

# *Evidências de violação de CP em decaimentos de $B^\pm \rightarrow h^\pm h^+ h^-$ no LHCb*

Fernando Rodrigues

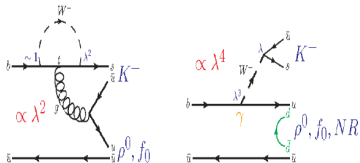
(Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas, Brasil)

Página do grupo LHCb/CBPF: <http://www.cbpf.br/lhcb>

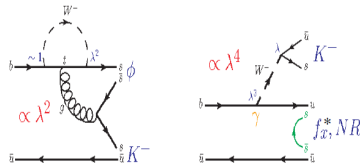
Reunião de Trabalho sobre Interações Hadrônicas 2012  
3 e 4 de dezembro de 2012 | CBPF, Brasil

- ▶ Teoria
  - ▶ Decaimentos  $B^\pm \rightarrow h^\pm h^+ h^-$  sem charm
  - ▶ Dalitz plot
  
- ▶ O experimento LHCb
  
- ▶ *Evidence of direct CP violation in  $B^\pm \rightarrow K^\pm \pi^+ \pi^-$  and  $B^\pm \rightarrow K^\pm K^+ K^-$  decays.*  
 LHCb-CONF-2012-018 - Resultado preliminar com  $\int \mathcal{L} dt = 1 \text{ fb}^{-1}$
  
- ▶ *Evidence of direct CP violation in  $B^\pm \rightarrow K^+ K^- \pi^\pm$  and  $B^\pm \rightarrow \pi^\pm \pi^+ \pi^-$  decays.*  
 LHCb-CONF-2012-028 - Resultado preliminar com  $\int \mathcal{L} dt = 1 \text{ fb}^{-1}$
  
- ▶ Considerações finais
  
- ▶ Conclusão

$$B^\pm \rightarrow K^\pm \pi^+ \pi^- \quad \text{BR} \propto 10^{-5}$$



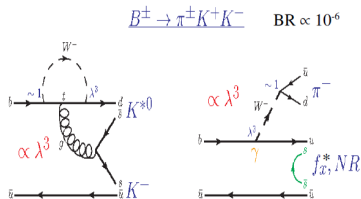
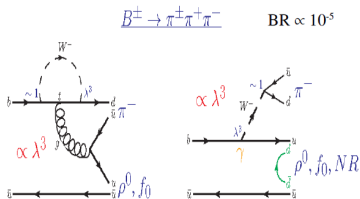
$$B^\pm \rightarrow K^\pm K^+ K^- \quad \text{BR} \propto 10^{-5}$$



- ▶ Acesso a  $b \rightarrow s(P)$  e à transição de fase CKM  $b \rightarrow u (T)$ .
- ▶ (CPV-Tipo I): Violação de  $CP$  (CPV) esperada pela interferência entre os diagramas de árvore ( $\propto \lambda^4$ ) e pinguim ( $\propto \lambda^2$ ) nos dois canais.
- ▶ (CPV-Tipo II): Para  $B^\pm \rightarrow K^\pm \pi^+ \pi^-$ :
  - ▶ CPV através  $\rho^0, f_0$  e  $K^*$  por interferências no espaço de fase.
- ▶ (CPV-Tipo II): Para  $B^\pm \rightarrow K^\pm K^+ K^-$ :
  - ▶ CPV através das interferências entre  $\phi$  e  $f_x^1$  (ou não ressonantes).
  - ▶ CPV na ressonância  $\phi$  somente através da contribuição pinguim.

▶ Note que CPV-Tipo I e CPV-Tipo II são duas fontes diferentes de CPV.

<sup>1</sup>  $f_x$  representa qualquer ressonância com estado final  $K^+ K^-$ .

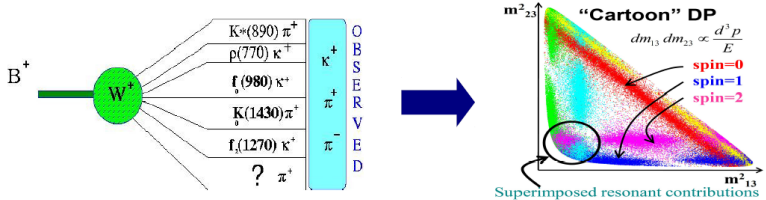


- ▶ Acesso a  $b \rightarrow d(P)$  e à transição de fase CKM  $b \rightarrow u$  (T).
- ▶ (CPV-Tipo I): Violação de  $CP$  (CPV) esperada pela interferência entre os diagramas de árvore ( $\propto \lambda^3$ ) e pinguim ( $\propto \lambda^3$ ) nos dois canais.
- ▶ (CPV-Tipo II): Para  $B^\pm \rightarrow \pi^\pm \pi^+ \pi^-$ :
  - ▶ CPV através  $\rho^0$  e  $f_0$  por interferências no espaço de fase.
- ▶ (CPV-Tipo II): Para  $B^\pm \rightarrow K^+ K^- \pi^\pm$ :
  - ▶ CPV através da interferências entre  $K^*$  e  $f_x^2$  (ou não ressonantes).
  - ▶ CPV na ressonância  $\phi$  não esperado (para a estatística atual do LHCb).

▶ Note que Tipo I a Tipo II são duas fontes diferentes de CPV.

$^2 f_x$  representa qualquer ressonância com estado final  $K^+ K^-$ .

- ▶ CPV no Dalitz plot (DP) é comumente estudado através de um análise de amplitude usando o modelo isobárico.

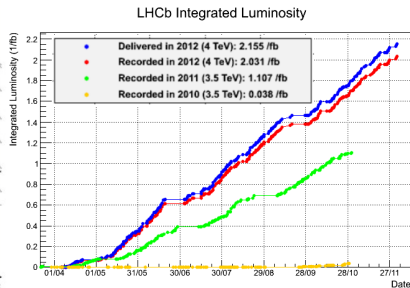
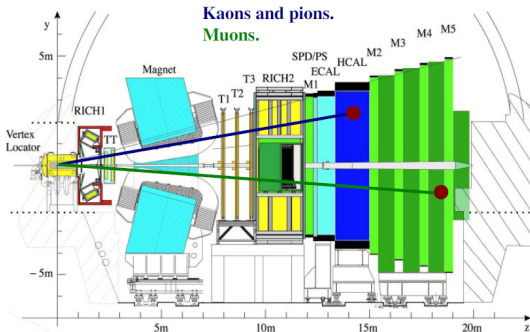


- ▶ Cada ressonância é incluída em uma soma coerente para o decaimento total.
- ▶ Interferências entre ressonâncias (paralelas ou cruzadas) → sonda para o DP
- ▶ CPV vem de diferenças nas amplitudes e fases de  $\mathcal{A}$  e  $\overline{\mathcal{A}}$ .
  - ▶ Fase forte  $\varphi$  não muda de sinal em  $\mathcal{A} \rightarrow \overline{\mathcal{A}}$ .
  - ▶ Fase fraca  $\gamma$  muda de sinal em  $\mathcal{A} \rightarrow \overline{\mathcal{A}}$ .

▶ Alguns resultados nestes modos:

- ▶ Belle e BaBar: Evidência de CPV em  $B^\pm \rightarrow \rho K^\pm$  (estado final  $K\pi\pi$ ). Belle:PRL96,(2006) 251803 BaBar:PRD78,(2008) 012004
- ▶ BaBar: Evidência de CPV em  $B^\pm \rightarrow \phi K^\pm$  (estado final  $KKK$ ). BaBar:PRD85,(2012) 112010

- ▶ Excelente sistema de detecção de traços e vértices para decaimentos de  $B$  e  $D$ .
- ▶ Excelente identificação de partículas.
- ▶ Káons e píons viajam através de uma quantidade substancial de material.
  - ▶ A possível assimetria de detecção é levada em consideração.



$$B^\pm \rightarrow K^\pm \pi^+ \pi^- \quad e \quad B^\pm \rightarrow K^\pm K^+ K^-$$

- ▶ Mesma seleção para os dois canais exeto por cortes de identificação de partículas e vetos de ruídos.
- ▶ O  $B^\pm \rightarrow K^\pm \pi^+ \pi^-$  está conectado ao  $B^\pm \rightarrow K^\pm K^+ K^-$  através do estado final de interação  $\pi^+ \pi^- \rightarrow K^+ K^-$ . [Surovtsev, et. al: PR D81 \(2010\) 016001](#)
- ▶ A assimetria crua ( $A_{CP}^{RAW}$ ) pode ser interpretada como a soma das assimetrias física ( $A_{CP}$ ), produção ( $A_P$ ) e instrumentação ( $A_I$ )

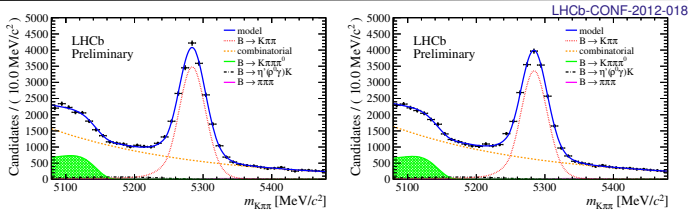
$$A_{CP}^{RAW}(K^\pm h^+ h^-) = A_{CP}(K^\pm h^+ h^-) + A_P(B^\pm) + A_I(K^\pm)$$

- ▶ O canal  $B^\pm \rightarrow J/\psi K^\pm$  é usado como canal de controle para extrair  $A_P$  e  $A_I$ .
  - ▶ Tem a mesma topologia dos canais  $B^\pm \rightarrow h^\pm h^+ h^-$ .
  - ▶  $A_P$  é independente do estado final
  - ▶ Não tem CPV:  $A_{CP}(J/\psi K^\pm) = 0,001 \pm 0,007$  PDG
  - ▶  $A_{CP}^{RAW}(J/\psi K^\pm) = -0,014 \pm 0,004$  LHCb-CONF-2012-018
- ▶ Então:

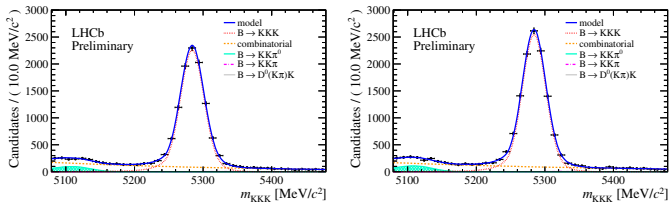
$$A_{CP}(K^\pm h^+ h^-) = A_{CP}^{RAW}(K^\pm h^+ h^-) + 0,014 + 0,001$$

- ▶ Grandeza medida:  $A_{CP}^{RAW} = \frac{N(B^- \rightarrow K^- h^+ h^-) - N(B^+ \rightarrow K^+ h^+ h^-)}{N(B^- \rightarrow K^- h^+ h^-) + N(B^+ \rightarrow K^+ h^+ h^-)}$   
 onde,  $N(B^\pm \rightarrow K^\pm h^+ h^-)$  é o número de  $B^\pm \rightarrow K^\pm h^+ h^-$ .

# $A_{CP}$ do $B^\pm \rightarrow K^\pm \pi^+ \pi^-$ e do $B^\pm \rightarrow K^\pm K^+ K^-$



- ▶  $1 \text{ fb}^{-1}$  : (left plot)  $N(B^-) = 18168 \pm 170$ ; (right plot)  $N(B^+) = 17540 \pm 169$ ;
- ▶  $A_{CP}(K^\pm \pi^+ \pi^-) = +0,034 \pm 0,009(\text{stat}) \pm 0,004(\text{syst}) \pm 0,007(J/\psi K^\pm) \quad 2,8\sigma$
- ▶ Medidas anteriores da B-factories:  $A_{CP}(K^\pm \pi^+ \pi^-) = +0,038 \pm 0,022 \text{ PDG}$



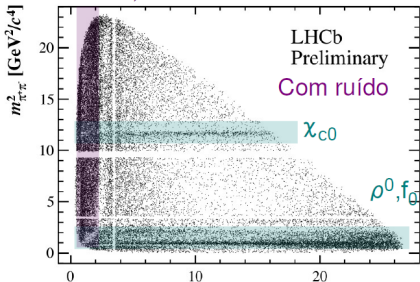
- ▶  $1 \text{ fb}^{-1}$  : (left plot)  $N(B^-) = 10289 \pm 110$ ; (right plot)  $N(B^+) = 11606 \pm 117$ ;
- ▶  $A_{CP}(K^\pm K^+ K^-) = -0,046 \pm 0,009(\text{stat}) \pm 0,005(\text{syst}) \pm 0,007(J/\psi K^\pm) \quad 3,7\sigma$
- ▶ Medidas anteriores da B-factories:  $A_{CP}(K^\pm K^+ K^-) = -0,017 \pm 0,030 \text{ PDG}$

Primeira evidências de CPV global em decaimentos de mésons B em três corpos sem charm.

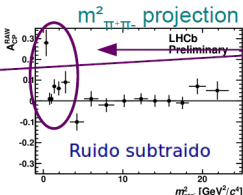
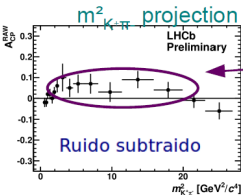
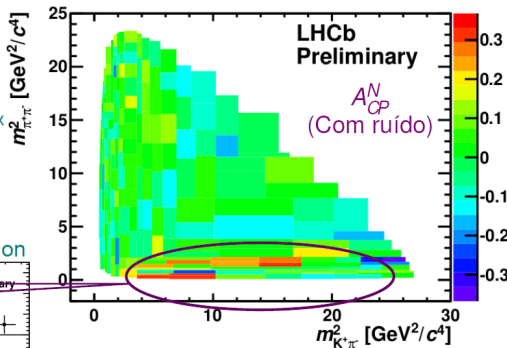


# Dalitz plot do $B^\pm \rightarrow K^\pm \pi^+ \pi^-$

$K^*, K^{*0}$



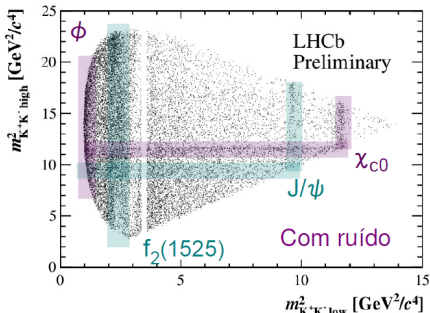
Janela de massa de  $|5283 - m(B)| < 40 \text{ MeV}^2$



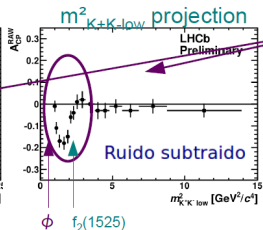
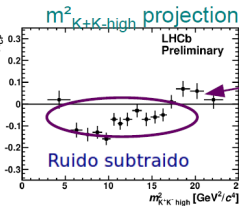
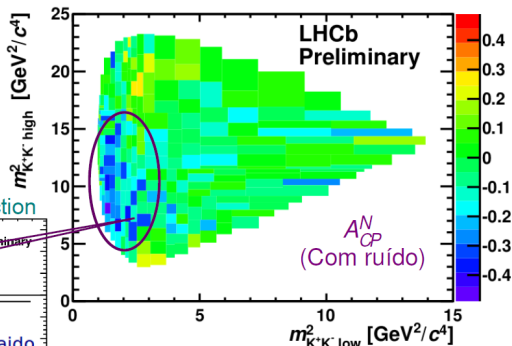
- ▶ Resultados concordam com as *B factories*.
- ▶ Sem indicativo de CPV em  $m^2_{K^\pm \pi^\mp}$
- ▶ **Alto CPV (positivo) em baixos valores de  $m^2_{\pi^+ \pi^-}$ .**

# Dalitz plot do $B^\pm \rightarrow K^\pm K^+ K^-$

LHCb-CONF-2012-018



Janela de massa de  $|5283 - m(B)| < 40 \text{ MeV}^2$



- ▶ Sem resultados nas  $B$  factories.
- ▶ **Alto CPV (negativo):: em baixo  $m^2_{K^+K^- \text{ low}}$**
- ▶ **CPV em  $m^2_{K^+K^- \text{ low}}$  não está claramente associado às ressonâncias.**

$$B^\pm \rightarrow K^+ K^- \pi^\pm \text{ e } B^\pm \rightarrow \pi^\pm \pi^+ \pi^-$$

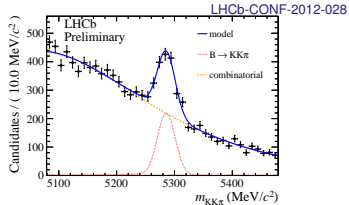
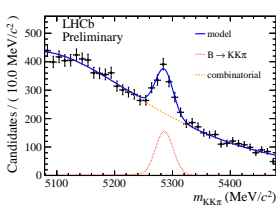
- ▶ Estatística similares e grande quantidade de ruído
- ▶ Mesma seleção exeto por cortes de identificação de partículas e veto de ruído.
- ▶ A assimetria crua ( $A_{CP}^{RAW}$ ) pode ser interpretada como a soma das assimetrias física ( $A_{CP}$ ), produção ( $A_P$ ) e instrumentação ( $A_I$ ).

$$A_{CP}^{RAW}(\pi^\pm h^+ h^-) = A_{CP}(\pi^\pm h^+ h^-) + A_P + A_I$$

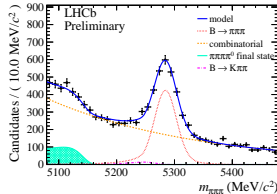
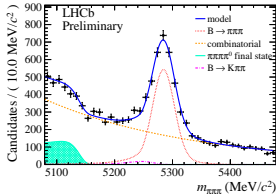
- ▶  $^{ACC}A_{CP}^{RAW}$  é a assimetria crua corrigida pela aceptación do Dalitz plot.
- ▶ Resultados usados de outras análises:
  - ▶  $A_P$  extraída do canal de controle  $B^\pm \rightarrow J/\psi K^\pm$ . LHCb-CONF-2012-018
  - ▶ Uma amostra grande  $D^0 \rightarrow K^\pm \pi^\pm$  e  $D^0 \rightarrow K^+ K^-$  usada para a medida de  $A_I(K^\pm)$ . LHCb: PRL **108** (2012) 201601
  - ▶  $A_I(\pi^\pm)$  extraída de uma grande amostra de  $D^{*\pm}$ . LHCb: PL **B713** (2012) 186
- ▶ Então:

$$A_{CP}(\pi^\pm h^+ h^-) = ^{ACC}A_{CP}^{RAW}(\pi^\pm h^+ h^-) - A_P - A_D^\pi$$

# $A_{CP}$ do $B^\pm \rightarrow K^+K^-\pi^\pm$ e do $B^\pm \rightarrow \pi^\pm\pi^+\pi^-$



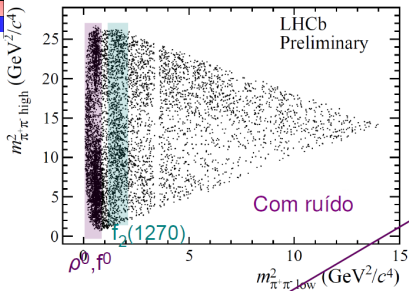
- ▶  $1 \text{ fb}^{-1}$  : (left plot)  $N(B^-) = 619 \pm 47$ ; (right plot)  $N(B^+) = 875 \pm 50$ ;
- ▶  $A_{CP}(K^+K^-\pi^\pm) = -0,153 \pm 0,046(\text{stat}) \pm 0,019(\text{syst}) \pm 0,007(J/\psi K^\pm)$   $3,0\sigma$
- ▶ Medidas anteriores da  $B$ -factories:  $A_{CP}(K^+K^-\pi^\pm) = -0,00 \pm 0,10(\text{stat}) \pm 0,03(\text{syst})$  PDG



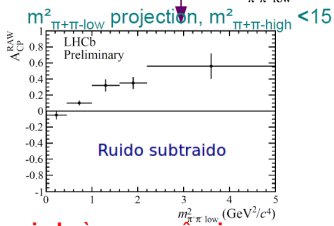
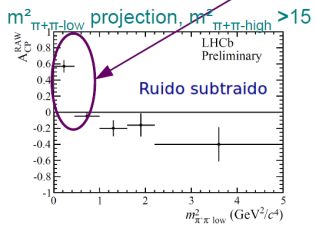
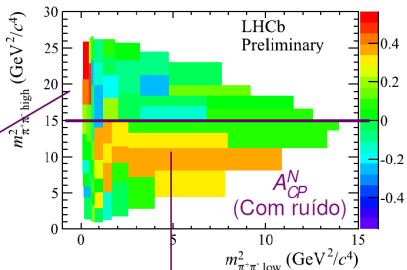
- ▶  $1 \text{ fb}^{-1}$  : (left plot)  $N(B^-) = 2718 \pm 71$ ; (right plot)  $N(B^+) = 2111 \pm 66$ ;
- ▶  $A_{CP}(\pi^\pm\pi^+\pi^-) = +0,120 \pm 0,020(\text{stat}) \pm 0,019(\text{syst}) \pm 0,007(J/\psi K^\pm)$   $4,2\sigma$
- ▶ Medidas anteriores da  $B$ -factories:  $A_{CP}(\pi^\pm\pi^+\pi^-) = +0,032 \pm 0,044(\text{stat}) \pm 0,040(\text{syst})$  PDG

# Dalitz plot do $B^\pm \rightarrow \pi^\pm \pi^+ \pi^-$

LHCb-CONF-2012-028



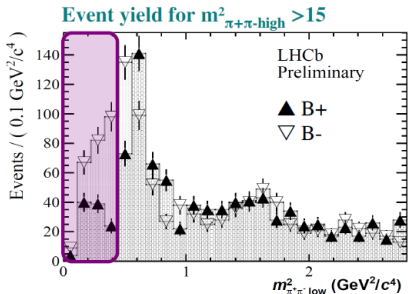
Janela de massa de  $|5283 - m(B)| < 40 \text{ MeV}^2$



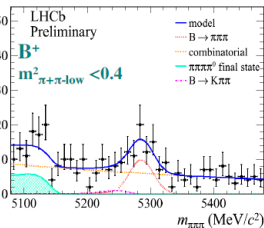
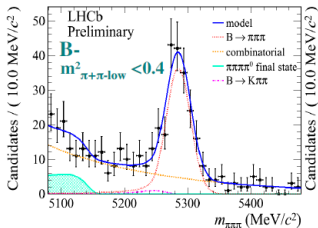
- ▶ Alto CPV (positivo).
- ▶ CPV em  $m^2_{\pi^+\pi^- \text{ low}}$  não está claramente associado às ressonâncias.

# Zoom na região de maior CPV em $B^\pm \rightarrow \pi^\pm \pi^+ \pi^-$

LHCb-CONF-2012-028



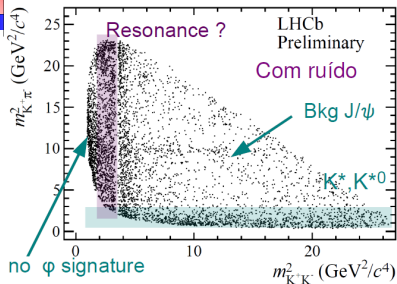
► Alto CPV em uma região do espaço de fase não associado a uma ressonância.



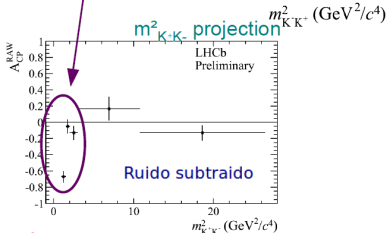
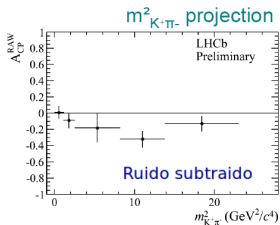
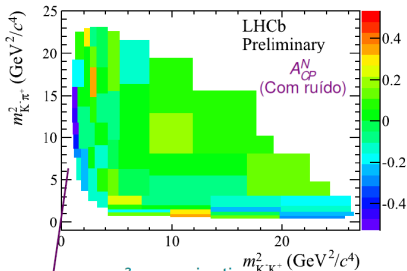
$A_{CP}$  (região de  $\pi^\pm \pi^+ \pi^-$ ) =  $+0,622 \pm 0,075(\text{stat}) \pm 0,032(\text{syst}) \pm 0,007(\text{J}/\psi \text{ K}^\pm)$  7, 6 $\sigma$

# Dalitz plot do $B^\pm \rightarrow K^+ K^- \pi^\pm$

LHCb-CONF-2012-028



Janela de massa de  $|5283 - m(B)| < 40 \text{ MeV}^2$

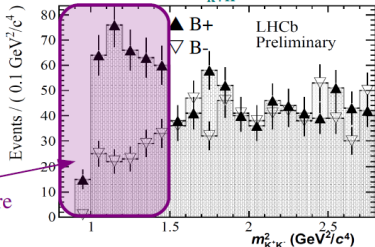


▶ Alto CPV (negativo) em baixos valores de  $m^2_{K^+K^-}$ .

# Zoom na região de maior CPV em $B^\pm \rightarrow K^+ K^- \pi^\pm$

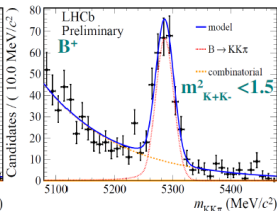
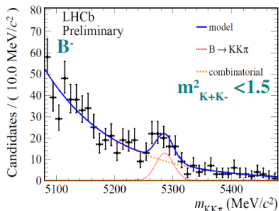
LHCb-CONF-2012-028

Event yield for  $m_{K^+K^-}^2 < 3$



No  $\phi$  signature

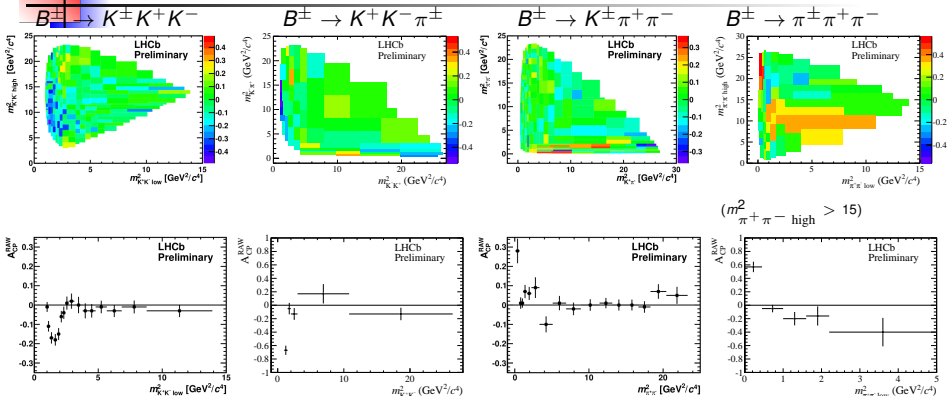
- ▶ Alto CPV em uma região do espaço de fase não associado a uma ressonância.
- ▶ BaBar observou uma estrutura similar em torno de 1,5GeV (ver backup).



$A_{CP}$  (região de  $K^+ K^- \pi^\pm$ ) =  $-0,671 \pm 0,067(\text{stat}) \pm 0,028(\text{syst}) \pm 0,007(J/\psi K^\pm)$   $9,2\sigma$



# Considerações finais



- ▶ CPV não é uniforme no Dalitz plot.
- ▶ As regiões com maior CPV estão a baixa massa.
- ▶ CPV negativa para  $m_{K^+ K^-}^2$  e positiva para  $m_{\pi^+ \pi^-}^2$ .
- ▶ CPV **não** está claramente associada a estruturas ressonantes.
  - ▶ Análises de amplitude futuras precisarão incorporar esta característica.

## Considerações finais (não aprovado pela colaboração)

- ▶ Além da assimetria de  $CP$  proveniente das amplitudes de interferência, deve haver uma assimetria induzida de  $CPT$ .
- ▶ Baseado nesta suposição, Wolfenstein escreveu sua "equação mestra":

$$\langle \bar{A}_\alpha | T | \bar{P} \rangle = e^{i\delta_\alpha} \left[ T_\alpha + \sum_\beta it_{\alpha\beta} T_\beta \right]$$

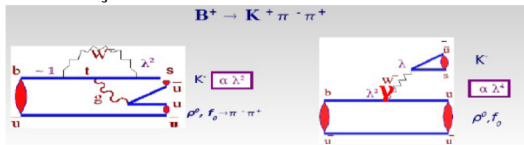
$\swarrow$   $P \rightarrow \alpha$  decay       $\swarrow$  Rescattering  $\beta \rightarrow \alpha$        $\swarrow$   $P \rightarrow \beta$  decay

L. Wolfenstein, *Final state interactions and CP violation in weak decays*, Phys.Rev.D43(1991) 151-156

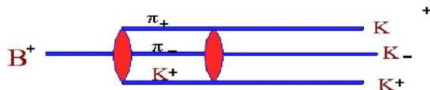
I. I. Bigi, A. I. Sanda, *CP Violation*, 2<sup>nd</sup> edition, Cambridge University Press

- ▶ CPV pode ter duas contribuições:

1. Tree+penguin interference



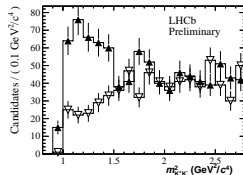
2. Rescattering



- ▶ Os dados sugerem que o re-espalhamento  $\pi^+ \pi^- \rightarrow K^+ K^-$  pode ter um papel importante para CPV.

## Considerações finais (não aprovado pela colaboração)

- ▶ Alguns exemplos de questões em aberto em que uma colaboração com teóricos seria produtiva:
  - ▶ O re-espalhamento  $\pi^+\pi^- \rightarrow K^+K^-$  tem um papel importante na medida de CPV?
  - ▶ O que é a estrutura em  $m_{K^+K^-}^2$  no  $B^\pm \rightarrow K^+K^-\pi^\pm$ ?  
Re-espalhamento?
  - ▶ Que modelo usar na análise de amplitude? (Não foi iniciada ainda.)
    - ▶ CPV não está claramente associada a estruturas ressonantes.
  - ▶ Como interpretar todos os altos valores de CPV? O LHCb forneceu um monte de decaimentos com grande CPV, que precisam ser entendidos, além dos  $B^\pm \rightarrow h^\pm h^+ h^-$ .
- ▶ A análise  $B^\pm \rightarrow h^\pm h^+ h^-$  é responsabilidade do grupo LHCb/Brasil. Por ser toda realizada no país, facilita a interação com os teórico brasileiros interessados.



- ▶ Evidência de CPV em  $B^\pm \rightarrow K^\pm \pi^+ \pi^-$  e  $B^\pm \rightarrow K^\pm K^+ K^-$ . LHCb-CONF-2012-018
 

$A_{CP}(K^\pm \pi^+ \pi^-) = +0,034 \pm 0,009(\text{stat}) \pm 0,004(\text{syst})$	$0,007(J/\psi K^\pm)$	$2,8\sigma$
$A_{CP}(K^\pm K^+ K^-) = -0,046 \pm 0,009(\text{stat}) \pm 0,005(\text{syst}) \pm 0,007(J/\psi K^\pm)$		$3,7\sigma$
  
- ▶ Evidência de CPV em  $B^\pm \rightarrow \pi^\pm \pi^+ \pi^-$  e  $B^\pm \rightarrow K^+ K^- \pi^\pm$ . LHCb-CONF-2012-028
 

$A_{CP}(\pi^\pm \pi^+ \pi^-) = +0,120 \pm 0,020(\text{stat}) \pm 0,019(\text{syst})$	$0,007(J/\psi K^\pm)$	$4,2\sigma$
$A_{CP}(K^+ K^- \pi^\pm) = -0,153 \pm 0,046(\text{stat}) \pm 0,019(\text{syst}) \pm 0,007(J/\psi K^\pm)$		$3,0\sigma$
  
- ▶ Observação de alto CPV em regiões de Dalitz plot:
 

$A_{CP}(\text{reg. } \pi^\pm \pi^+ \pi^-) = +0,622 \pm 0,075(\text{stat}) \pm 0,032(\text{syst}) \pm 0,007(J/\psi K^\pm)$	$7,6\sigma$
$A_{CP}(\text{reg. } K^+ K^- \pi^\pm) = -0,671 \pm 0,067(\text{stat}) \pm 0,028(\text{syst}) \pm 0,007(J/\psi K^\pm)$	$9,2\sigma$

Resultados apresentados hoje são com  $\int \mathcal{L} dt = 1 \text{ fb}^{-1}$  adquirido em 2011.  
 Em 2012 já temos  $\int \mathcal{L} dt > 2.0 \text{ fb}^{-1}$  salvo em fita a serem somados aos dados apresentados hoje.

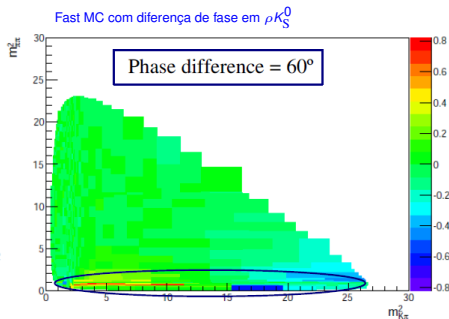
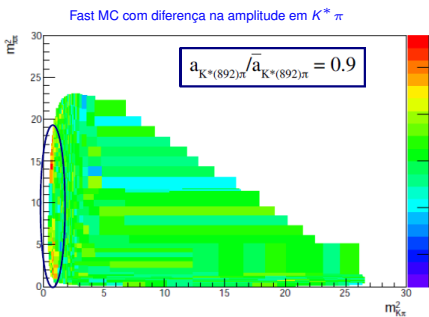
Os resultados publicados e outras informações sobre o que é produzido pelo grupo LHCb/CBPF, você pode encontrar na nossa página:

<http://www.cbpf.br/lhcb>

Pois backups as vezes são necessários...



- ▶ A análise de amplitude tem uma característica específica:
  - ▶ Diferença na amplitude de uma ressonância implica em uma diferença no número total de eventos para a ressonância.
  - ▶ Diferença na fase fraca para um ressonância implica numa mudança na forma da banda da ressonância no espaço de fase.
- ▶ Os dois efeitos podem ser vistos onde a ressonância existe.



Figuras extraídas de: I. Bediaga et al, PR **D86**, (2012) 036005

- ▶ Outros fatores podem influenciar na medida de CPV nos decaimentos  $B^\pm \rightarrow h^\pm h^+ h^-$ .
- ▶ Por exemplo, o teorema de CPT implica em:

From CPT theorem

$$\sum_{f_\alpha^{(i)} \in F_i} \Gamma(P \rightarrow f_\alpha^{(i)}) = \sum_{\bar{f}_\alpha^{(i)} \in \bar{F}_i} \Gamma(\bar{P} \rightarrow \bar{f}_\alpha^{(i)})$$

In  $F_i$  all  $f_\alpha$  are connected via strong interactions

I. I. Bigi, A. I. Sanda, "CP Violation", 2<sup>nd</sup> edition, Cambridge University Press, 2009.

- ▶ Como um exemplo, consideremos o decaimento do kaon:

$$\begin{aligned} \Gamma(K^+ \rightarrow 3\pi) &\equiv \Gamma(K^+ \rightarrow \pi^+ \pi^+ \pi^-) + \Gamma(K^+ \rightarrow \pi^0 \pi^0 \pi^+) \\ &= \Gamma(K^- \rightarrow \pi^- \pi^- \pi^+) + \Gamma(K^- \rightarrow \pi^0 \pi^0 \pi^-) \equiv \Gamma(K^- \rightarrow 3\pi) \end{aligned}$$

Marshak et. al, "Theory of weak interaction in particle physics", Wiley & Sons, 1969.

- ▶ Alguns excessos (ou deficit) de  $K^+ \rightarrow \pi^+ \pi^+ \pi^-$  em respeito ao  $K^- \rightarrow \pi^- \pi^- \pi^+$  pode ser balanceado se os modos do  $\rho^0$  são incluídos na análise.
- ▶ Devido ao teorema de CPT, temos de pensar todos os estados finais juntos, para poder entender a distribuição de CPV no Dalitz plot.

$$B^\pm \rightarrow K^\pm \pi^+ \pi^- \text{ e } B^\pm \rightarrow K^\pm K^+ K^-$$

- ▶ A seleção explora a topologia do decaimento
  - ▶ Traços com alto momento e momento transverso
  - ▶ Traços com alto parâmetro de impacto em relação ao ponto de interação
  - ▶ Candidato a B com grande distância de voo, momento e parâmetro de impacto em relação ao ponto de interação.
  
- ▶ Identificação de partícula é usado para separar káons de píons e vetar múons.
  
- ▶ Amostras diferentes baseadas na decisão de trigger são usadas para a medida.
  
- ▶ O  $B^\pm \rightarrow K^\pm \pi^+ \pi^-$  está conectado ao  $B^\pm \rightarrow K^\pm K^+ K^-$  através do estado final de interação  $\pi^+ \pi^- \rightarrow K^+ K^-$ . [Surovtsev, et. al: PR D81 \(2010\) 016001](#)
  
- ▶ A mesma seleção é usada nos dois canais para identificação de partícula e veto de ruído.
  
- ▶ Observável:

$$A_{CP} = \frac{\Gamma(B^- \rightarrow f) - \Gamma(B^+ \rightarrow f)}{\Gamma(B^- \rightarrow f) + \Gamma(B^+ \rightarrow f)}$$



- ▶ A assimetria crua ( $A_{CP}^{RAW}$ ) pode ser interpretada como

$$A_{CP}^{RAW}(K^{\pm}h^{+}h^{-}) = A_{CP}(K^{\pm}h^{+}h^{-}) + A_P(B^{\pm}) + A_I(K^{\pm})$$

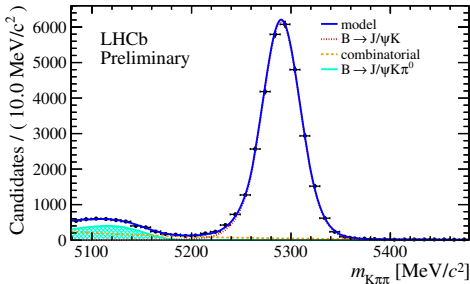
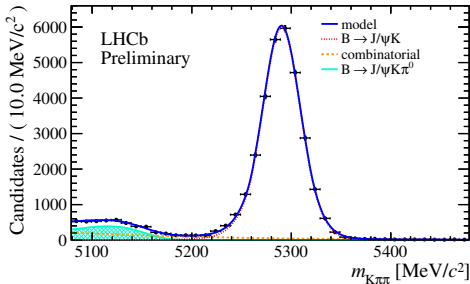
onde

- ▶  $A_{CP}$  é a assimetria física
- ▶  $A_P$  é a assimetria de produção de  $B^{+}/B^{-}$ .
- ▶  $A_I(K^{\pm})$  é a assimetria de instrumentação que engloba a detecção de káons e reconstrução.
- ▶ O canal  $B^{\pm} \rightarrow J/\psi K^{\pm}$  é usado para extrair a assimetria de  $A_I$  e  $A_P$ :
  - ▶ Tem a mesma topologia dos canais  $B^{\pm} \rightarrow h^{\pm}h^{+}h^{-}$ .
  - ▶  $A_P$  é independente do estado final
  - ▶ Não tem CPV:  $A_{CP}(J/\psi K^{\pm}) = 0,001 \pm 0,007$  PDG
  - ▶ Mesma seleção é aplicada.
  - ▶ Erro estatístico do PDG será considerado em separado já que não é medido pelo LHCb.
- ▶ Então:

$$A_P(B^{\pm}) + A_I(K^{\pm}) = A_{CP}^{RAW}(J/\psi K^{\pm}) - A_{CP}(J/\psi K^{\pm})$$

onde  $A_{CP}^{RAW}(J/\psi K^{\pm}) = -0,014 \pm 0,004$  LHCb-CONF-2012-018

$$A_{CP}(K^{\pm}h^{+}h^{-}) = A_{CP}^{RAW}(K^{\pm}h^{+}h^{-}) + 0,014 + 0,001$$

$B^- : 30140 \pm 179$ 
 $B^+ : 30984 \pm 182$ 


- ▶ Mesma seleção que os canais estudados, a menos dos cortes de indentificação de partículas.

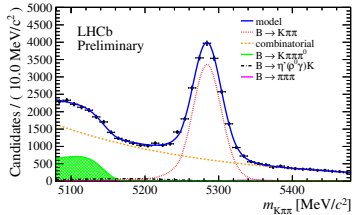
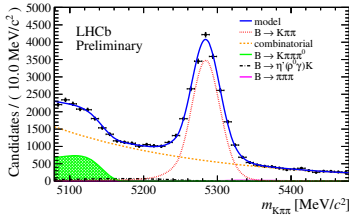
$$A_{CP}^{RAW} = \frac{N(B^-) - N(B^+)}{N(B^-) + N(B^+)} = A_{CP}^{RAW}(J/\psi K^\pm) = -0,014 \pm 0,004$$

$A_{CP}^{RAW}$  do  $B^\pm \rightarrow K^\pm \pi^+ \pi^-$  e do  $B^\pm \rightarrow K^\pm K^+ K^-$

LHCb-CONF-2012-018

$B^- : 18168 \pm 170$

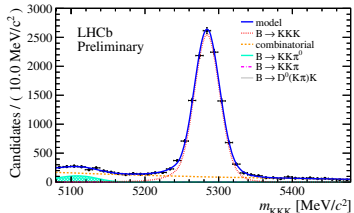
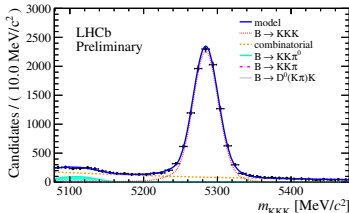
$B^+ : 17540 \pm 169$



$$A_{CP}^{RAW}(B^\pm \rightarrow K^\pm \pi^+ \pi^-) = +0,018 \pm 0,007$$

$B^- : 10289 \pm 110$

$B^+ : 11606 \pm 117$



$$A_{CP}^{RAW}(B^\pm \rightarrow K^\pm K^+ K^-) = -0,060 \pm 0,007$$

- ▶ A principal fonte de incerteza sistemática são:
  - ▶ Método de subtração: variáveis cinemáticas do káon a partir do canal de controle foram pesado para compatibilizar a mesma distribuição do káon do sinal.
  - ▶ Correção de trigger: a medida foi executada usando amostras das diferentes amostras de trigger.
- ▶ Resultado final:

$$A_{CP}(K^\pm \pi^+ \pi^-) = +0,034 \pm 0,009(\text{stat}) \pm 0,004(\text{syst}) \pm 0,007(J/\psi K^\pm) \quad 2,8\sigma$$
$$A_{CP}(K^\pm K^+ K^-) = -0,046 \pm 0,009(\text{stat}) \pm 0,005(\text{syst}) \pm 0,007(J/\psi K^\pm) \quad 3,7\sigma$$

- ▶ Medidas anteriores:  
 $A_{CP}(K^\pm \pi^+ \pi^-) = +0,038 \pm 0,022$  PDG  
 $A_{CP}(K^\pm K^+ K^-) = -0,017 \pm 0,030$  PDG

Primeira evidências de CPV global em decaimentos de mésons B em três corpos sem charm.

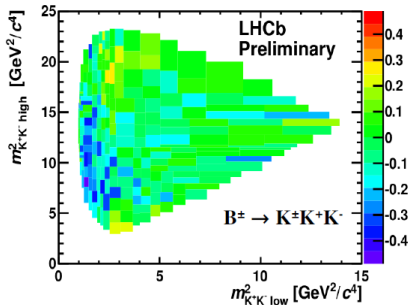
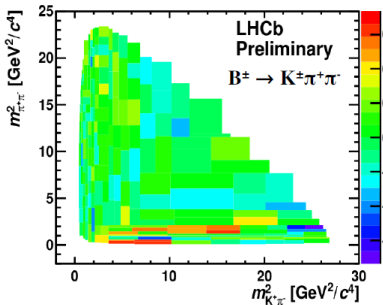
# Dalitz plot do $B^\pm \rightarrow K^\pm \pi^+ \pi^-$ e do $B^\pm \rightarrow K^\pm K^+ K^-$

LHCb-CONF-2012-018

- ▶ Método criado pelo grupo para atacar o Dalitz plot:
  - ▶ Uma binagem adaptativa é aplicada para definir os bins iguais números de entradas para a amostra total.
  - ▶ Assimetria por bin (incluindo ruído):

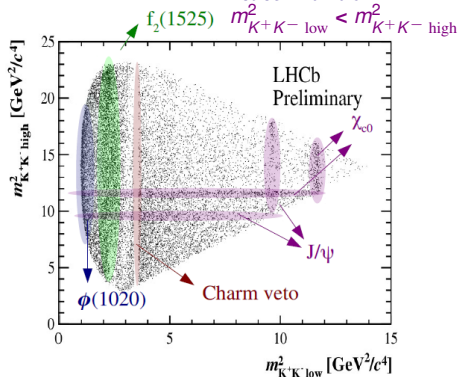
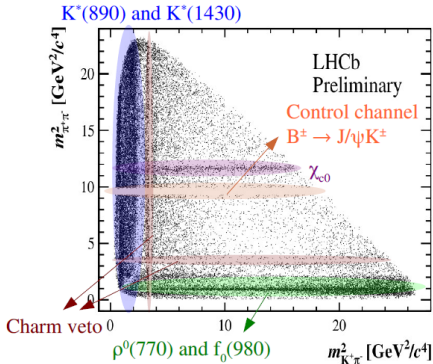
$$A_{CP}^N(s, b) = \frac{(s + b)^- - (s + b)^+}{(s + b)^- + (s + b)^+}$$

- ▶  $A_{CP}^N$  calculado em cada bin:



# Dalitz plot do $B^\pm \rightarrow K^\pm \pi^+ \pi^-$ e do $B^\pm \rightarrow K^\pm K^+ K^-$

LHCb-CONF-2012-018



- ▶ Espaço de fase sem  $B$  mass constraint.
- ▶ Espaço de fase sem subtração de ruído.
- ▶ Contribuição do méson  $D^0$  removida.
- ▶ Contribuição do  $J/\psi$  removida da amostra do  $B^\pm \rightarrow K^\pm \pi^+ \pi^-$  por ser o canal de controle.
- ▶ Eficiência é plana em todo o Dalitz plot.
- ▶ Janela de massa de  $|5283 - m(B)| < 40 \text{ MeV}^2$



$$B^\pm \rightarrow \pi^\pm \pi^+ \pi^- \text{ e } B^\pm \rightarrow K^+ K^- \pi^\pm$$

- ▶ Mesma seleção que foi aplicada na análise do  $B^\pm \rightarrow K^\pm \pi^+ \pi^-$  e  $B^\pm \rightarrow K^\pm K^+ K^-$ .
- ▶ Identificação de partícula é usado para separar káons de píons e vetar múons.
- ▶ Amostras diferentes baseadas na decisão de trigger são usadas para a medida.
- ▶ Estatística menor e com mais ruído.
- ▶ A mesma seleção é usada nos dois canais para identificação de partícula e veto de ruído.
- ▶ Assimetria de instrumentação e produção:
  - ▶ Número par de káons
  - ▶ Assimetria de instrumentação para píons extraída de uma amostra grande de  $D^*$ .
  - ▶ Assimetria de produção do  $B^\pm$  extraída usando resultados da análise anterior.

- ▶ A assimetria crua ( $A_{CP}^{RAW}$ ) pode ser interpretada como

$$A_{CP}^{RAW}(\pi^\pm h^+ h^-) = A_{CP}(\pi^\pm h^+ h^-) + A_P + A_I$$

onde

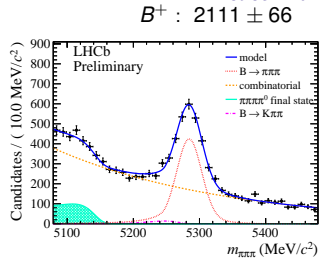
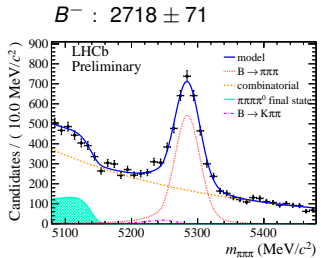
- ▶  $A_{CP}$  é a assimetria física
  - ▶  $A_P$  é a assimetria de produção de  $B^+/B^-$ .
  - ▶  $A_I$  é a assimetria de instrumentação que engloba a detecção e reconstrução.
  - ▶  $A_{CP}^{RAW}$  é a assimetria crua corrigida pela aceitação do Dalitz plot.
- 
- ▶ Resultados usados de outras análises:
    - ▶  $A_P$  extraída do canal de controle  $B^\pm \rightarrow J/\psi K^\pm$ . LHCb-CONF-2012-018
    - ▶ Uma amostra grande  $D^0 \rightarrow K^\pm \pi^\pm$  e  $D^0 \rightarrow K^+ K^-$  usada para a medida de  $A_I$  ( $K^\pm$ ).  
LHCb: PRL **108** (2012) 201601
    - ▶  $A_I$  ( $\pi^\pm$ ) extraída de uma grande amostra de  $D^{*\pm}$ . LHCb: PL **B713** (2012) 186



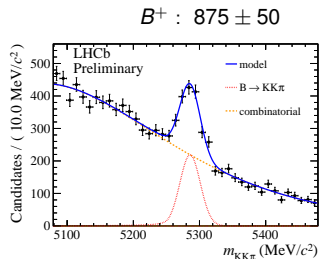
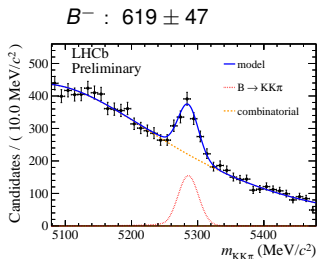


# $A_{CP}^{RAW}$ do $B^\pm \rightarrow \pi^\pm \pi^+ \pi^-$ e do $B^\pm \rightarrow K^+ K^- \pi^\pm$

LHCb-CONF-2012-028



$$A_{CP}^{RAW}(B^\pm \rightarrow \pi^\pm \pi^+ \pi^-) = +0,125 \pm 0,020$$



$$A_{CP}^{RAW}(B^\pm \rightarrow K^+ K^- \pi^\pm) = -0,171 \pm 0,046$$

- ▶ A principal fonte de incerteza sistemática são:
  - ▶ Aceptância: a aceptância sobre o Dalitz plot foi corrigida para a eficiência de detecção e reconstrução de  $B^+$  e  $B^-$ .
  - ▶ Cinemática do káon:  $A_{CP}^{RAW}(J/\psi K^\pm)$  em bins do momento do káon é pesado pela razão das eficiências de  $K^+$  e  $K^-$  extraído da amostra de  $D^0 \rightarrow K^+ K^-$ .
- ▶ Resultado final:

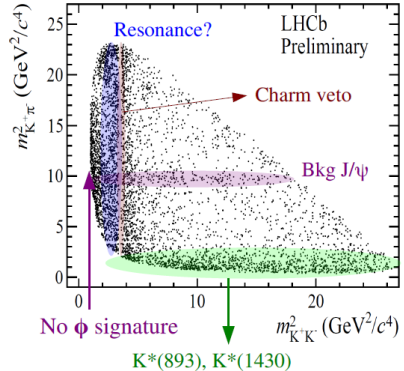
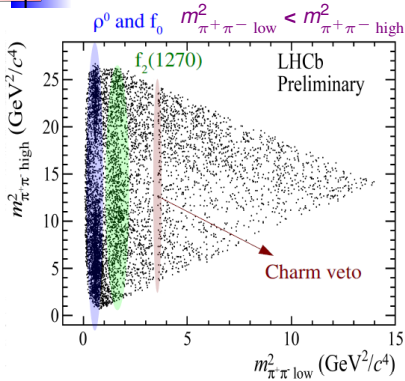
$$A_{CP}(\pi^\pm \pi^+ \pi^-) = +0,120 \pm 0,020(\text{stat}) \pm 0,019(\text{syst}) \pm 0,007(J/\psi K^\pm) \quad 4,2\sigma$$

$$A_{CP}(K^+ K^- \pi^\pm) = -0,153 \pm 0,046(\text{stat}) \pm 0,019(\text{syst}) \pm 0,007(J/\psi K^\pm) \quad 3,0\sigma$$

- ▶ Medidas anteriores:
  - $A_{CP}(\pi^\pm \pi^+ \pi^-) = +0,032 \pm 0,044(\text{stat}) \begin{smallmatrix} +0,040 \\ -0,037 \end{smallmatrix}(\text{syst})$  PDG
  - $A_{CP}(K^+ K^- \pi^\pm) = -0,00 \pm 0,10(\text{stat}) \pm 0,03(\text{syst})$  PDG

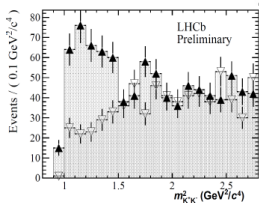
# Dalitz plot do $B^\pm \rightarrow \pi^\pm \pi^+ \pi^-$ e do $B^\pm \rightarrow K^+ K^- \pi^\pm$

LHCb-CONF-2012-028



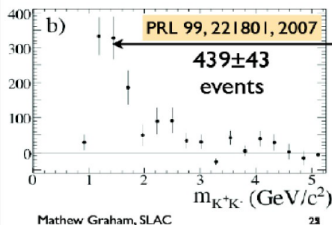
- ▶ Espaço de fase sem  $B$  mass constraint.
- ▶ Espaço de fase sem subtração de ruído.
- ▶ Contribuição do méson  $D^0$  removida.
- ▶ Eficiência é plana em todo o Dalitz plot.
- ▶ Janela de massa de  $|5283 - m(B)| < 40 \text{ MeV}^2$

- ▶ BaBar obtem resultados similares (porém eles não dividem em  $B^+$  e  $B^-$ ):



Surprisingly large rate seen in  $B^+ \rightarrow K^+ K^- \pi^+$ ; no evidence for  $\phi \pi^+$

$$\mathcal{B}(B^+ \rightarrow K^+ K^- \pi^+) = (5.0 \pm 0.5 \pm 0.5) \times 10^{-6}$$



~ 1/2 of the events seen at low  $K^+ K^-$  mass; structure at ~1.5 GeV?  
Similar broad structures seen in  $K^+ K^- K^+ / K^+ K^- K_S$  and  $\pi^+ \pi^- K^+ / \pi^+ \pi^- K_S$

What about  $K_S K_S \pi^+$ ?

Matt Graham  
SLAC  
on behalf of the BaBar Collaboration  
February 12, 2009  
Aspen Winter Conference