

Ouestões gerais sobre violação de EP



Condições de Sakharov

Para a produção da assimetria entre a matéria e a antimatéria, observada no universo atual, são necessárias duas condições:

- O número bariônico ser violado.
- ◆ Violação de C e de CP

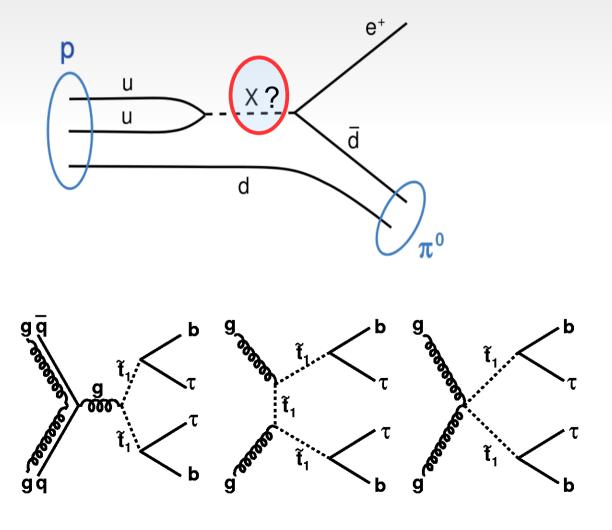
Estas duas condições seriam possíveis, segundo Sakharov, somente em um sistema fora do equilíbrio termodinâmico, ou seja no Universo em forte expansão.

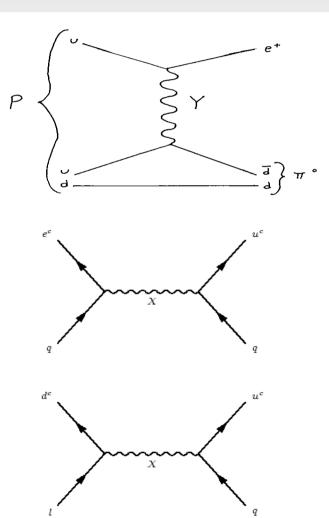




Violação do número Bariônico

Processos onde: o número de quarks, menos o número de anti-quarks, é diferente entre o estado inicial e final.





Resultados Experimentais

	Partial mean life		Antilepton + mesons
p DECAY MODES	(10 ³⁰ years) Co	,	> 82
		$p \rightarrow e^+ \pi^0 \pi^0$	> 147
	lepton + meson	$n \rightarrow e^+\pi^-\pi^0$	> 52
$N \rightarrow e^+ \pi$	> 158 (n), > 1600 (p)	$p \to \mu^{+} \pi^{+} \pi^{-}$	> 133
$N \rightarrow \mu^+ \pi$	> 100 (n), > 473 (p)	$p \to \mu^+ \pi^0 \pi^0$	> 101
$N \rightarrow \nu_{\pi}$	> 112 (n), > 25 (p)	$n \rightarrow \mu^+ \pi^- \pi^0$	> 74
$ ho ightarrow e^+ \eta$	> 313	$n \rightarrow e^+ K^0 \pi^-$	> 18
$p \rightarrow \mu^+ \eta$	> 126		Lepton + meson
$n \rightarrow \nu \eta$	> 158	$n \rightarrow e^{-}\pi^{+}$	> 65
$N ightarrow e^+ ho$	> 217 (n), > 75 (p)	$n \rightarrow \mu^- \pi^+$	> 49
$N \rightarrow \mu^+ \rho$	> 228 (n), > 110 (p)	$n \rightarrow e^- \rho^+$	> 62
$N \rightarrow \nu \rho$	> 19 (n), > 162 (p)	$n \rightarrow \mu^- \rho^+$	> 7
$p \rightarrow e^+ \omega$	> 107	$n \rightarrow e^{-}K^{+}$	> 32
$p \rightarrow \mu^+ \omega$	> 117	$n \rightarrow \mu^- K^+$	> 57
$n \rightarrow \nu \omega$	> 108		Lepton + mesons
$N \rightarrow e^+ K$	> 17 (n)	$p \rightarrow e^-\pi^+\pi^+$	> 30
$p \rightarrow e^+ K_S^0$	> 120	$n \rightarrow e^- \pi^+ \pi^0$	> 29
$p \rightarrow e^+ K_I^{\bar{0}}$	> 51	$p \rightarrow \mu^- \pi^+ \pi^+$	> 17
$N \rightarrow \mu^+ K$	> 26 (n)	$n \rightarrow \mu^- \pi^+ \pi^0$	> 34
$p \rightarrow \mu^+ K_S^0$	> 150	$p \rightarrow e^-\pi^+K^+$	> 75
$p \rightarrow \mu^+ K_I^0$	> 83	$p \rightarrow \mu^- \pi^+ K^+$	> 245
$N \rightarrow \nu K$	> 86 (n)		Antilepton + photon(s)
$n \rightarrow \nu K_S^0$	> 51	$p \rightarrow e^+ \gamma$	> 670
$p \to e^+ K^* (892)^0$	> 84	$p \rightarrow \mu^+ \gamma$	> 478
$N \rightarrow \nu K^*(892)$	> 78 (n)	$n \rightarrow \nu \gamma$	> 28
(002)	> 10 (n);	$p \rightarrow e^+ \gamma \gamma$	> 100
		$n \rightarrow \nu \gamma \gamma$	> 219

Aparentemente somente em sistemas fora do equilíbrio

tormodinâmico



Condições de Sakharov

Para a produção da assimetria entre a matéria e a antimatéria, observada no universo atual, são necessárias duas condições:

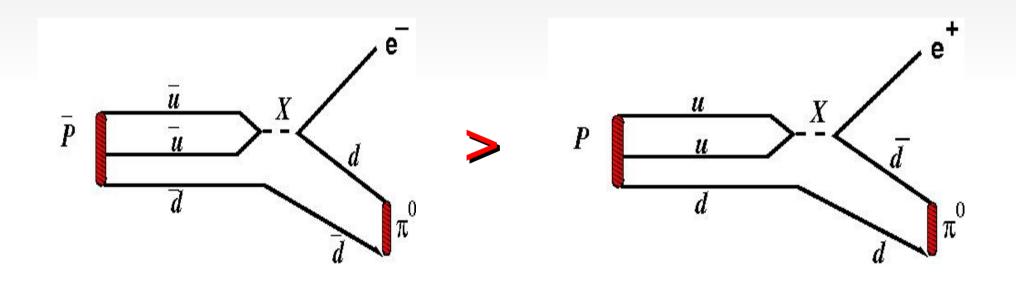
- O número bariônico ser violado.
- ◆ Violação de C e de CP.

Estas duas condições seriam possíveis, segundo Sakharov, somente em um sistema fora do equilíbrio termodinâmico, ou seja no Universo em forte expansão.

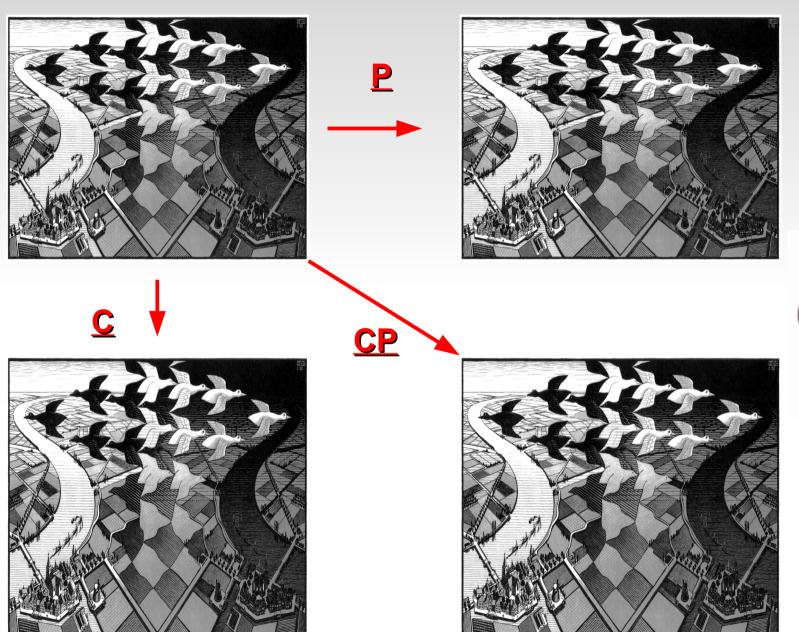


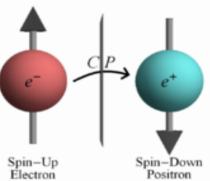
2º condição: Violação de P

Anti-próton decai com maior probabilidade que o próton.

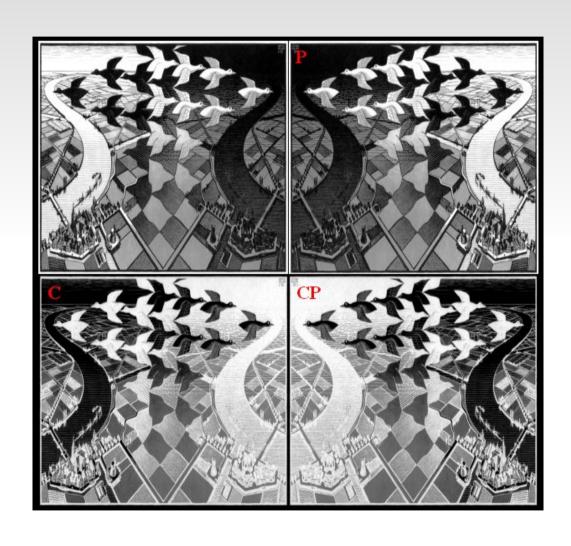


Simetria de CP

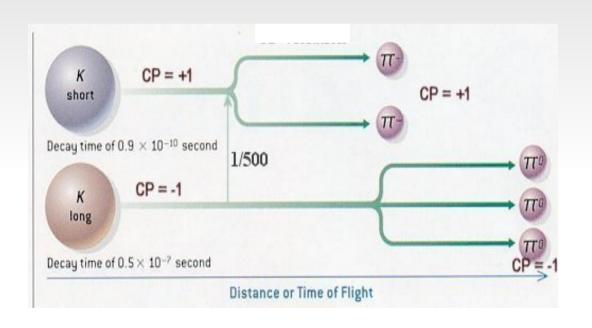


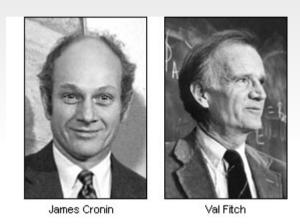


Violação da simetria de CP



<u>Observação de Violação da Simetria de ÇP:</u>





1/500 dos K_{long} se desintegravam em 2 pions, violando CP.

Violação de CP e o teorema de CPT

A conservação conjunta da paridade **P**, conjugação de carga **C** e reversão temporal **T**, conhecida por CPT, é valida para qualquer teoria invariante de Lorentz, onde os observáveis são operadores hermitianos. (Greengerg PRL89 (2002) 231602).

OP implica em violação de T : Irreversibility!!!!

Conservação de CPT

→ Mesma massa e vida média entre

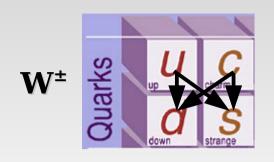
- partícula e a sua anti-partícula.

Transformação temporal é descrita por uma operação antiunitária e complexa do tipo $T i T^{-1} = -i$:

<u>CP violation</u> → T violation <u>phase</u>

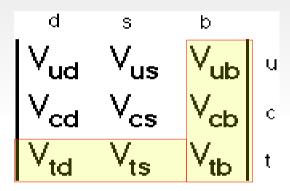
Que muda de sinal com a conjugação de carga.

Kobayashi-Maskawa Nobel de 2008

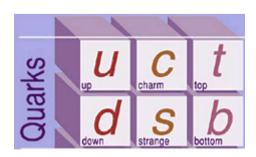


Interações fracas: Matriz de Cabibbo de mistura 2X2: não permite violação de CP, falta o termo complexo.

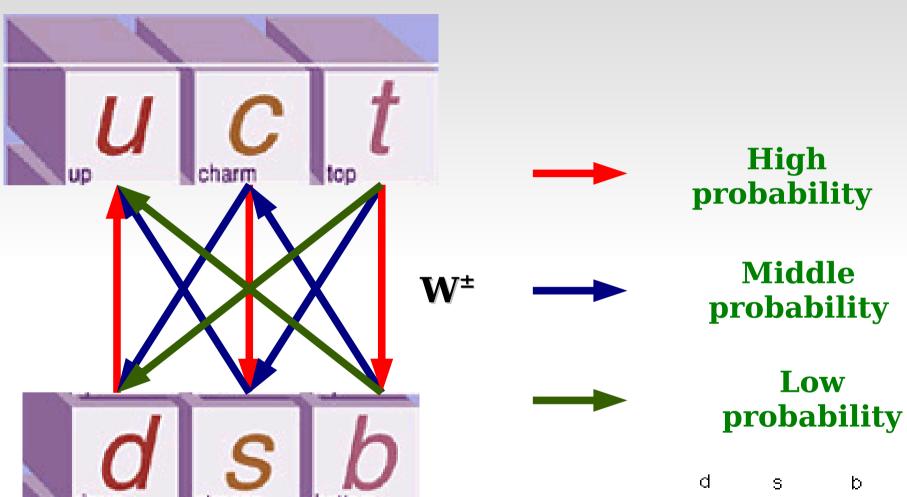
2 → 3 famílias de quarks Matriz de mistura 2X2 ⇒ 3X3, permite um termo complexo que poderia explicar a violação de CP



Kobayashi e Maskawa propuseram dois novos quarks o **b** e **t**

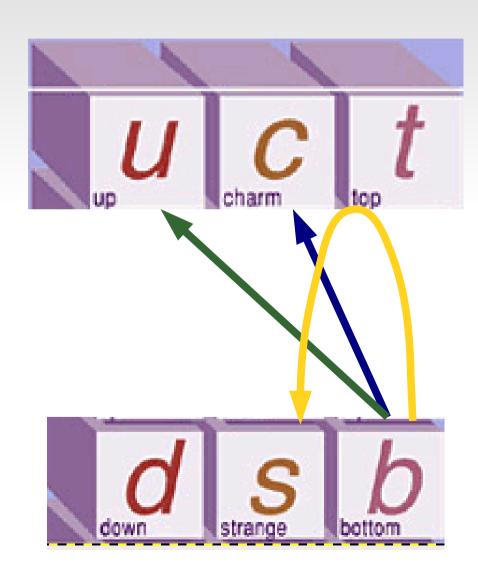


<u>Matriz de</u> <u>Cabbibo Kobayashi Maskawa (CKM)</u>



<u>Cabibbo Kobayashi-Maskawa:</u> <u>4 parâmetros, 3 ângulos e uma fase.</u>

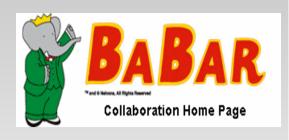
Quark b: maior fonte de violação de CP



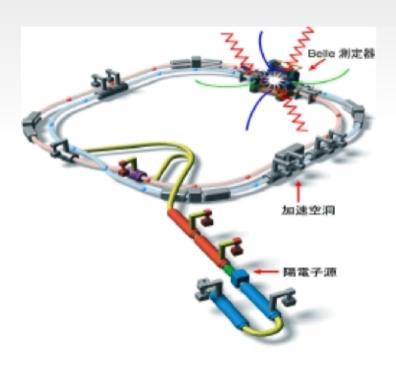
Decaimentos de partículas envolvendo o quark b, apresentam forte componente de violação de CP



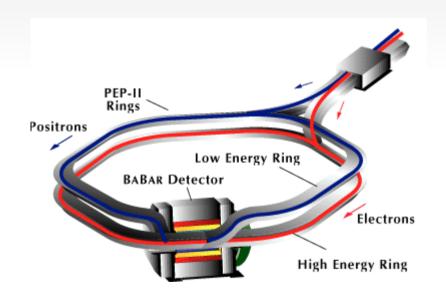
Belle and BaBar Collaborations



KEK Japão

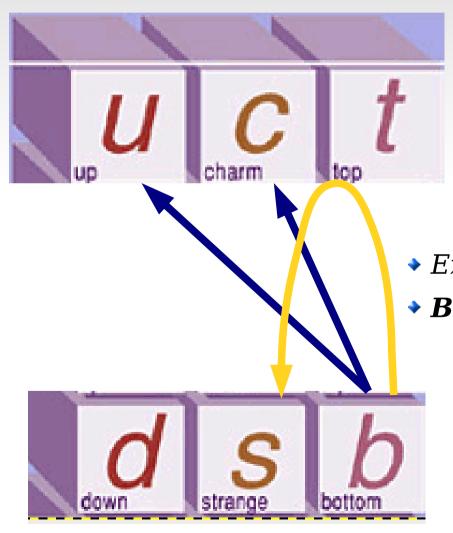


PEP II- Stanford-EUA



657 millions of B's mesons 383 millions of B's mesons

Quark b: maior fonte de violação de LP



Decaimentos de partículas envolvendo o quark b, apresentam forte componente de violação de CP





Exemplo: Assimetria direta de CP

▶
$$B^0$$
 -> K^+ π^- ACP = -9.7 ± 1.2 %

Observação de Violação da Simetria de <u>CP</u>

- Violação de CP nos decaimentos dos mésons K's e B's, podem ser explicados pelo Modelo Padrão
 - Entretanto ela n\u00e3o explica toda a viola\u00e7\u00e3o de CP necess\u00e1ria para entender a assimetria mat\u00e9ria anti-mat\u00e9ria do Universo

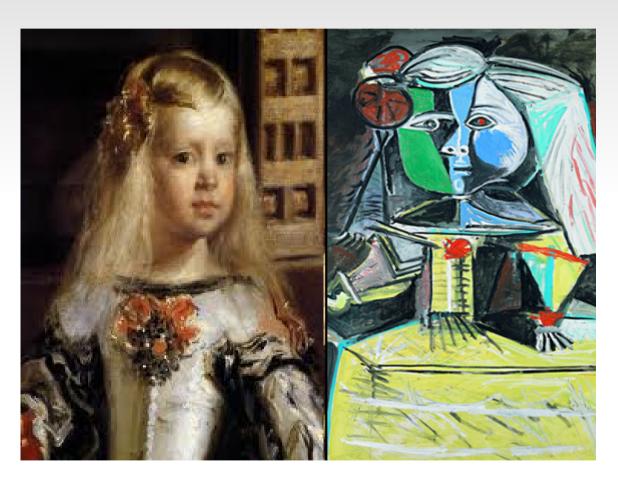
Universe:
$$\frac{N_{\rm B} - N_{\rm \overline{B}}}{N_{\rm B} + N_{\rm \overline{B}}} = 10^{-9} \sim 10^{-10}$$

Standard Model:
$$\frac{N_{\rm B} - N_{\rm \overline{B}}}{N_{\rm B} + N_{\rm \overline{B}}} = \sim 10^{-20}$$

 Novas fontes de violação de CP são necessárias



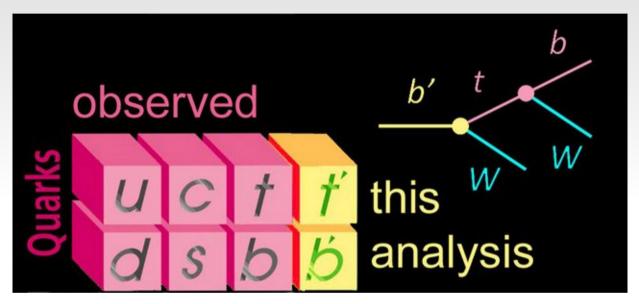
Necessária uma nova fonte importante de violação de CP



Las Meninas de Velásquez a Picasso



Novas fontes de violação de **P** no equilíbrio termodinâmico?



Nova matriz de Cabibbo-Kobayashi-Maskawa



$$V_{CKM}^{4 imes 4} = egin{pmatrix} V_{ud} & V_{us} & V_{ub} & V_{ud_4} \ V_{cd} & V_{cs} & V_{cb} & V_{cd_4} \ V_{td} & V_{ts} & V_{tb} & V_{td_4} \ V_{u_4d} & V_{u_4s} & V_{u_4b} & V_{u_4d_4} \end{pmatrix}$$

<u>Cabibbo Kobayashi-Maskawa:</u>
<u>4 parameters, 3 angles and one phase.</u>
<u>9 parameters, 6 angles and 3phases.</u>

Dinâmica da violação de violação

Processo dinâmicos de violação de CP

Transformação temporal é descrita por uma operação antiunitária e complexa do tipo T i $T^{-1} = -i$:

<u>CP violation</u> → T violation <u>phase</u>

Que muda de sinal com a conjugação de carga.

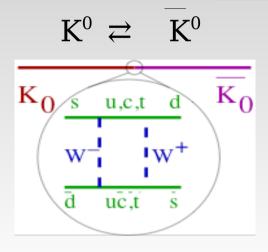
<u>Objetivo:</u>

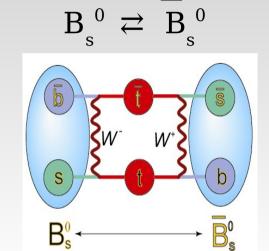
Buscar por processos dinâmicos que gerem interferências entre duas amplitude, com diferentes fases fracas.

Método em geral independe se a violação de P é proveniente ou não do modelo padrão.



Oscilação partícula antipartícula e violação de C.





Master Equation (P.ex. $\pi^+\pi^-$ ou K⁺K⁻):

$$<\alpha \mid T(t) \mid P^{0}> = e^{-(\Gamma/2-i\Delta mt)} [T(P^{0}\rightarrow\alpha)\cos\Delta mt + q/p T(\overline{P}^{0}\rightarrow\alpha)\sin\Delta mt]$$

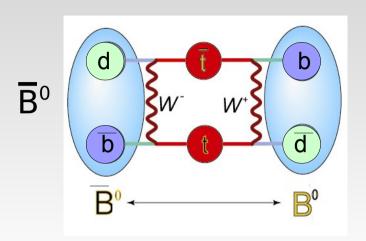
$$<\alpha \mid T(t) \mid \overline{P}^{0}> = e^{-(\Gamma/2-i\Delta mt)} [T(\overline{P}^{0}\rightarrow\alpha)\cos\Delta mt + p/q T(P^{0}\rightarrow\overline{\alpha})\sin\Delta mt]$$

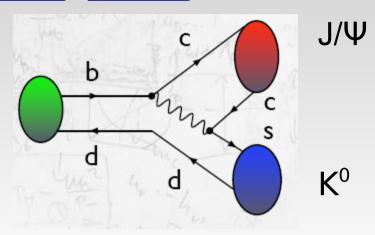
Se q/p ≠ p/q → violação de **GP**.

 Δm parâmetro de oscilação: diferença de massa entre o B^0 e o $B^{\overline{0}}$ $\Delta m = 17.7 \pm 0.08 \ 10^{12} \ s^{-1}$ para o B_s^0 e $\Delta m = 1.2 \pm 0.5 \ 10^{10} \ s^{-1}$ para o D^0



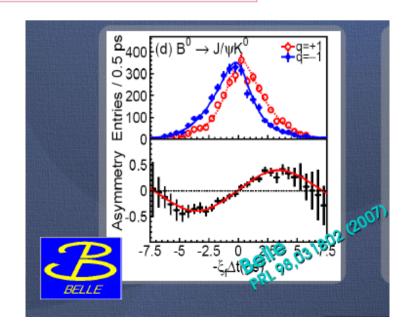
Dinâmica de violação de CP: oscilação do $B^0 \rightleftarrows \overline{B}^0$





$$\frac{\Gamma(B^{0}(t) \to J/\psi K_{S}) - \Gamma(\bar{B}^{0}(t) \to J/\psi K_{S})}{\Gamma(B^{0}(t) \to J/\psi K_{S}) + \Gamma(\bar{B}^{0}(t) \to J/\psi K_{S})} = sen(2\beta)sen(\Delta mt)$$

 $\Gamma\left(B^{0}\left(t\right)\to J/\Psi\ K_{s}\right)\equiv|< J/\Psi\ K_{s}\ |\ T(t)\ |\ P^{0}>|^{2}$ é a probabilidade do B^{0} decair no estado final $J/\Psi\ K_{s}$ no tempo t.



 $\sin 2 \beta = 0.68 \pm 0.025 \pm 0.020$

Violação direta de **(P**:

<u>Diferença da probabilidade de desintegração de uma partícula em relação a sua antipartícula</u>

Myron Bander, D. Silverman, A. Soni: Phys.Rev.Lett. 43 (1979) 242_

Uma desintegração com duas amplitudes a nível de quarks.



Fases ϕ_1 e ϕ_2 trocam de sinal com a conjugação de carga

$$\langle f|T|i\rangle = A_1 e^{i(\delta_1 + \phi_1)} + A_2 e^{i(\delta_2 + \phi_2)},$$

 $\langle \bar{f}|T|\bar{i}\rangle = A_1 e^{i(\delta_1 - \phi_1 + \theta)} + A_2 e^{i(\delta_2 - \phi_2 + \theta)}.$

$$\Gamma (i \rightarrow f) - \Gamma (\overline{i} \rightarrow \overline{f}) = |\langle f|T|i\rangle|^2 - |\langle \overline{f}|T|\overline{i}\rangle|^2 = -4A_1A_2\sin(\delta_1 - \delta_2)\sin(\phi_1 - \phi_2).$$

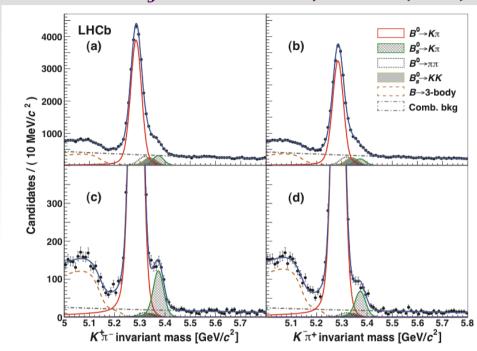
Violação direta de CP: contagem de eventos do estado inicial i, que se desintegram no estado final f, menos os de i que se desintegram em f.



Violação de CP nos decaimentos: $B^0 \rightarrow K^+\pi^- e B^0 \rightarrow K^+\pi^-$



LHCb: Phys. Rev. Lett. 110, 221601 (2013)



$$A_{cp}(B^{0} \to K^{+} \pi^{-}) = \frac{|\langle K^{+} \pi^{-} | T | B^{0} \rangle|^{2} - |\langle K^{-} \pi^{+} | T | \overline{B}^{0} \rangle|^{2}}{|\langle K^{+} \pi^{-} | T | B^{0} \rangle|^{2} + |\langle K^{-} \pi^{+} | T | \overline{B}^{0} \rangle|^{2}}$$

$$A_{CP}(B^0 \to K^+\pi^-) = -0.080 \pm 0.007 \text{ (stat)} \pm 0.003 \text{ (syst)},$$

 $A_{CP}(B_s^0 \to K^-\pi^+) = 0.27 \pm 0.04 \text{ (stat)} \pm 0.01 \text{ (syst)}.$

Data of the particular

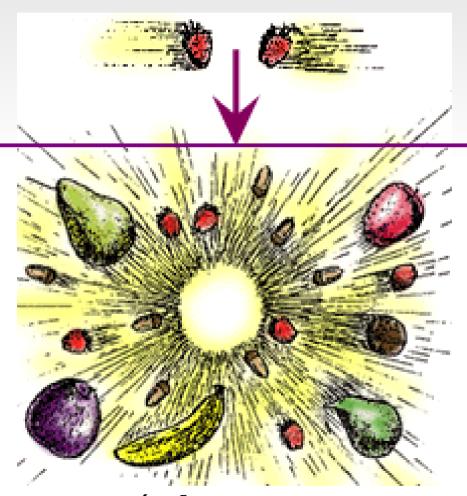


Como observamos partículas com pequenas vidas medias?

Colisão

Energia —> Massa

Produção de partículas; Massivas e instáveis

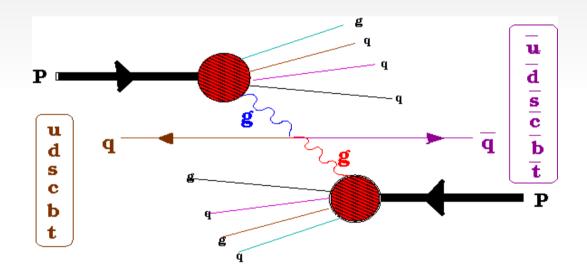


Energia da colisão > Massa da nova partícula



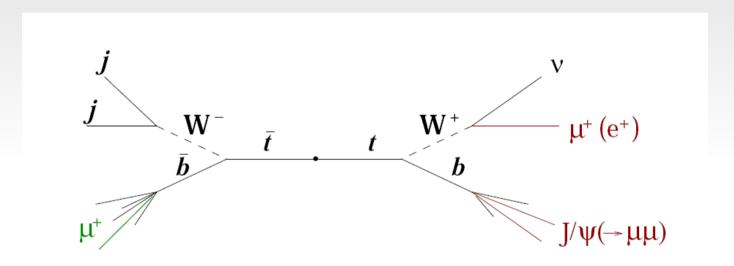
Observação de partículas.

Colisão entre partículas a altas energias

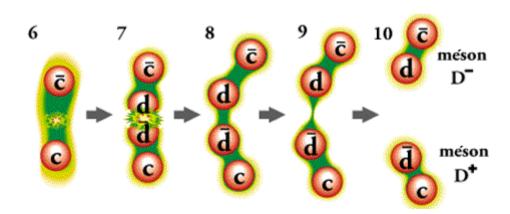


<u> Desintegração - criação e hadronização</u>

Dezenas de possíveis desintegrações criações



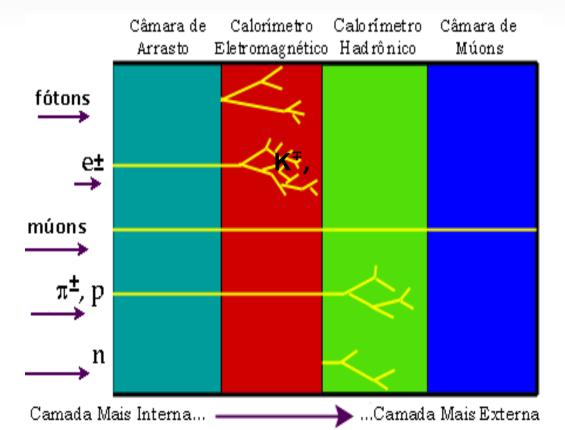
 Dezenas de possíveis hadronizações





Observáveis

- Partículas observadas diretamente:
- Partículas carregadas com vida média maior que 10⁻¹⁰s: **próton, elétron, múon, méson π e méson K** e as suas antipartículas.
- Partículas neutras: fóton e nêutron





Massa Invariante

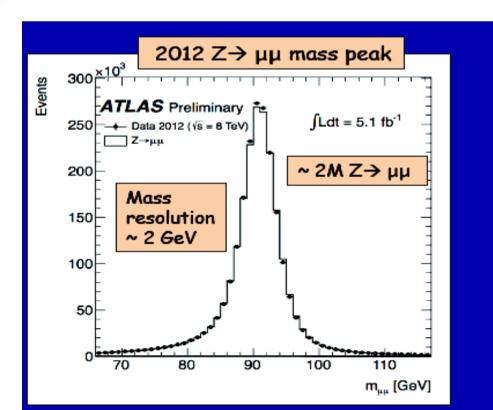
Desintegração do bóson de gauge

$$|Z^0
ightarrow \mu^+ \mu^-$$

Conservação do quadri momento

$$M_z^2 = (P_{\nu Z}^2)^2 = (P_{\nu}^{\mu +} + P_{\nu}^{\mu})^2$$
 C=1

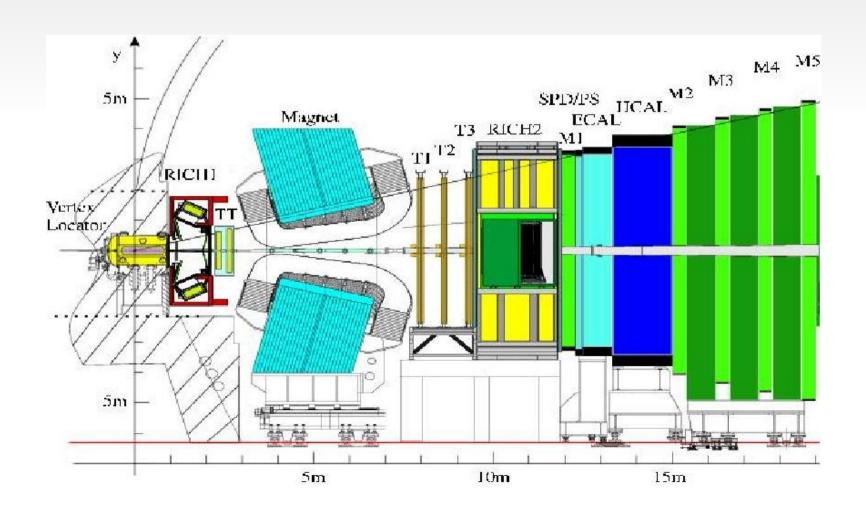
$$egin{align} M_{\mu^+\mu^-}^2 &= (P_{\mu^+}^
u + P_{\mu^-}^
u)^2 &= m_{\mu^+}^2 + m_{\mu^-}^2 + 2E_{\mu^+}.E_{\mu^-} + 2ec{P}_{\mu^-}.ec{P}_{\mu^+} \ &= m_{\mu^+}^2 + m_{\mu^-}^2 + 2\sqrt{|ec{P}_{\mu^+}|^2 + m_{\mu^+}^2}.\sqrt{|ec{P}_{\mu^-}|^2 + m_{\mu^-}^2} + 2ec{P}_{\mu^-}.ec{P}_{\mu^+} \ &= m_{\mu^+}^2 + m_{\mu^-}^2 + 2\sqrt{|ec{P}_{\mu^+}|^2 + m_{\mu^+}^2}.\sqrt{|ec{P}_{\mu^-}|^2 + m_{\mu^-}^2} + 2ec{P}_{\mu^-}.ec{P}_{\mu^+} \ &= m_{\mu^+}^2 + m_{\mu^-}^2 + m_{\mu^-}$$





Observação dos eventos

- Determinação da natureza das partículas
- Momento vetorial das partículas carregadas
 - Energia das partículas neutras



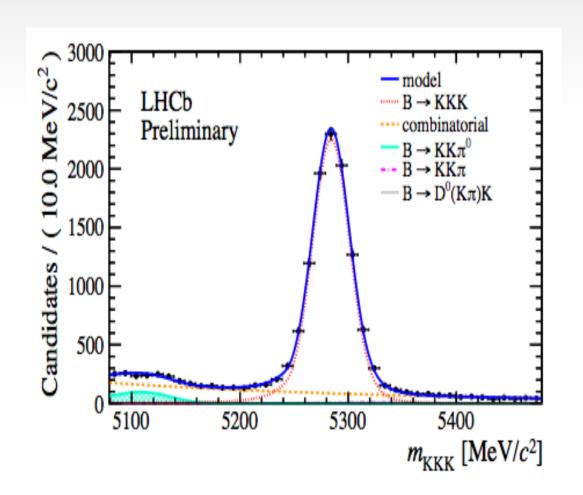


Massa Invariante $B^+ \rightarrow K^+ K^- K^+$

Desintegração de um méson em três corpos.

Conservação do quadri momento:

$$M_B^2 = (P_B^{\nu})^2 = (P_{K+}^{\nu} + P_{K-}^{\nu} + P_{K+}^{\nu})^2$$



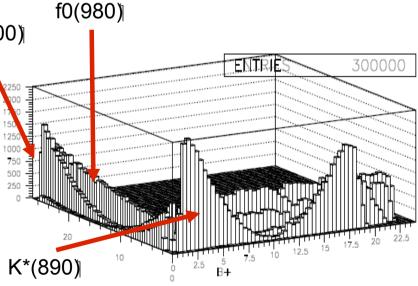


Dalitz Plot-

$$egin{aligned} s_{12} &= M_{12}^2 = (p_1^
u + p_2^
u)^2 \ s_{13} &= M_{13}^2 = (p_1^
u + p_3^
u)^2 \ s_{23} &= M_{23}^2 = (p_2^
u + p_3^
u)^2 \end{aligned}$$

$$d\Gamma(s_{12},s_{23}) \; = \; rac{1}{(2\pi)^3 32 M_B^3} \; |\mathcal{M}|^2 \; ds_{12} ds_{23} \; .$$

Espaço de fase plano, onde $\rho(700)$ podemos escrever a dinâmica.



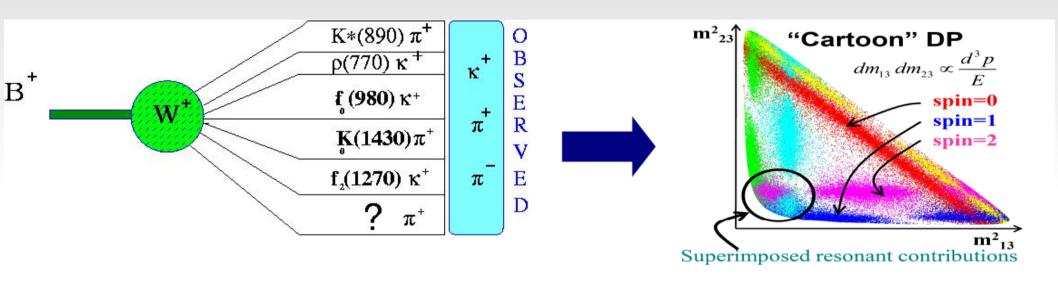
$$|M|^2 \Rightarrow dinâmica.$$

Violação de CP em decaimento violação de CP em decaimento final com três mésons no estado final com três mesons no estado fina



<u>Decaimento do B em três mésons</u> <u>carregados.</u>

Estudo do B em estados intermediários:



•
$$B^{\pm}$$
 −> $\pi^{\pm} K^{+} K^{-}$

$$\bullet$$
 B[±]−>K [±] K ⁺ K ⁻

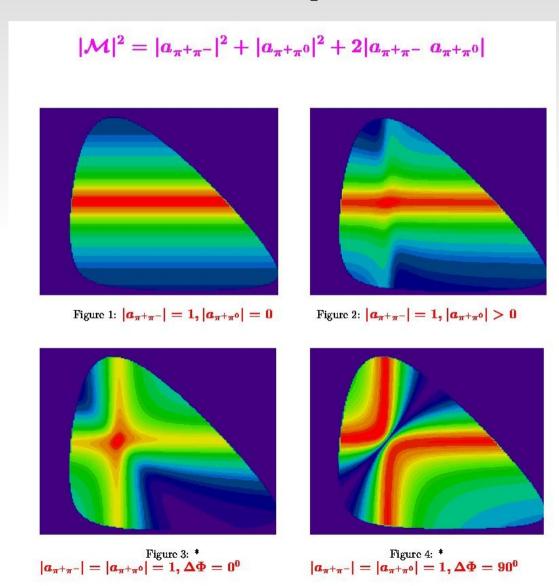
$$\bullet B^{\pm} -> \pi^{\pm} \bar{p} p$$

$$\bullet B^{\pm} -> K^{\pm} \bar{p} p$$



Fases na análise de amplitudes

Signature de diferenças de fases nos Dalitz plot.





<u>Fases em análise de amplitudes:</u> <u>Modelo 2 + 1</u>

$$M_{i} = BW_{i} \times \Theta_{i}^{J}$$

- BW Breit Wigner
- → Θ_i função angular.

•
$$M_T = \sum a_i e^{i \delta i} M_i$$

ullet $\delta_{_{i}}$ fase de re-espalhamento

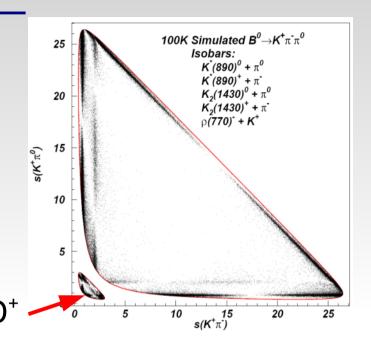
<u>Funciona bastante bem</u> <u>para decaimentos do méson</u> <u>charmoso em três mésons.</u>



Problemas

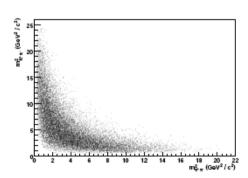
Diferença do espaço de fase entre os Charm e o Beauty

Novos efeitos de interação do estado final devem ser incorporados: Belle and BaBar mostraram grandes dificuldades de representar os dados.



Possíveis contribuições provenientes pelo reespalhamento.

I.B, D.R. Boito, G.Guerrer, F.S.Navarra and M. Nielsen Phys. Lett B665: 30 (2008)



Novas amplitudes físicas, além da usual inclusão de ressonâncias parecem ser necessárias !!

Working group Nabis

Different expertise → formation of working group Nabis

From Theory

I. Bigi, S. Gardner (USA)

C. Hanhart, Th. Mannel, U.-G. Meißner, W. Ochs, A. Sibirtsev (Germany)

J.A. Oller, J.R. Pelaez (Spain)

M.R. Pennington (UK)

From Experiment

I. Bediaga (Brazil)

A.E. Bondar (Russia)

A. Denig, W. Gradl, K. Peters, U. Wiedner (Germany)

T.J. Gershon (UK)

B.T. Meadows (USA)

G. Wilkinson (Switzerland)

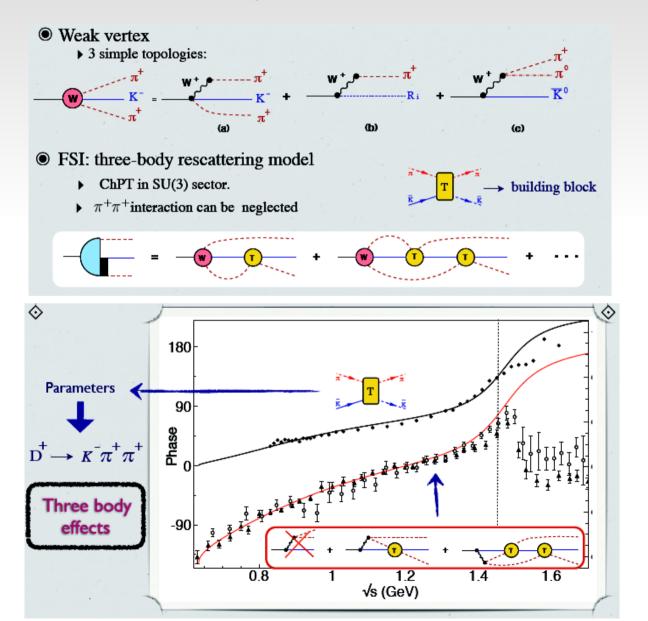


The talisman Paul Serusier, 1888



Re-espalhamento em decaimentos em decaimentos de três corpos.

P.C. Magalhaes, M.R. Robilotta, K.S.F.F. Guimaraes, T. Frederico, W. de Paula, I. B., A.C.dos Reis, , C.M. Maekawa, G.R.S. Zarnauskas, Phys.Rev. { D84}:094001,2011.



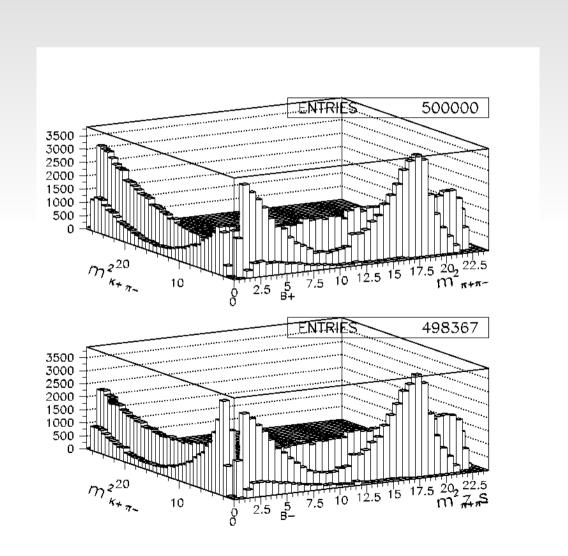
<u>Mudança de sinal da fase com a conjugação de carga:</u> <u>muda as interferências no Dalitz plot.</u>

Decaimento com violação de 🔑:

$$B^+ \rightarrow K^+ \pi^- \pi^+$$



 $B^- \rightarrow K^- \pi^+ \pi^-$



<u>Procura por violação de GP no decaimento</u> $\underline{B}^{-} \rightarrow hhh: Mirandizing$

Subtraindo B⁺ de B⁻ temos uma nova superfície onde podemos escrever a significância de cada bin :

$$DP \mathbf{S}_{CP}(i) = N^{+}(i) - N^{-}(i)$$

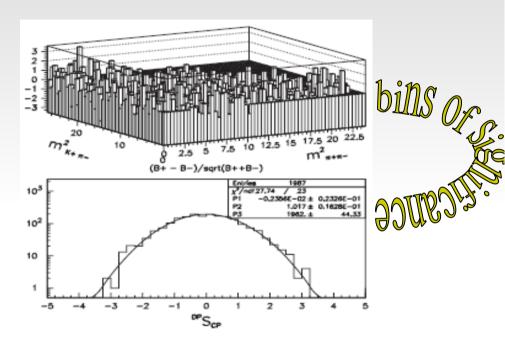
$$\sqrt{N^{+}(i) + N^{-}(i)}$$

"imported" from astrophysical community: *Ti-pei Li and Yu-qian Ma, Astr.Jour.272(1983) ,317 by*

I.B., I.I. Bigi, A. Gomes, G. Guerrer, J. Miranda and A.C. Dos Reis -Phys. Rev. D80, 096006 (2009)

I.B., I.I. Bigi, A. Gomes, J. Miranda, J. Otalora, A.C. Dos Reis and A. Veiga Phys. Rev. D86, 036005 (2012)

Para
$$B^+ \equiv B^- \Longrightarrow CP$$

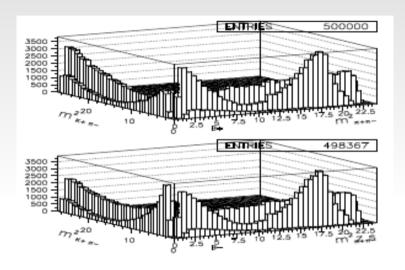


Pura estatística flutuação implica em uma gaussiana centrada em zero e largura 1.

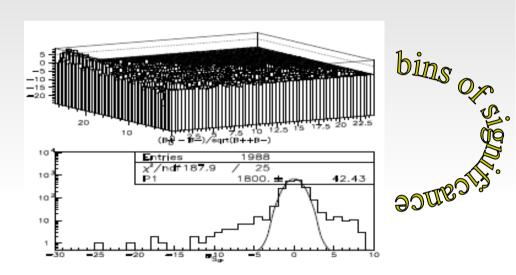
$$\begin{array}{c} \text{Invariance} => g(0,1) \\ \text{43} \end{array}$$

Search for sources of $(P \text{ in } B^- \rightarrow hhh: Mirandizing}$

$$B^+ \neq B^- \Longrightarrow \mathbf{CP}$$









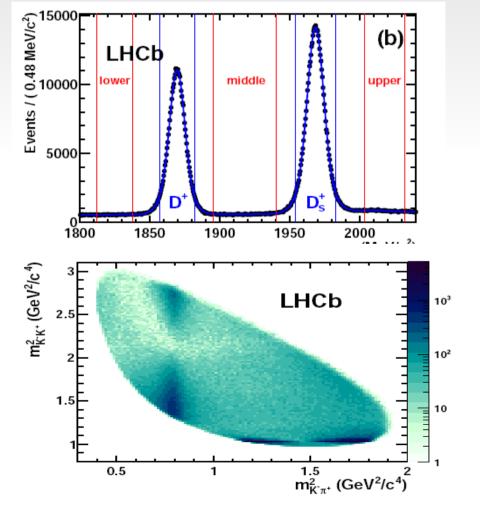
Possibility of <u>probing regions</u> of the Dalitz plot looking at interference with \P P: 1- resonant intermediary asymmetries like: $A_{co}(B^+ -> K^+ \rho^0)$

2- P in interferences between intermediary resonant states with CP

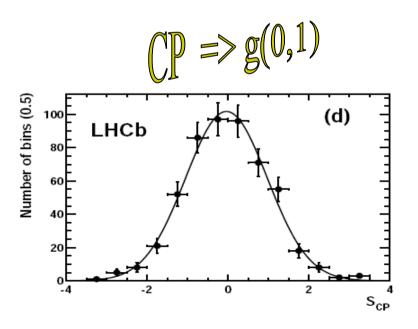




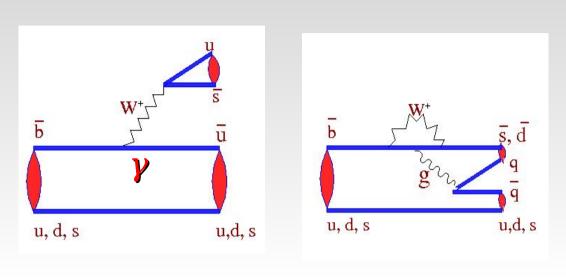
LHCb Collaboration, Phys.Rev.D84:112008,2011.

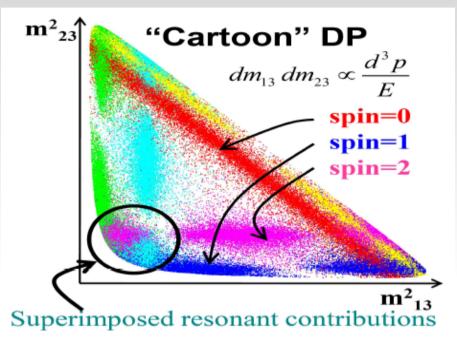


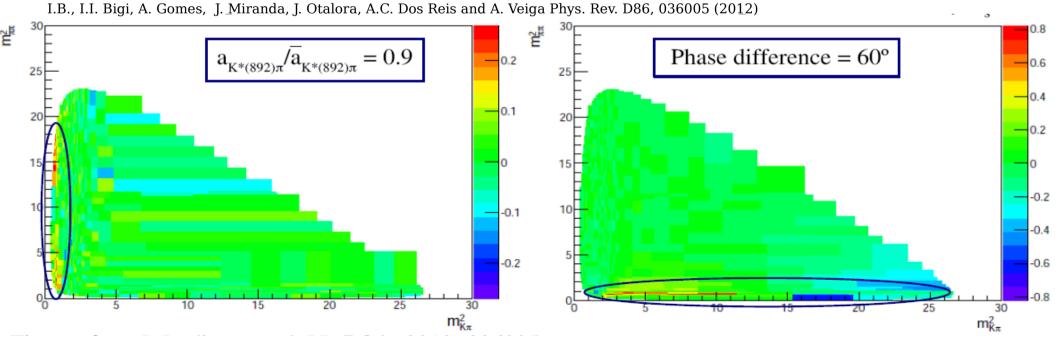
370.000 eventos 0.035ft-1



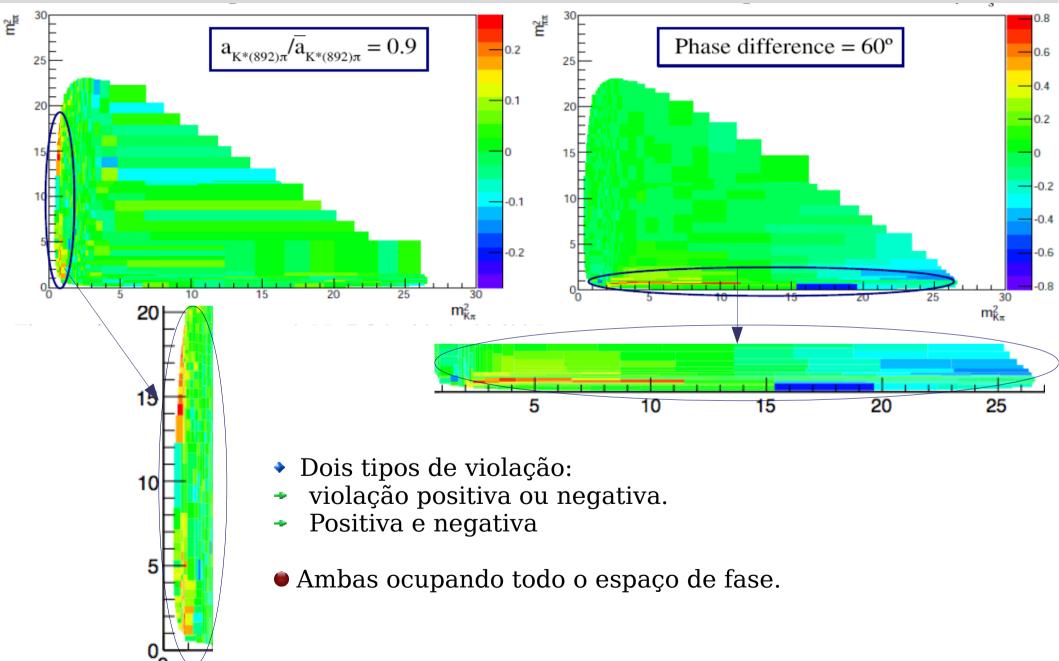
O que esperávamos da distribuição de violação de P no Dalitz plot







O que esperávamos da distribuição de violação de CP no Dalitz plot







Evidências experimentais de violação de CP;

$$B \rightarrow K = \pi + \pi = B \rightarrow K = K + K = (s=1)$$

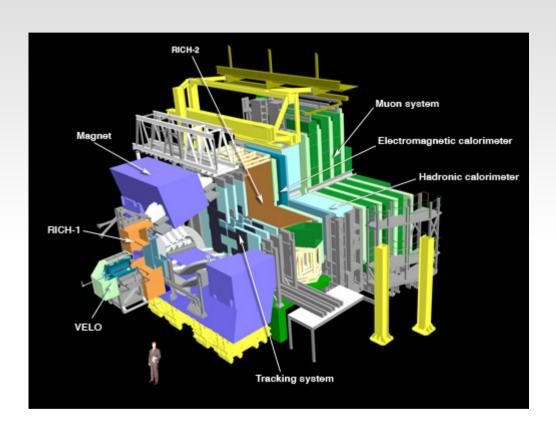
 $B \rightarrow \pi = \pi + \pi = (s=0)$
 $B \rightarrow \pi = \pi + \pi = (s=0)$

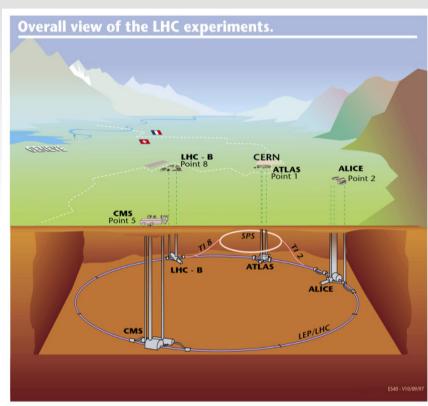
Resultados com os dados coletados pelo LHCb em 2011.





Colaboração LHCb





Dez vezes mais mésons B's que o Belle e Babar produziram, em um ano de tomada de dados.

800 colaboradores, mais de 50 instituições, custo total 100M CHF.



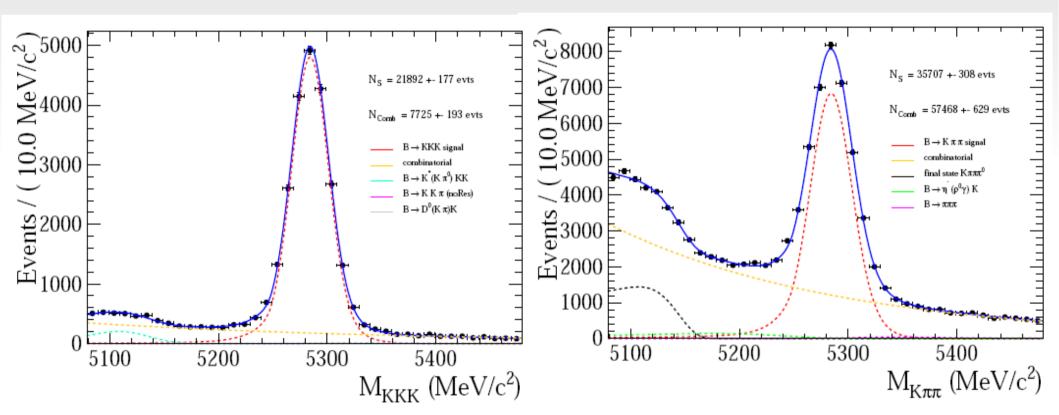
$\mathbf{B}^{-} \to \mathbf{K}^{-} \mathbf{\Pi}^{+} \mathbf{\Pi}^{-} \mathbf{e} \quad \mathbf{B}^{-} \to \mathbf{K}^{-} \mathbf{K}^{+} \mathbf{K}^{-}$



Aceito no PRL 30/08/2013 LHCb-CONF-2012-028 - arXiv:1301.0283

$$\bullet B^{\pm} \rightarrow K^{\pm} K^{+} K^{-}$$

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



Total sample: 21.892 ± 177 and

 35.707 ± 308

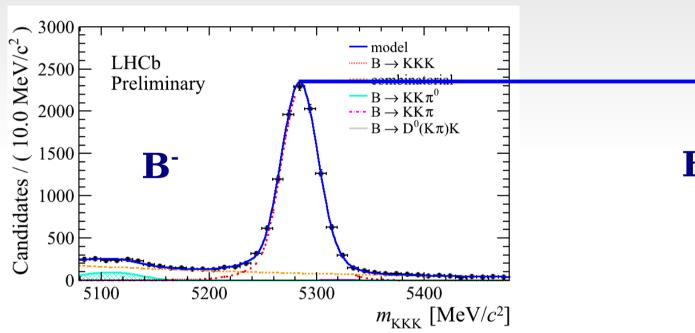


Total charge asymmetry for $B^- \rightarrow K^-K^+K^-$



$$N(B) = 10,289 \pm 110$$

$$N(B^+)=11,606 \pm 117$$



 \mathbf{B}^{+}

Total charge asymmetry:

ACP =
$$N(B^{-}) - N(B^{+}) = -4.6 \pm 0.9 \pm 0.5\%$$

 $N(B^{-}) + N(B^{+})$

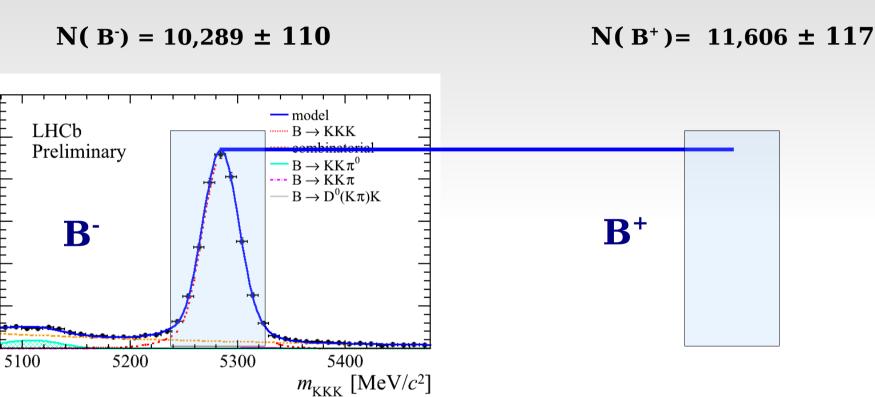


Candidates / (10.0 MeV/c^2)
1 200 15 1 15

Total charge asymmetry for $B^+ \rightarrow K^+ K^- K^+$



LHCb-CONF-2012-018 - arXiv:1301.0283.

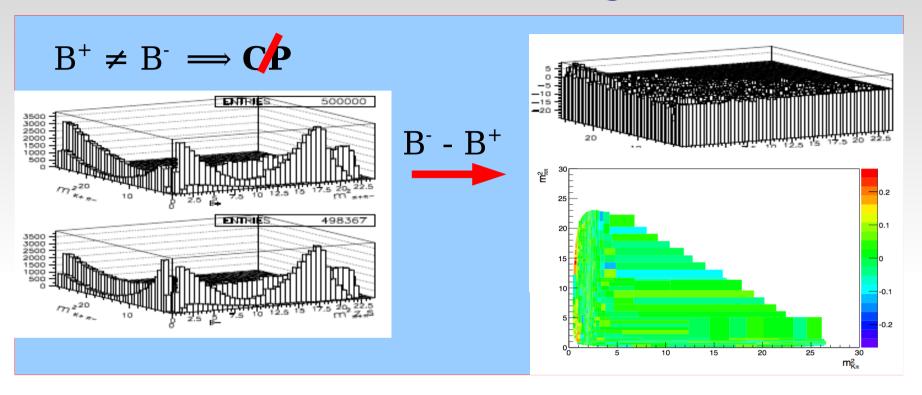


Total charge asymmetry:
$$N(R^{+}) = -4.6 + 0.9 + 0.7$$

ACP =
$$N(B^{-}) - N(B^{+}) = -4.6 \pm 0.9 \pm 0.4\%$$

 $N(B^{-}) + N(B^{+})$

QP violation in B⁺→ hhh: Mirandizing





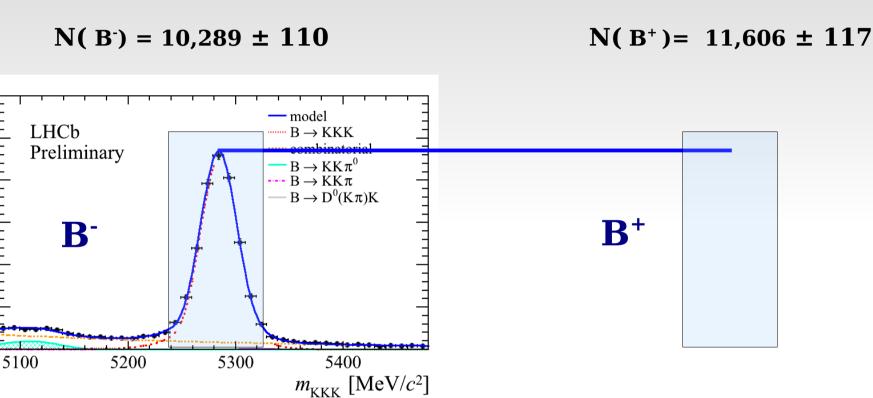
Candidates / (10.0 MeV/c^2)
1 200 15 1 15

ACP

Total charge asymmetry for $B^+ \rightarrow K^+ K^- K^+$



LHCb-CONF-2012-018 - arXiv:1301.0283.



$$N(B^{-}) - N(B^{+}) = -4.6 \pm 0.9 \pm 0.4\%$$

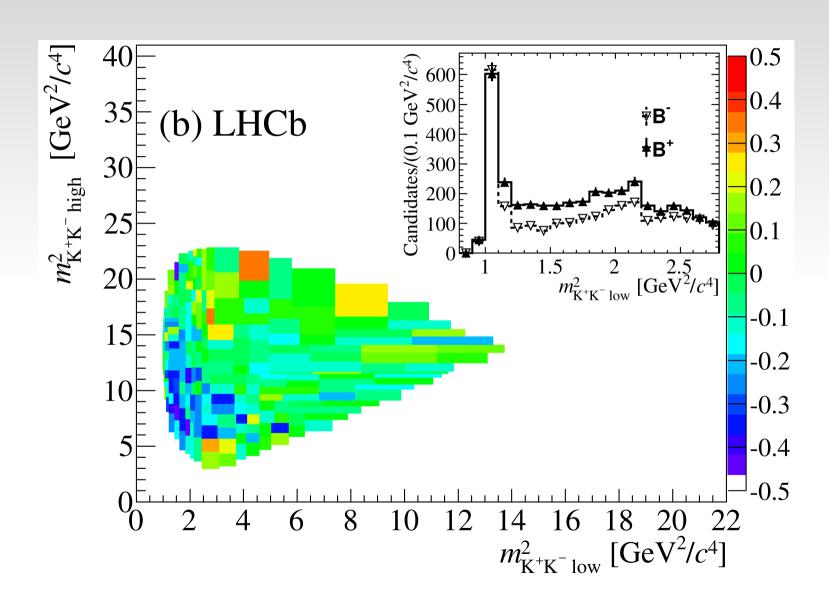
 $N(B^{-}) + N(B^{+})$

Total charge asymmetry:



Diferenças de B^+ - B^- Dalitz M^2_{K+K} Vs M^2_{K+K} distribuição do espaço de fase





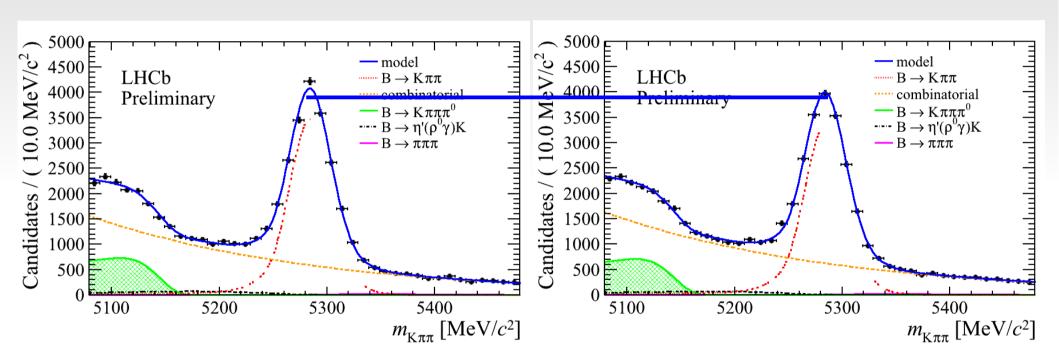


Total charge asymmetry for $B^- \rightarrow K^- \Pi^+$



$$N(B) = 18,168 \pm 170$$

$$N(B^+) = 17,540 \pm 169$$



ACP =
$$\frac{N(B^{-}) - N(B^{+})}{N(B^{-}) + N(B^{+})}$$
 = +3.4 ± 0.9 ± 0.4 %

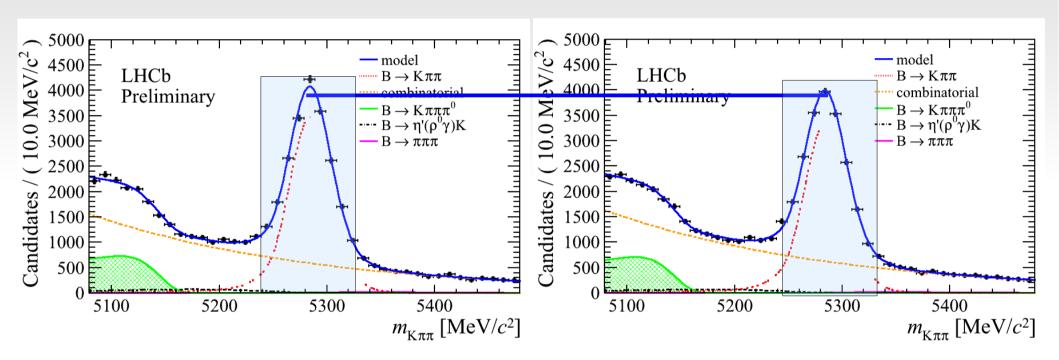


Total charge asymmetry for $B^- \rightarrow K^- \pi^- \pi^+$



$$N(B) = 18,168 \pm 170$$

$$N(B^+) = 17,540 \pm 169$$



ACP =
$$N(B^{-}) - N(B^{+}) = +3.4 \pm 0.9 \pm 0.5\%$$

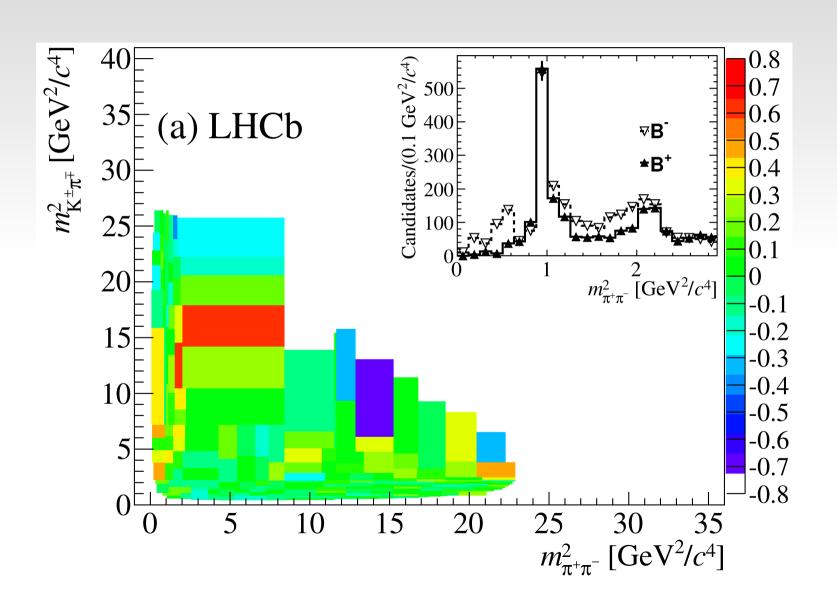
 $N(B^{-}) + N(B^{+})$



B⁺ - B⁻ Dalitz differences



Low $M^2_{\Pi K}$ and High $M^2_{\Pi \Pi}$ phase space distribution

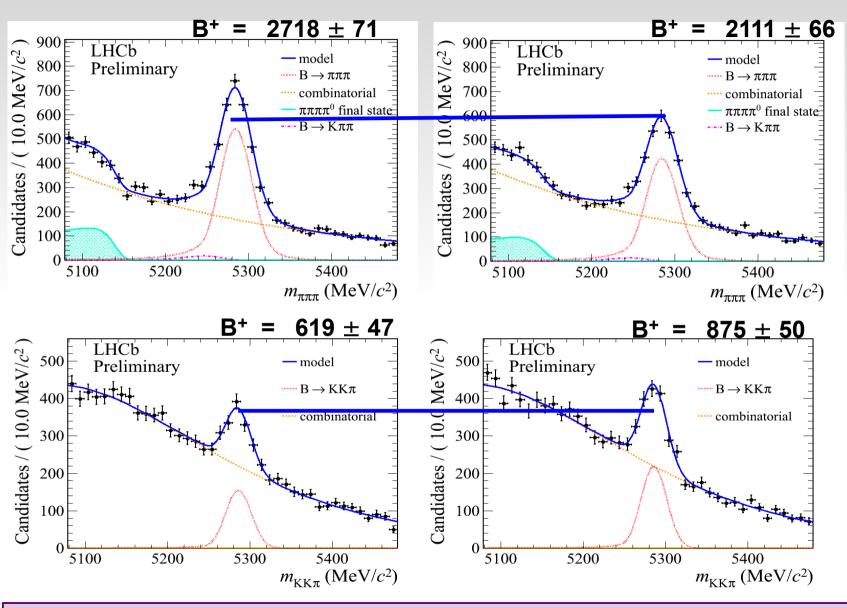




$B^- \rightarrow \pi^- \pi^- \pi^+$ and $B^- \rightarrow \pi^- K^+ K^-$

LHCb

LHCb-CONF-2012-028 - arXiv:1301.0283



$$A_{CP}(B^{\pm} \to \pi^{\pm}\pi^{+}\pi^{-}) = +0.120 \pm 0.020(\text{stat}) \pm 0.019(\text{syst}) \pm 0.007(J/\psi K^{\pm})$$

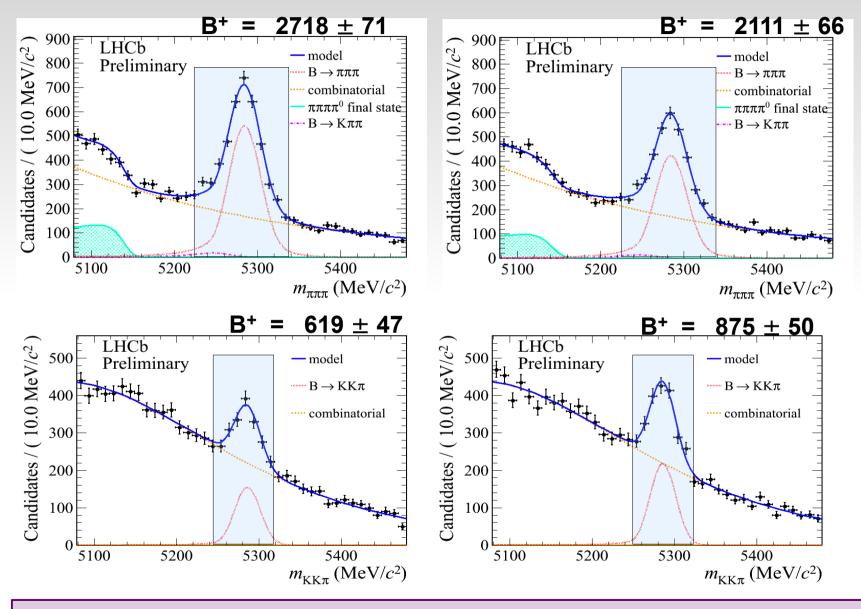
 $A_{CP}(B^{\pm} \to K^{+}K^{-}\pi^{\pm}) = -0.153 \pm 0.046(\text{stat}) \pm 0.019(\text{syst}) \pm 0.007(J/\psi K^{\pm})$



$B^- \rightarrow \pi^- \pi^+ \pi^-$ and $B^- \rightarrow \pi^- K^+ K^-$

LHCb-CONF-2012-028 - arXiv:1301.0283





$$A_{CP}(B^{\pm} \to \pi^{\pm}\pi^{+}\pi^{-}) = +0.120 \pm 0.020(\text{stat}) \pm 0.019(\text{syst}) \pm 0.007(J/\psi K^{\pm})$$

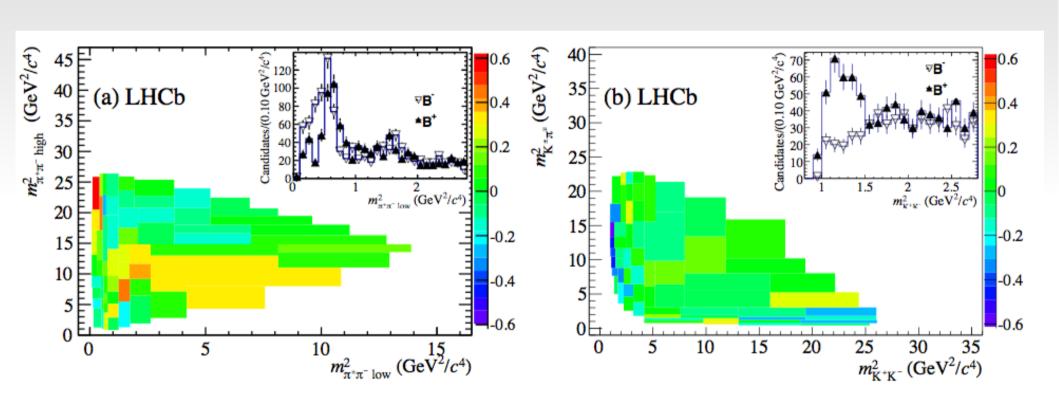
 $A_{CP}(B^{\pm} \to K^{+}K^{-}\pi^{\pm}) = -0.153 \pm 0.046(\text{stat}) \pm 0.019(\text{syst}) \pm 0.007(J/\psi K^{\pm})$



$B^- \rightarrow \pi^- \pi^+ \pi^-$ and $B^- \rightarrow \pi^- K^+ K^-$ Dalitz plot



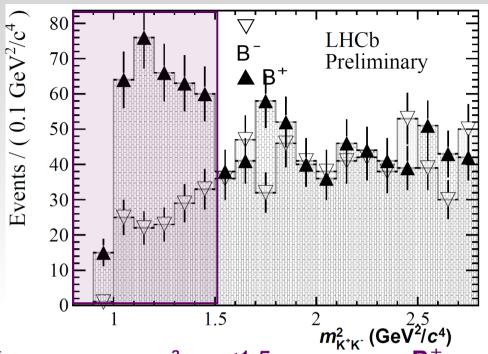
LHCb-CONF-2012-028 - arXiv:1301.0283



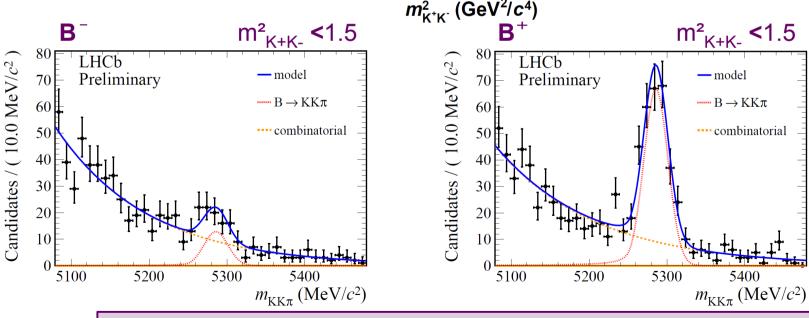


$B^- \to \Pi^- K^+ K^-$ zoom in the large $\mathcal{O}P$ region.





very large negative $\mathscr{L}P$ in a region of the phase space not associated to a resonance



62



Comentários sobre os resultados experimentais.



- Violação de P observada nos quatro canais.
- **Positiva nos:** $B^- \rightarrow K^- \pi^+ \pi^- e B^- \rightarrow \pi^- \pi^+ \pi^-$
- Negativa nos: $B^- \rightarrow K^- K^+ K^- e B^- \rightarrow \pi^- K^+ K^-$
- Distribuição da violação de $\mbox{\em CP}$ não uniforme no Dalitz plot: grande $\mbox{\em CP}$ assimetria em valores baixos das massas invariantes de $\mbox{\em K}^+\mbox{\em K}^-$ e $\mbox{\em \pi}^+\mbox{\em \pi}^-$, nenhuma evidência na região de baixa massa de $\mbox{\em \pi}^-\mbox{\em K}^+$.
- ◆ A distribuição de violação de ❤️ não segue as usuais estruturas ressonantes.

A nova d'inamica de violação de CP: espalhamento hadron hadron.



Invariância de CPT

Invariância de CPT ⇒ Mesma vida média e mesma massa entre partículas e suas antipartículas.

Vida média
$$\tau = 1 / \Gamma_{total} = 1 / \overline{\Gamma}_{total}$$

$$\Gamma_{total} = \Gamma_1 + \Gamma_2 + \Gamma_3 + \Gamma_4 + \Gamma_5 + \Gamma_6 + \dots$$

$$\Gamma_{total} = \Gamma_1 + \Gamma_2 + \Gamma_3 + \Gamma_4 + \Gamma_5 + \Gamma_6 + \dots$$

$$\Gamma_{total} = \Gamma_1 + \Gamma_2 + \Gamma_3 + \Gamma_4 + \Gamma_5 + \Gamma_6 + \dots$$

- Violação de \mathcal{OP} : p. ex. $\Gamma_1 > \Gamma_1$.
- ◆ Para não haver violação de CPT:

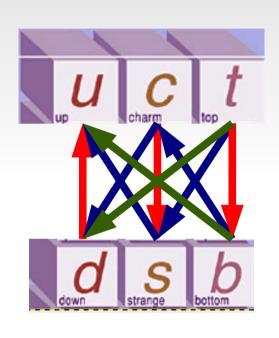
$$\Gamma_2 + \Gamma_3 + \Gamma_4 + \Gamma_5 + \Gamma_6 + \dots < \Gamma_2 + \Gamma_3 + \Gamma_4 + \Gamma_5 + \Gamma_6 + \dots$$
na **exata proporção**.

• Implica em uma interação entre $\,$ os estados finais do decaimento $\,$ $\,$ $\,$ $\,$ um, ou alguns, dos estados finais dos outros decaimentos.



Interação de estado final

Interação entre hadrons conserva estranheza e charm,



Vida média
$$\tau = 1 / \Gamma_{total} = 1 / \overline{\Gamma}_{total}$$

$$\Gamma_{\text{total}} = \overline{\Gamma}_{\text{total}} \Rightarrow \Gamma_{\text{f}} = \overline{\Gamma}_{\text{f}}, \quad \text{f = flavour}$$

$$\Gamma_{f} = \Gamma_{f1} + \Gamma_{f2} + \Gamma_{f3} + \Gamma_{f4} + \dots$$

$$\bar{\Gamma}_f = \bar{\Gamma}_{f1} + \bar{\Gamma}_{f2} + \bar{\Gamma}_{f3} + \bar{\Gamma}_{f4} + \dots$$

- ♦ Violação de CP \Rightarrow Γ_{f1} > Γ_{f1} .
- Para não haver violação de CPT:

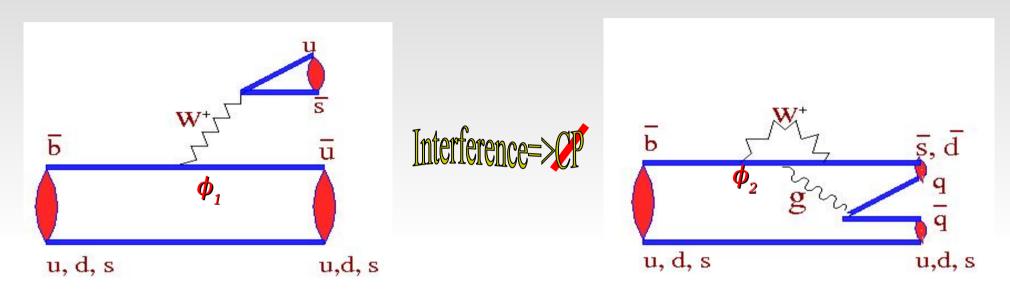
$$\Gamma_{f2}$$
 + Γ_{f3} + Γ_{f4} + < Γ_{f2} + Γ_{f3} + Γ_{f4} +

na **exata proporção**.

Violação direta de **(P**:

<u>Diferença da quantidade de uma determinada</u> <u>desintegração de uma partícula em relação a sua anti-partícula.</u>

Myron Bander, D. Silverman, A. Soni: Phys.Rev.Lett. 43 (1979) 242_



Phases ϕ_1 cand ϕ_2 change signal with charge conjugate operation.

$$\langle f|T|i\rangle = A_1 e^{i(\delta_1 + \phi_1)} + A_2 e^{i(\delta_2 + \phi_2)},$$

 $\langle \bar{f}|T|\bar{i}\rangle = A_1 e^{i(\delta_1 - \phi_1 + \theta)} + A_2 e^{i(\delta_2 - \phi_2 + \theta)}.$

$$\Gamma (i \rightarrow f) - \Gamma (\overline{i} \rightarrow \overline{f}) = |\langle f|T|i\rangle|^2 - |\langle \overline{f}|T|\overline{i}\rangle|^2 = -4A_1A_2\sin(\delta_1 - \delta_2)\sin(\phi_1 - \phi_2).$$

Continua incompleta, falta uma interação entre os estados finais do Γ_1 e um, o ψ_7 alguns, dos estados finais dos outros decaimentos.



Quantos canais de desintegração a família do $B^+ \rightarrow K^+ \pi^+ \pi^-$ tem?

•
$$B^+$$
 −> $K^0 \pi^+$

•
$$B^+$$
 −> K^+ π^0

$$\bullet B^+ -> K^+ \eta$$

$$\bullet B^+ -> K^0 \pi^+ \pi^0$$

$$→$$
 B^+ -> K^+ K^0 K^0

•
$$B^+ -> K^+ K^+ K^-$$

→
$$B^+$$
 -> $K^0 \pi^+ \eta^0$

•
$$B^+ -> K^+ \pi^0 \eta^0$$

Plus 4 bodys

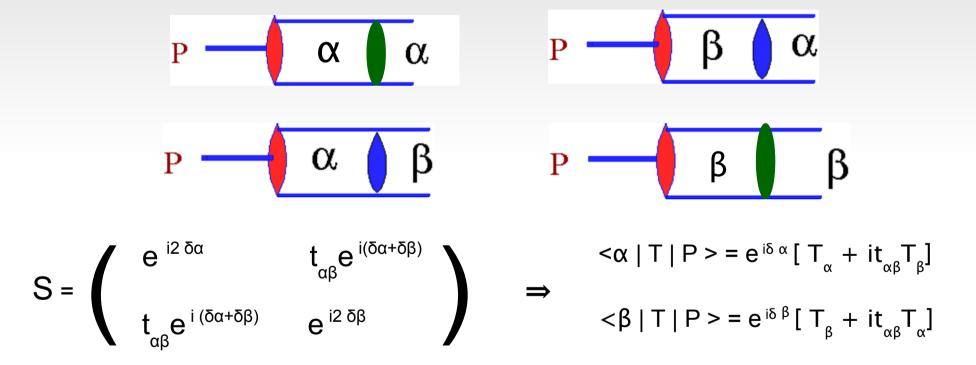
Com qual probabilidade as interações hadronicas permitem essas transições?

Violação de CP através de uma dinâmica hadronica: Wolfenstein (Phys.Rev. D43 (1991) 151-156)

Decaimento da partícula P em uma família com somente dois estados finais: α e β

Expansão em primeira ordem na interação hadronica de estado final.

Mesmas equações para as antipartículas.



Subtraindo as amplitudes quadradas entre partícula e antí-partícula

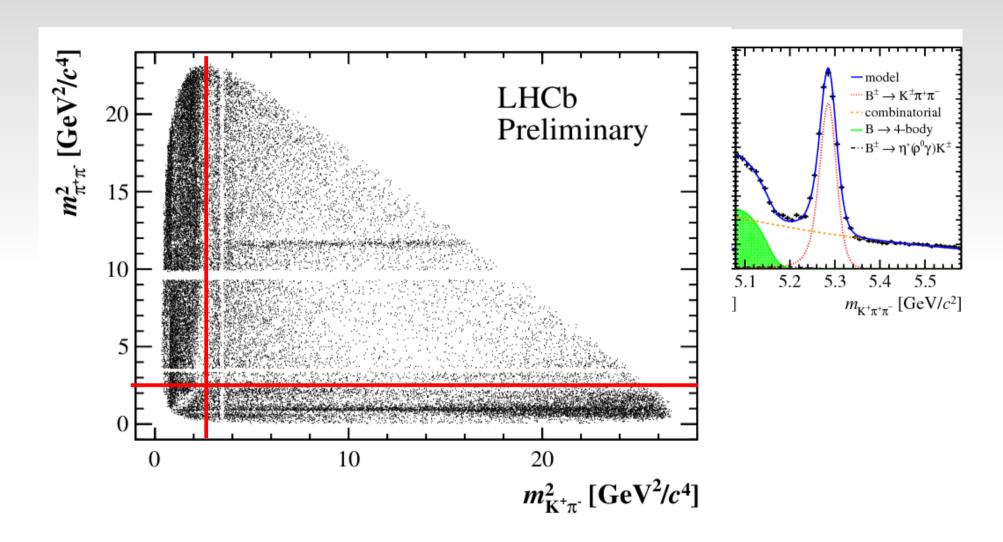
$$\Delta \alpha = |\langle \alpha \mid T \mid P \rangle|^2 - |\langle \alpha \mid T \mid P \rangle|^2 = 4 \text{ Im } T^*_{\alpha} T_{\beta}$$

$$\Delta \beta = |\langle \beta \mid T \mid P \rangle|^2 - |\langle \beta \mid T \mid P \rangle|^2 = -4 \text{ Im } T^*_{\alpha} T_{\beta}$$

Satisfazendo CPT:



<u>Distribuição de eventos na</u> <u>desintegração B⁺→K ⁺ π ⁺π ⁻</u>.



Mais de 90% dos eventos abaixo de $M^2_{K+\pi}$ e $M^2_{\pi+\pi}$ = 2.5GeV²

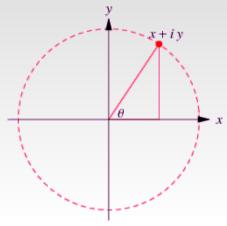
Interação 2 + 1.



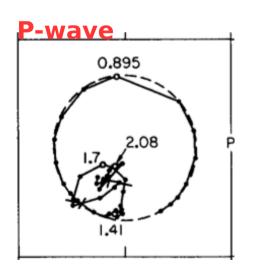
Espalhamento elástico: $\underline{K}^{+}\underline{\Pi}^{-} \rightarrow \underline{K}^{+}\underline{\Pi}^{-}$

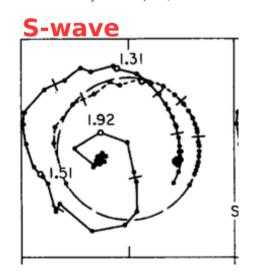
Inelasticidade: $\eta = 1 \Rightarrow 100\%$ dos hh vão nos mesmos hh, $\eta = 0 \Rightarrow 0\%$ vão no mesmo hh .

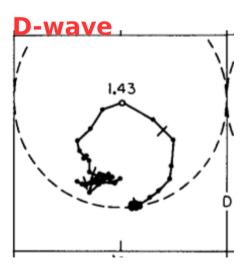
Circulo de Argand.



LASS collaboration $K^+\pi^- \rightarrow K^+\pi^-$ (1988)







Nenhum grande desvio do circulo unitario $\eta = 1$ até 1.6GeV.



Espalhamento elástico $\underline{\Pi}^{\dagger}\underline{\Pi}^{-} \rightarrow \underline{\Pi}^{\dagger}\underline{\Pi}^{-}$.

CERN-Munich collaboration $\pi^+\pi^- \rightarrow \pi^+\pi^-$ (1973)

Nuclear Physics B64 (1973) 134-162. 1

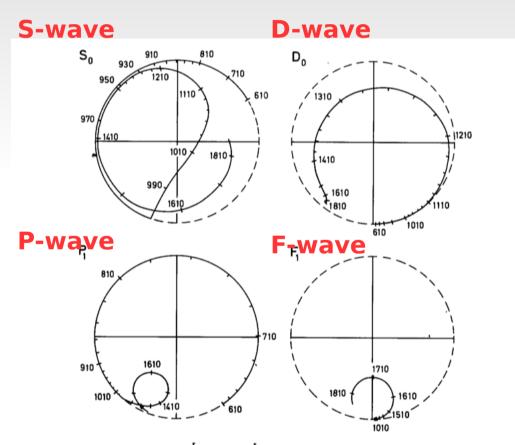


Fig. 6. Argand diagrams (Im T_l^I versus Re T_l^I) for the partial wave amplitudes from the energy-dependent fit. Numbers indicate the $\pi\pi$ energy.

Grande desvio do circulo unitario $\eta = 1$ na onda S entre 1 até 1.5GeV.



Espalhamento elástico $\underline{\Pi}^{\dagger}\underline{\Pi}^{-} \rightarrow \underline{\Pi}^{\dagger}\underline{\Pi}^{-}$.

CERN-Munich collaboration $\pi^+\pi^- \rightarrow \pi^+\pi^-$ (1973)

Nuclear Physics B64 (1973) 134-162.

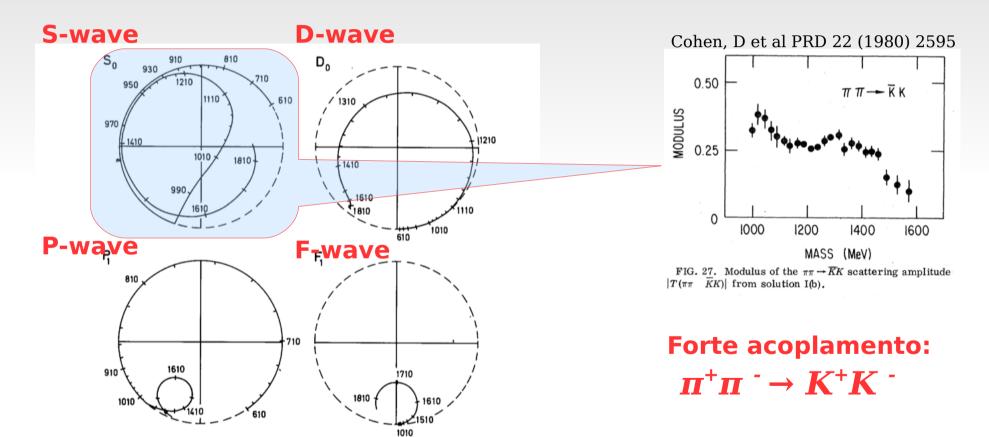
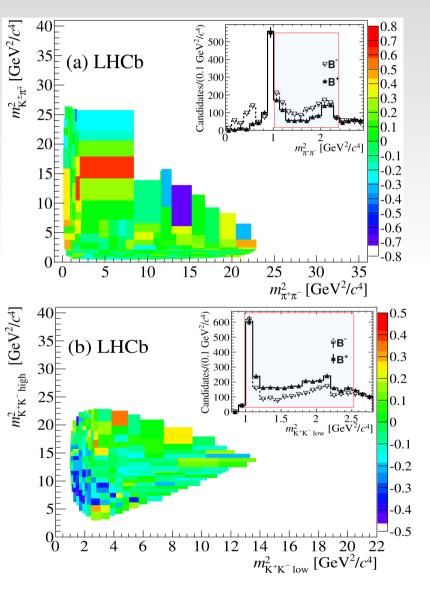


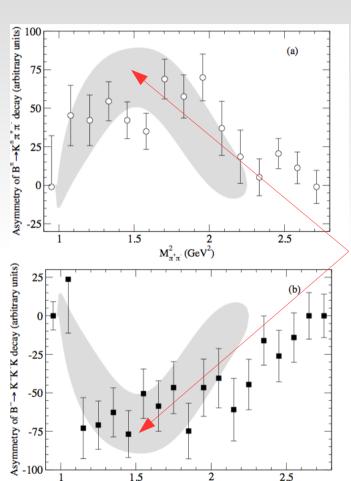
Fig. 6. Argand diagrams (Im T_l^I versus Re T_l^I) for the partial wave amplitudes from the energy-dependent fit. Numbers indicate the $\pi\pi$ energy.

Grande desvio do circulo unitario $\eta = 1$ na onda S entre 1 até 1.5GeV.

Espalhamento $\pi^+\pi^- \rightarrow K^+K^- e$ os decaimentos $B^+ \rightarrow K^+\pi^+\pi^- e$ $B^+ \rightarrow K^+K^+K^-$.

I. B., T. Frederico and O. Lourenço - hep-ph/1307.8164





Compilação de dados experimentais da interação $\pi^+\pi^- \rightarrow K^+K^-$

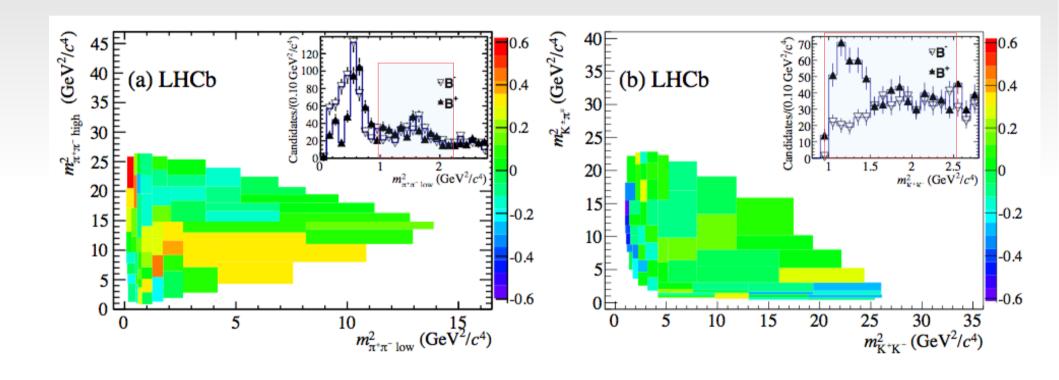
J. R. Pelaez, and F. J. Ynduráin, Phys. Rev. D **71**, 074016 (2005).

I. B., T. Frederico and O. Lourenço hep-ph/1307.8164

 $M_{K^+K^-}^2(GeV^2)$



Espalhamento $\pi^+\pi^- \rightarrow K^+K^-$ e os decaimentos $B^- \rightarrow \pi^-\pi^+\pi^-$ e $B^- \rightarrow \pi^-K^+K^-$.





<u>Comentários</u> sobre os nossos estudos.



- A violação de
 P observada nos quatro canais na região de massa entre 1 e 1.5GeV, tanto dos eventos em baixa massa de π⁺π⁻ como de K⁺K⁻, tem as seguintes características:
- 1- Os que contém π⁺π⁻ tem sinais opostos aos K⁺K⁻.
- 2- A distribuição da violação de M não segue as usuais estruturas ressonantes e apresenta uma distribuição não uniforme no Dalitz plot.
- 3- A quantidade da assimetria de $\mathscr{C}P$ entre $B^- \to K^- \pi^+ \pi^-$ e $B^- \to K^- K^+ K^-$ por um lado e $B^- \to \pi^- \pi^+ \pi^-$ e $B^- \to \pi^- K^+ K^-$ por outro, são basicamente complementares.
- ◆ 4- Apesar dos decaimentos $B^- \to K^- \pi^+ \pi^- e B^- \to K^- K^+ K^-$ serem de famílias diferentes dos decaimentos $B^- \to \pi^- \pi^+ \pi^-$ e $B^- \to \pi^- K^+ K^-$, a distribuição da violação \slashed{P} são semelhantes.

Estas características evidenciam a presença de assimetria de CP, induzida por uma dinâmica de re-espalhamento de hadrons no estado final.



Perspectivas

Resultados experimental, para os canais barionicos: $B^{\pm} \rightarrow \pi^{\pm} p p \ and \ B^{\pm} \rightarrow K^{\pm} p p \ arXiv:1307.6165$

Aumento da estatística em mais de duas vezes com os eventos coletados em 2012.

Aplicação do Mirandizing para determinar o balanço entre violação de CP positiva e negativa.

Análise de amplitudes com modelos mais realísticos do que os atuais.

Backup

$$\sum_{\lambda} |\langle \lambda_{out} | H_{w} | h \rangle|^{2} = \sum_{\lambda} |\sum_{\overline{\lambda}'} S_{\overline{\lambda}', \overline{\lambda}}^{*} \langle \overline{\lambda}'_{out} | H_{w} | \overline{h} \rangle|^{2}
= \sum_{\overline{\lambda}' \overline{\lambda}'' \overline{\lambda}} \langle \overline{\lambda}''_{out} | \overline{\lambda}_{in} \rangle \langle \overline{\lambda}_{in} | \overline{\lambda}'_{out} \rangle \langle \overline{\lambda}'_{out} | H_{w} | \overline{h} \rangle \langle \overline{\lambda}''_{out} | H_{w} | \overline{h} \rangle^{*}
= \sum_{\lambda} |\langle \overline{\lambda}_{out} | H_{w} | \overline{h} \rangle|^{2} .$$

Backup

$$\mathcal{A}^{\pm} = A + Be^{\pm i\gamma} ,$$

$$\mathcal{A}^{-} = \langle \lambda_{out} | H_{w} | h \rangle = A_{\lambda} + e^{-i\gamma} B_{\lambda} ,$$

$$\mathcal{A}^{+} = \langle \overline{\lambda}_{out} | H_{w} | \overline{h} \rangle = A_{\lambda} + e^{+i\gamma} B_{\lambda} .$$

$$\Delta\Gamma_{\lambda} = 4(\sin\gamma) \operatorname{Im} \left[B_{0\lambda}^* A_{0\lambda} + i \sum_{\lambda'} B_{0\lambda}^* t_{\lambda',\lambda} A_{0\lambda'} + -i \sum_{\lambda'} B_{0\lambda'}^* t_{\lambda',\lambda}^* A_{0\lambda} \right],$$

$$\sum_{\lambda} \operatorname{Im} \left[B_{0\lambda} A_{0\lambda}^* \right] = 0,$$