





<u>Condições de Sakharov</u>

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	$p \rightarrow e^+ \pi^+ \pi^-$	> 82
		$p \rightarrow e^+ \pi^0 \pi^0$	> 147
Anti	lepton + meson	$n \rightarrow e^+ \pi^- \pi^0$	> 52
$N \rightarrow e^+ \pi$	> 158 (n), > 1600 (p)	$p \rightarrow \mu^+ \pi^+ \pi^-$	> 133
$N \rightarrow \mu^+ \pi$	> 100 (n), > 473 (p)	$p \rightarrow \mu^+ \pi^0 \pi^0$	> 101
$N \rightarrow \nu \pi$	> 112 (n), > 25 (p)	$n \rightarrow \mu^+ \pi^- \pi^0$	> 74
$p \rightarrow e^+ \eta$	> 313	$n \rightarrow e^+ K^0 \pi^-$	> 18
$\rho \rightarrow \mu^+ \eta$	> 126		Lepton + meson
$n \rightarrow \nu \eta$	> 158	$n \rightarrow e^{-} \pi^{+}$	> 65
$N \rightarrow e^+ \rho$	> 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
$\rho \rightarrow \mu^+ \omega$	> 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
$p \rightarrow e^+ K_I^0$	> 51	$p \rightarrow \mu^- \pi^+ \pi^+$	> 17
$N \rightarrow \mu^+ K$	> 26 (n)	$n \rightarrow \mu^- \pi^+ \pi^0$	> 34
$p \rightarrow \mu^+ K_c^0$	> 150	$p \rightarrow e^{-}\pi^{+}K^{+}$	> 75
$p \rightarrow \mu^+ K_0^0$	> 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
$p \rightarrow e^+ K^* (892)^0$	> 84	$p \rightarrow \mu^+ \gamma$	> 478
$N \rightarrow \nu K^*(892)$	> 78 (n)	$n \rightarrow \nu \gamma$	> 28
		$p \rightarrow e^+ \gamma \gamma$	> 100
		$n \rightarrow \nu \gamma \gamma$	> 219

Aparentemente somente em sistemas fora do equilíbrio



<u>Condições de Sakharov</u>

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.







Anti-próton decai com maior probabilidade que o próton.



Simetria de CP



Violação da simetria de CP











James Cronin

Val Fitch



Violação de CPP 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!!!!

→ 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> \rightarrow **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.

 $2 \rightarrow 3$ famílias de quarks Matriz de mistura $2X2 \Rightarrow 3X3$, 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>CabbiboKobayashiMaskawa (CKM)</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
◆ B⁰→ K⁺ π⁻ ACP = -9.7 ± 1.2 %



Violação de CP nos decaimentos dos mésons K's e B's, podem ser explicados pelo Modelo Padrão

 Entretanto ela não explica toda a violação de CP necessária para entender a assimetria matéria anti-matéria 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

<u>Necessária uma nova fonte importante</u> <u>de violação de CP</u>



Las Meninas de Velásquez a Picasso



<u>Novas fontes de violação de CP no equilíbrio termodinâmico?</u>



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

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



Processo dinâmicos de violação de 🗭

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

<u>**CP** violation \rightarrow T violation phase</u>

Que muda de sinal com a conjugação de carga.

<u>Objetivo:</u>

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

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



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

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

Se $q/p \neq p/q \rightarrow violação de GP$.

 $\Delta m \text{ parâmetro de oscilação: diferença de massa entre o B⁰ e o B⁰}$ $\Delta m = 17.7 \pm 0.08 \ 10^{12} \text{ s}^{-1} \text{ para o B}_{\text{s}}^{0} e \Delta m = 1.2 \pm 0.5 \ 10^{10} \text{ s}^{-1} \text{ para o D}^{0}$





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

 Γ (B⁰ (t) \rightarrow J/ Ψ K_s) = $|\langle J/\Psi$ K_s | T(t) | P⁰ $\rangle|^2$ é a probabilidade do B⁰ decair no estado final J/ Ψ 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</u> <u>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 $\phi_1 e \phi_2$ trocam de sinal com a conjugação de carga

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

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

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



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

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



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

$$egin{aligned} &A_{CP}(B^0 \!
ightarrow \! K^+ \pi^-) = -0.080 \pm 0.007\,(ext{stat}) \pm 0.003\,(ext{syst}), \ &A_{CP}(B^0_s \!
ightarrow \! K^- \pi^+) = 0.27 \pm 0.04\,(ext{stat}) \pm 0.01\,(ext{syst}). \end{aligned}$$



25





<u>Como observamos partículas com</u> <u>pequenas vidas medias?</u>



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





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



<u>Massa Invariante</u>

* Desintegração do bóson de gauge $Z^0 \rightarrow \mu^+ \mu^-$ Conservação do $M_z^2 = (P_{\nu Z})^2 = (P_{\nu}^{\mu +} + P_{\nu}^{\mu -})^2$ <u>C=1</u> $M_{\mu^+\mu^-}^2 = (P_{\mu^+}^{\nu} + P_{\mu^-}^{\nu})^2 = m_{\mu^+}^2 + m_{\mu^-}^2 + 2E_{\mu^+} \cdot E_{\mu^-} + 2\vec{P}_{\mu^-} \cdot \vec{P}_{\mu^+}$ $= m_{\mu^+}^2 + m_{\mu^-}^2 + 2\sqrt{|\vec{P}_{\mu^+}|^2 + m_{\mu^+}^2} \cdot \sqrt{|\vec{P}_{\mu^-}|^2 + m_{\mu^-}^2} + 2\vec{P}_{\mu^-} \cdot \vec{P}_{\mu^+}$





Observação dos eventos

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





$\frac{Massa\ Invariante}{B^+ \to K^+ K^- K^+}$

Desintegração de um méson em três corpos.

Conservação do quadri momento:

$$M_{B}^{2} = (P_{B}^{\nu})^{2} = (P_{K^{+}}^{\nu} + P_{K^{-}}^{\nu} + P_{K^{+}}^{\nu})^{2}$$







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

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

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



 $|M|^2 \Rightarrow$ **dinâmica**.



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

Estudo do B em estados intermediários:



• $B^{\pm} -> \pi^{\pm} \pi^{+} \pi^{-}$ • $B^{\pm} -> \pi^{\pm} K^{+} K^{-}$ • $B^{\pm} -> K^{\pm} K^{+} K^{-}$ • $B^{\pm} -> \pi^{\pm} \bar{p} p$ • $B^{\pm} -> K^{\pm} \bar{p} p$
Fases na análise de amplitudes

Signature de diferenças de fases nos Dalitz plot.

 $|\mathcal{M}|^2 = |a_{\pi^+\pi^-}|^2 + |a_{\pi^+\pi^0}|^2 + 2|a_{\pi^+\pi^-}|a_{\pi^+\pi^0}|$



Figure 1: $|a_{\pi^+\pi^-}| = 1, |a_{\pi^+\pi^0}| = 0$



Figure 2: $|a_{\pi^+\pi^-}| = 1, |a_{\pi^+\pi^0}| > 0$



Figure 3: * $|a_{\pi^+\pi^-}| = |a_{\pi^+\pi^0}| = 1, \Delta \Phi = 0^0$



Figure 4: * $|a_{\pi^+\pi^-}| = |a_{\pi^+\pi^0}| = 1, \Delta \Phi = 90^0$



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

- $M_i = BW_i X \Theta_i^J$
- BW Breit Wigner
- O^J_i função angular.
- $M_{T} = \sum a_{i} e^{i \delta i} M_{i}$
- δ_{i} fase de re-espalhamento

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





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.



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 \rightarrow 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

<u>Re-espalhamento em decaimentos em</u> <u>decaimentos de três corpos.</u>

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.



Mudança de sinal da fase com a conjugação de carga:

muda as interferências no Dalitz plot.



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

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

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

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

"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.

$$(P \text{ invariance} \Rightarrow g(0,1))$$

<u>Search for sources of *OP* in $B^- \rightarrow hhh$:</u> <u>Mirandizing</u>

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



Possibility of <u>probing regions</u> of the Dalitz plot looking at interference with P: 1- resonant intermediary asymmetries like: $A_{cp}(B^+ \rightarrow K^+ \rho^0)$ 2- P in interferences between intermediary resonant states with CP 44 model independent method



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



370.000 eventos 0.035ft-1



<u>O que esperávamos da distribuição de</u> violação de *P* no Dalitz plot



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



<u>O que esperávamos da distribuição de</u> <u>violação de CP no Dalitz plot</u>







Evidências experimentais de violação de CP; $B \rightarrow K = \pi + \pi - B \rightarrow K - K + K - (s=1)$ $B \rightarrow \pi - K + K - B \rightarrow \pi - \pi + \pi - (s=0)$

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.



 $\mathbf{B}^{-} \rightarrow \mathbf{K}^{-} \mathbf{\pi}^{+} \mathbf{\pi}^{-} \mathbf{e} \quad \mathbf{B}^{-} \rightarrow \mathbf{K}^{-} \mathbf{K}^{+} \mathbf{K}^{-}$

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



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

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









$N(B^{-}) = 10,289 \pm 110$

N(B^+)= 11,606 ± 117



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







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

 $N(B^{-}) = 10,289 \pm 110$

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



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

<u>**CP** violation in $B^+ \rightarrow hhh:</u>$ <u>Mirandizing</u></u>









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

 $N(B^{-}) = 10,289 \pm 110$

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



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



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











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

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



Total charge asymmetry:

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

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







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

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



Total charge asymmetry:

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

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



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-CONF-2012-028 - arXiv:1301.0283





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

LHCb-CONF-2012-028 - arXiv:1301.0283





B⁻ →**π**⁻ **π**⁺**π**⁻ and **B**⁻ →**π**⁻ **K**⁺ **K**⁻ **Dalitz plot** LHCb-CONF-2012-028 - *arXiv*:1301.0283







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





Comentários sobre os resultados experimentais.



Violação de OP observada nos quatro canais.

Positiva nos: B⁻→K⁻ π⁺π⁻ e B⁻→ π⁻ π⁺ π⁻
Negativa nos: B⁻→K⁻ K⁺K⁻ e B⁻→ π⁻K⁺K⁻

Distribuição da violação de P não uniforme no Dalitz plot: grande
 A assimetria em valores baixos das massas invariantes de K⁺K⁻ e π⁺π⁻, nenhuma evidência na região de baixa massa de π⁻K⁺.

 A distribuição de violação de P não segue as usuais estruturas ressonantes.





Invariância de CPT

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

> Vida média $\tau = 1 / \Gamma_{total} = 1 / \overline{\Gamma}_{total}$ $\Gamma_{total} = \Gamma_1 + \Gamma_2 + \Gamma_3 + \Gamma_4 + \Gamma_5 + \Gamma_6 + \dots$ $\overline{\Gamma}_{total} = \overline{\Gamma}_1 + \overline{\Gamma}_2 + \overline{\Gamma}_3 + \overline{\Gamma}_4 + \overline{\Gamma}_5 + \overline{\Gamma}_6 + \dots$

Violação de P: p. ex. Γ₁ > Γ₁.
Para não haver violação de CPT:

 $\Gamma_2 + \Gamma_3 + \Gamma_4 + \Gamma_5 + \Gamma_6 + \dots < \overline{\Gamma}_2 + \overline{\Gamma}_3 + \overline{\Gamma}_4 + \overline{\Gamma}_5 + \overline{\Gamma}_6 + \dots$

na exata proporção.

• Implica em uma interação entre os estados finais do decaimento Γ_1 e um, ou alguns, dos estados finais dos outros decaimentos.



Interação de estado final

Interação entre hadrons conserva estranheza e charm,



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

 $\Gamma_{total} = \overline{\Gamma}_{total} \Rightarrow \Gamma_{f} = \overline{\Gamma}_{f}, \quad f = flavour$
 $\Gamma_{f} = \Gamma_{f1} + \Gamma_{f2} + \Gamma_{f3} + \Gamma_{f4} + \dots$
 $\overline{\Gamma}_{f} = \overline{\Gamma}_{f1} + \overline{\Gamma}_{f2} + \overline{\Gamma}_{f3} + \overline{\Gamma}_{f4} + \dots$

Violação de CP ⇒ Γ_{f1} > Γ_{f1}.
Para não haver violação de CPT:
Γ_{f2} + Γ_{f3} + Γ_{f4} +
< Γ_{f2} + Γ_{f3} + Γ_{f4} +
na exata proporção.

Violação direta de **(P:** Diferença da quantidade de uma determinada desintegração de uma partícula em relação a sua anti-partícula.

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



Phases ϕ_1 cand ϕ_2 change signal with charge conjugate operation.

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

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

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



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

- $\bullet B^+ \rightarrow K^{o} \pi^+$
- $B^+ > K^+ \pi^0$
- $\bullet B^+ \rightarrow K^+ \eta$
- $B^+ > K^0 \pi^+ \pi^0$
- $\bullet B^+ > K^+ K^0 K^0$
- ◆ $B^+ > K^+ K^+ K^-$
- $B^+ \rightarrow K^{o} \pi^+ \eta^{o}$
- $B^+ \rightarrow K^+ \pi^0 \eta^0$
- Plus 4 bodys

Com qual probabilidade as interações hadronicas permitem essas transições?

Violação de *Patravés de uma dinâmica hadronica: Wolfenstein (Phys.Rev. D43 (1991) 151-156)_*

Decaimento da partícula P em uma família com somente dois estados finais: $\alpha \in \beta$

Expansão em primeira ordem na interação hadronica de estado final. Mesmas equações para as antipartículas.



Subtraindo as amplitudes quadradas entre partícula e antí-partícula

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

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

Satisfazendo CPT:

$$\Delta \alpha + \Delta \beta = 0$$



<u>Distribuição de eventos na</u> <u>desintegração $B^+ \rightarrow K^+ \pi^+ \pi^-$ </u>.



Mais de 90% dos eventos abaixo de $M^2_{K+\pi}$ e $M^2_{\pi+\pi}$ = 2.5GeV² Interação 2 + 1.

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



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



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



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 $\underline{\pi}^{+}\underline{\pi}^{-} \rightarrow \underline{\pi}^{+}\underline{\pi}^{-}$.

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



Fig. 6. Argand diagrams (Im T_1^I versus Re T_1^I) for the partial wave amplitudes from the energydependent fit. Numbers indicate the $\pi\pi$ energy.

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

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

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





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









 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 $\pi^+\pi^-$ tem sinais opostos aos K^+K^- .

 2- A distribuição da violação de CP não segue as usuais estruturas ressonantes e apresenta uma distribuição não uniforme no Dalitz plot.

◆ 3- A quantidade da assimetria de 𝔅P entre B⁻→K⁻ π⁺π⁻ e B⁻→K⁻ K⁺K⁻ por um lado e B⁻→ π⁻π⁺ π⁻ e B⁻→ π⁻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 QP são semelhantes.

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





Resultados experimental, para os canais barionicos: $B^{\pm} \rightarrow \pi^{\pm} p \overline{p}$ and $B^{\pm} \rightarrow K^{\pm} p \overline{p}$ 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 ÇP positiva e negativa.

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

Backup

$$\begin{split} \sum_{\lambda} |\langle \lambda_{out} | H_w | h \rangle|^2 &= \sum_{\lambda} |\sum_{\overline{\lambda}'} S^*_{\overline{\lambda}', \overline{\lambda}} \langle \overline{\lambda}'_{out} | H_w | \overline{h} \rangle|^2 \\ &= \sum_{\overline{\lambda}'} \langle \overline{\lambda}''_{out} | \overline{\lambda}_{in} \rangle \langle \overline{\lambda}_{in} | \overline{\lambda}'_{out} \rangle \langle \overline{\lambda}'_{out} | H_w | \overline{h} \rangle \langle \overline{\lambda}''_{out} | H_w | \overline{h} \rangle^* \\ &= \sum_{\lambda} |\langle \overline{\lambda}_{out} | H_w | \overline{h} \rangle|^2 . \end{split}$$

Backup

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

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

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

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

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