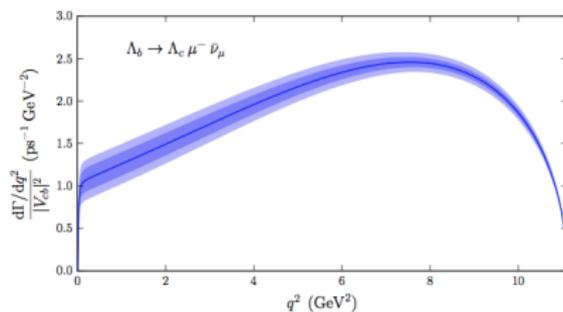
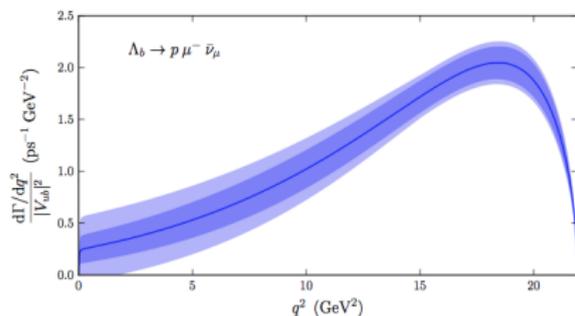
- Asimmetria dimuone con stesso segno:

$$A_{sl}^b = \frac{f_d Z_d a_{sl}^d + f_s Z_s a_{sl}^d}{f_d Z_d + f_s Z_s},$$

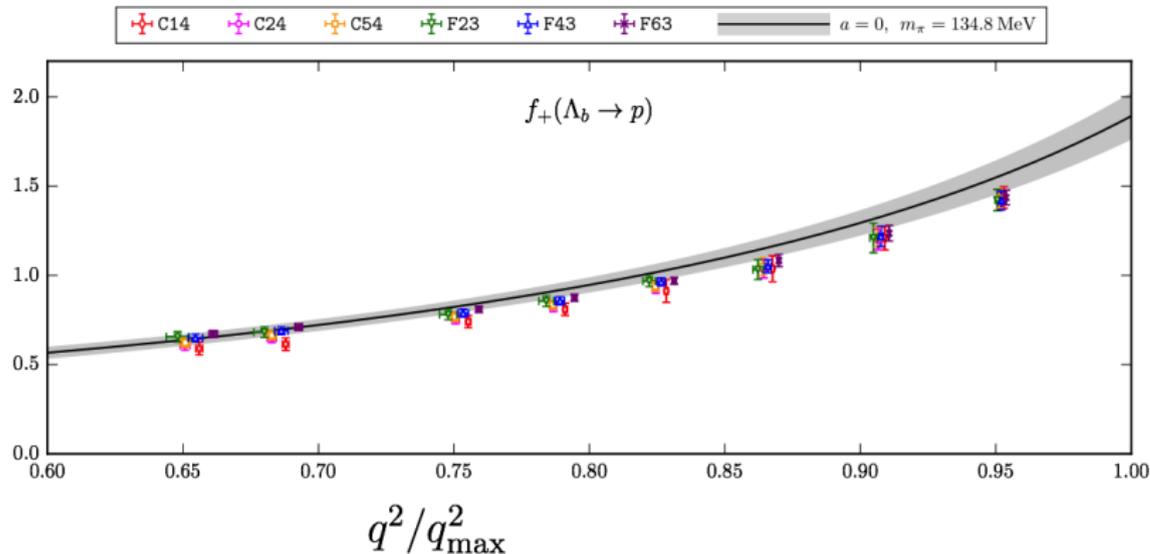
$$Z_q = \frac{1}{1 - y_q^2} - \frac{1}{1 + x_q^2}, \quad y_q = \frac{\Delta\Gamma_q}{2\Gamma_q}, \quad x_q = \frac{\Delta M_q}{\Gamma_q}.$$

- Da CDQ su reticolo:

$$R_{teorico} = \frac{\int_{15\text{GeV}^2/c^4}^{q_{max}^2} \frac{d\Gamma(\Lambda_b \rightarrow p\mu^-\bar{\nu}_\mu)}{dq^2} / |V_{ub}|^2 dq^2}{\int_{7\text{GeV}^2/c^4}^{q_{max}^2} \frac{d\Gamma(\Lambda_b \rightarrow \Lambda_c\mu^-\bar{\nu}_\mu)}{dq^2} / |V_{cb}|^2 dq^2}$$



- 6 fattori di forma (3 vettoriali, 3 assiali) per ogni decadimento.
- Calcolo effettuato con 6 diverse masse per i pioni e due passi per il reticolo.
- Quarks b e c : lagrangiana relativistica nel modello a quark pesante.
- Configurazioni per i campi di gauge dalle collaborazioni RBV e UKQCD.
- Correnti $b \rightarrow u$ e $b \rightarrow c$ rinormalizzate con metodi non perturbativi.



$$\begin{aligned}
 \mathcal{B}(\Lambda_b \rightarrow p\mu^-\bar{\nu}_\mu) &= \tau_{\Lambda_b} \frac{\mathcal{B}(\Lambda_b \rightarrow p\mu^-\bar{\nu}_\mu)_{q^2 > 15\text{GeV}^2/c^4}}{\mathcal{B}(\Lambda_b \rightarrow \Lambda_c\mu^-\bar{\nu}_\mu)_{q^2 > 7\text{GeV}^2/c^4}} |V_{cb}|^2 R_{\text{teorico}} \\
 \tau_{\Lambda_b} R_{\text{sperimentale}} |V_{cb}|^2 &\int_{7\text{GeV}^2/c^4}^{q_{\text{max}}^2} \frac{d\Gamma(\Lambda_b \rightarrow \Lambda_c\mu^-\bar{\nu}_\mu)}{dq^2} / |V_{cb}|^2 dq^2 \\
 &\times \frac{\int_{0\text{GeV}^2/c^4}^{q_{\text{max}}^2} \frac{d\Gamma(\Lambda_b \rightarrow p\mu^-\bar{\nu}_\mu)}{dq^2} / |V_{ub}|^2 dq^2}{\int_{15\text{GeV}^2/c^4}^{q_{\text{max}}^2} \frac{d\Gamma(\Lambda_b \rightarrow p\mu^-\bar{\nu}_\mu)}{dq^2} / |V_{ub}|^2 dq^2}
 \end{aligned}$$

