

# O vértice $J/\psi D_s^* D_s^*$ sob a análise das Regras de Soma da QCD

XXII Retinha

Bruno Osório, Mirian Bracco,  
Angelo Cerqueira e  
Marcelo Chiapparini

Universidade do Estado do Rio de Janeiro





# Tópicos

## 1 Introdução

Objetivo

Motivação

## 2 Desenvolvimento

O lado da QCD

O lado fenomenológico

Fatores de forma

## 3 Resultados

## 4 Conclusão



# Objetivo

Calcular os fatores de forma e a constante de acoplamento do vértice mesônico  $J/\psi D_s^* D_s^*$  usando as Regras de Soma da QCD(RSQCD).



# Motivação

## Y(4140)

Em 2009, o CDF indicou a existência de um novo méson charmoso, chamado de  $Y(4140)$ . Eles observaram que este méson decai como:

- $Y(4140) \rightarrow J/\psi\phi$  (arxiv:0903.2229v2 [hep-ex])

Neste mesmo ano, várias hipóteses foram levantadas sobre a constituição deste méson, onde destaco o estudo do Raphael, Marina e Miran que sugere que o  $Y(4140)$  seja um estado molecular  $D_s^*\bar{D}_s^*$ , cujo decaimento seria então:

- $Y(4140) \rightarrow D_s^*\bar{D}_s^* \rightarrow J/\psi\phi$  (arxiv:0903.5540 [hep-ph])

# Motivação

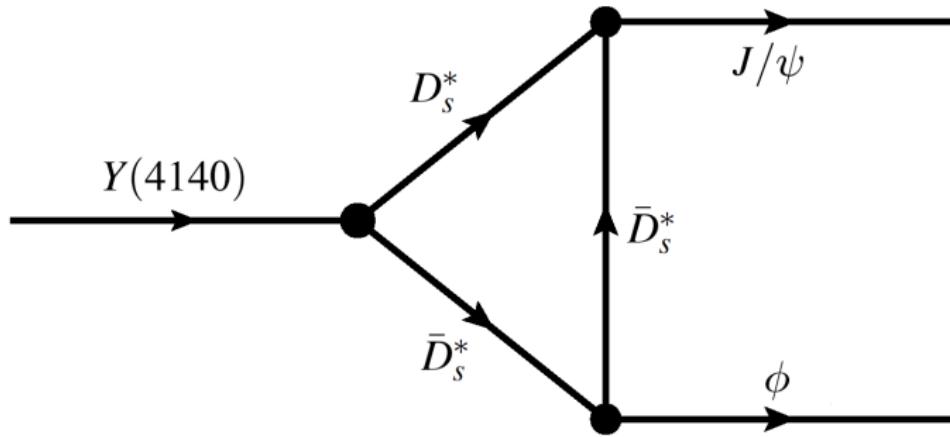


Figura: Decaimento  $Y(4140) \rightarrow D_s^* \bar{D}_s^* \rightarrow J/\psi \phi$

# Motivação

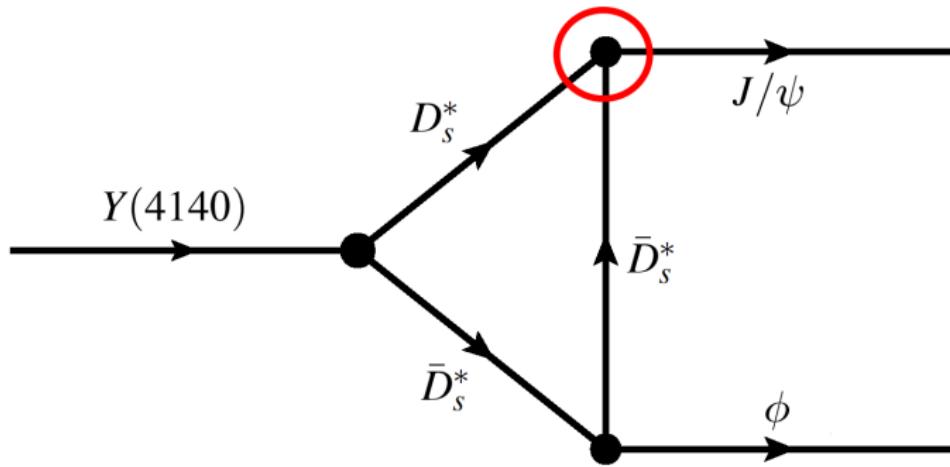


Figura: Decaimento  $Y(4140) \rightarrow D_s^* \bar{D}_s^* \rightarrow J/\psi \phi$

# Motivação

X(4350) (arxiv:1006.1276 [hep-ph])

$$X(4350) \rightarrow D_s^* \bar{D}_{s0}^* \rightarrow J/\psi \phi$$

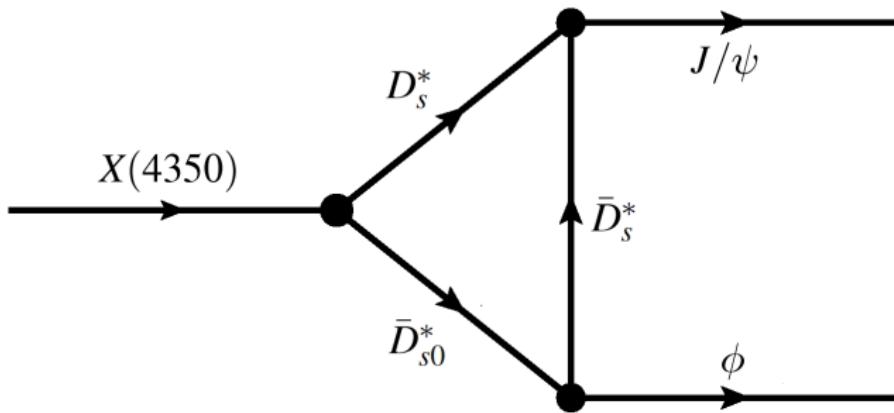


Figura: Decaimento  $X(4350) \rightarrow D_s^* \bar{D}_{s0}^* \rightarrow J/\psi \phi$

# Motivação

X(4350) (arxiv:1006.1276 [hep-ph])

$$X(4350) \rightarrow D_s^* \bar{D}_{s0}^* \rightarrow J/\psi \phi$$

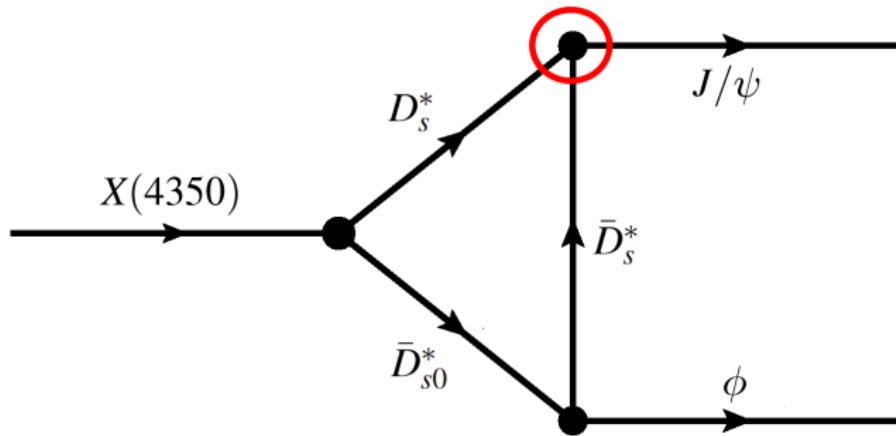


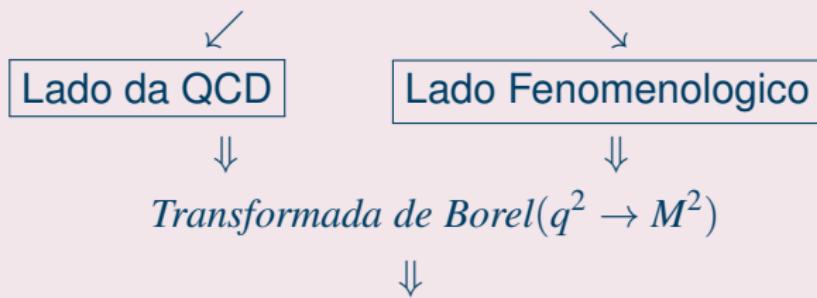
Figura: Decaimento  $X(4350) \rightarrow D_s^* \bar{D}_{s0}^* \rightarrow J/\psi \phi$



# Regras de Soma (de novo)

## Esquema básico

$$\Pi(p, p') = \int \langle 0' | T\{j_C(x)j_B^\dagger(y)j_A^\dagger(0)\} | 0' \rangle e^{ip'x} e^{-iqy} d^4x d^4y$$



$$\mathfrak{B}_{M^2} \mathfrak{B}_{M'^2} [\Pi^{QCD}(q^2)] = \mathfrak{B}_{M^2} \mathfrak{B}_{M'^2} [\Pi^{Ph}(q^2)]$$

# Regras de Soma (de novo)

Onde as correntes  $j_A$ ,  $j_B$  e  $j_C$  se referem aos mésons  $M_A$ ,  $M_B$  e  $M_C$  como dados pela figura abaixo:

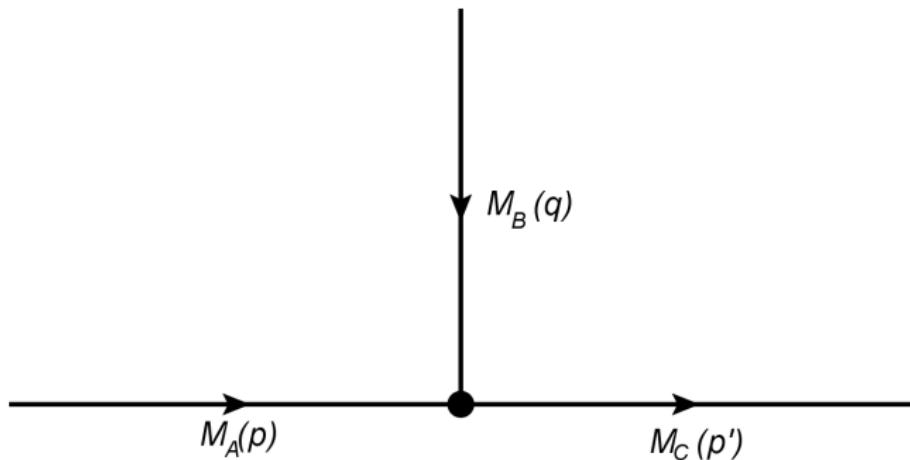


Figura: Vértice de interação entre três mésons.

# Regras de Soma (de novo)

Neste trabalho teremos **dois** casos para estudar:

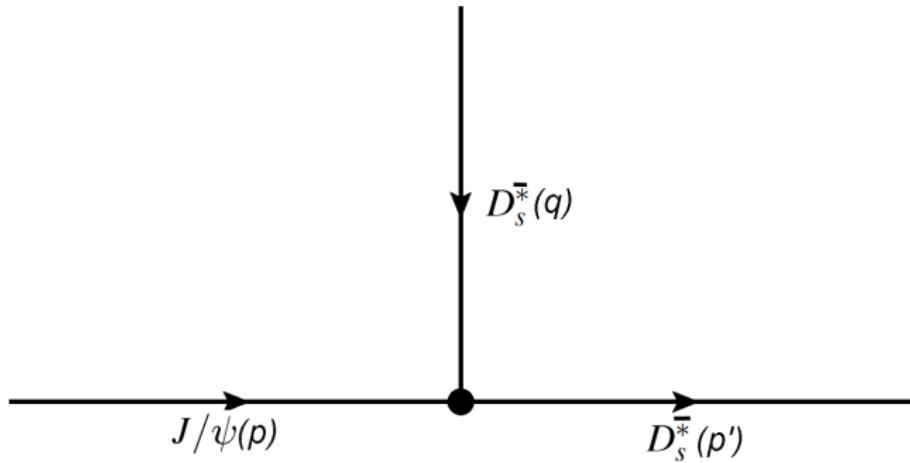


Figura: Vértice  $J/\psi D_s^* D_s^*$  com  $D_s^*$  off-shell.

# Regras de Soma (de novo)

Neste trabalho teremos **dois** casos para estudar:

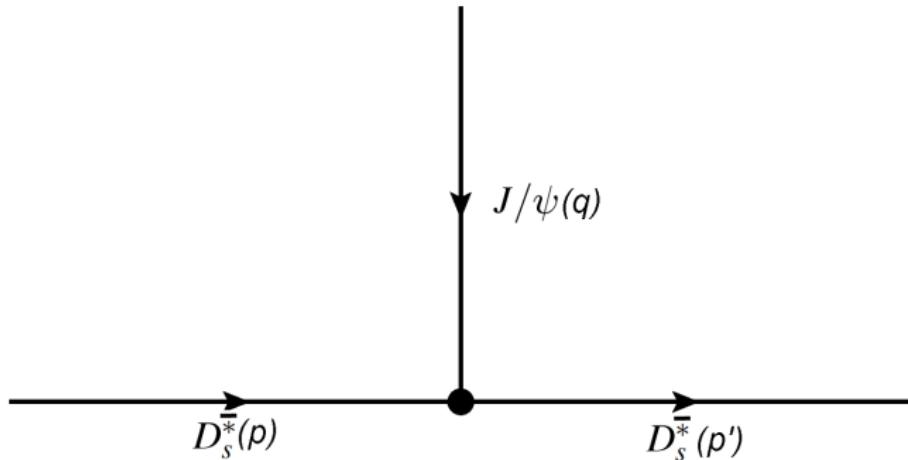
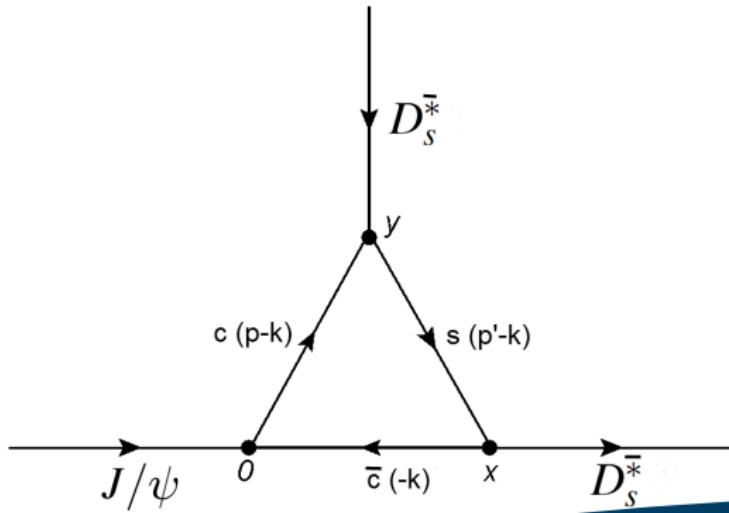


Figura: Vértice  $J/\psi D_s^* D_s^*$  com  $J/\psi$  off-shell.

# O lado da QCD - $D_s^*$ off-shell

Correntes com graus de liberdade de quarks

$$J/\psi \rightarrow j_A = \bar{c}\gamma_\mu c \quad D_s^{*-} \rightarrow j_{B(C)} = \bar{c}\gamma_{\nu(\lambda)} s$$



# O lado da QCD - $D_s^*$ off-shell

Fazendo todas as contas necessárias, obtemos a dupla descontinuidade:

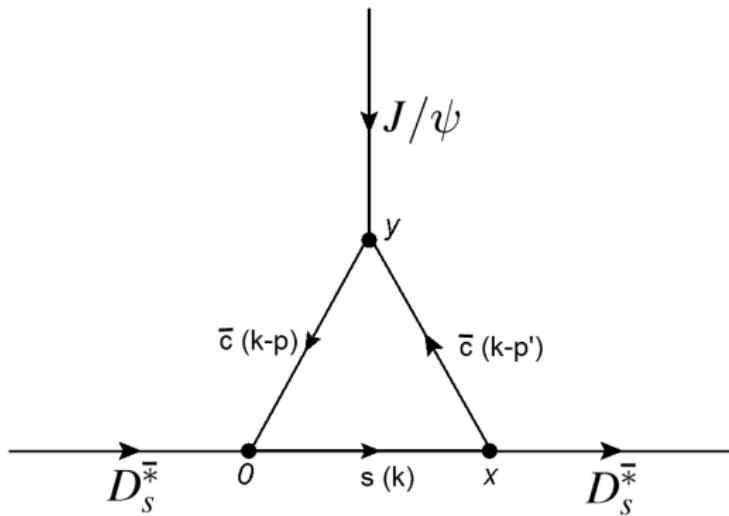
$$DD \left[ \Pi^{pert(D_s^*)}(s, u, t) \right] = \frac{-3}{\sqrt{\lambda}} \left( \Gamma_1^{D_s^*} p_\mu p_\nu p_\lambda + \Gamma_2^{D_s^*} p'_\mu p'_\nu p'_\lambda + \Gamma_3^{D_s^*} p'_\mu p_\nu p_\lambda + \right. \\ \Gamma_4^{D_s^*} p_\mu p'_\nu p_\lambda + \Gamma_5^{D_s^*} p_\mu p_\nu p'_\lambda + \Gamma_6^{D_s^*} p_\mu p'_\nu p'_\lambda + \Gamma_7^{D_s^*} p'_\mu p_\nu p'_\lambda + \Gamma_8^{D_s^*} p'_\mu p'_\nu p_\lambda + \\ \Gamma_9^{D_s^*} g_{\mu\nu} p_\lambda + \Gamma_{10}^{D_s^*} g_{\mu\nu} p'_\lambda + \Gamma_{11}^{D_s^*} g_{\mu\lambda} p_\nu + \Gamma_{12}^{D_s^*} g_{\mu\lambda} p'_\nu + \Gamma_{13}^{D_s^*} g_{\nu\lambda} p_\mu + \\ \left. \Gamma_{14}^{D_s^*} g_{\nu\lambda} p'_\mu \right) \quad (1)$$

onde  $s > 0$  e  $u > t$ .

# O lado da QCD - $J/\psi$ off-shell

Correntes com graus de liberdade de quarks

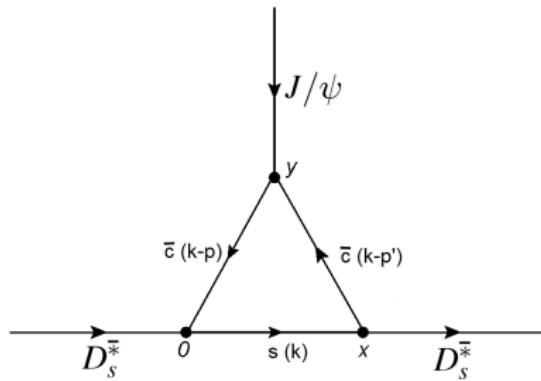
$$J/\psi \rightarrow j_B = \bar{c}\gamma_\mu c \quad D_s^{*-} \rightarrow j_{A(C)} = \bar{c}\gamma_{\nu(\lambda)} s$$



# O lado da QCD - $J/\psi$ off-shell

Correntes com graus de liberdade de quarks

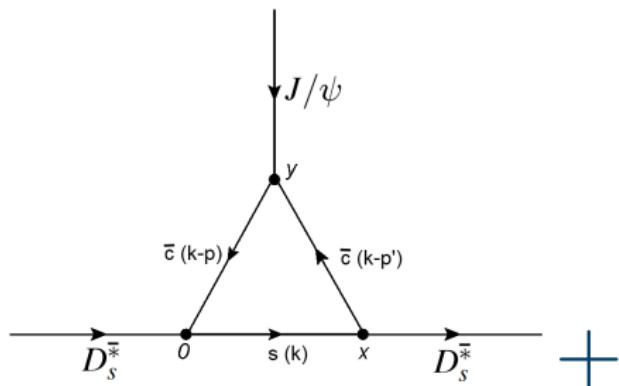
$$J/\psi \rightarrow j_B = \bar{c}\gamma_\mu c \quad D_s^{*-} \rightarrow j_{A(C)} = \bar{c}\gamma_{\nu(\lambda)} s$$



# O lado da QCD - $J/\psi$ off-shell

Correntes com graus de liberdade de quarks

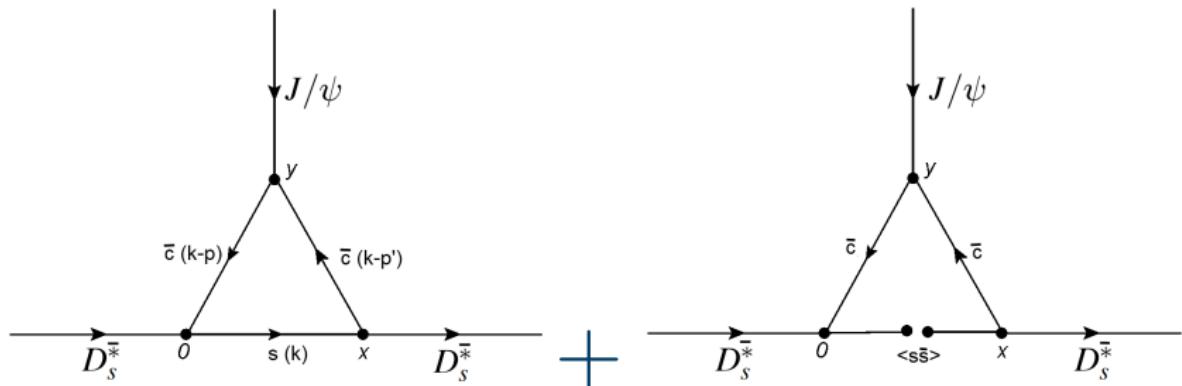
$$J/\psi \rightarrow j_B = \bar{c}\gamma_\mu c \quad D_s^{*-} \rightarrow j_{A(C)} = \bar{c}\gamma_{\nu(\lambda)} s$$



# O lado da QCD - $J/\psi$ off-shell

Correntes com graus de liberdade de quarks

$$J/\psi \rightarrow j_B = \bar{c}\gamma_\mu c \quad D_s^{*-} \rightarrow j_{A(C)} = \bar{c}\gamma_{\nu(\lambda)} s$$



# O lado da QCD - $J/\psi$ off-shell

Mais uma vez, fazendo todas as contas:

$$DD \left[ \Pi^{pert(J/\psi)}(s, u, t) \right] = \frac{-3}{\sqrt{\lambda}} \left( \Gamma_1^{J/\psi} p_\mu p_\nu p_\lambda + \Gamma_2^{J/\psi} p'_\mu p'_\nu p'_\lambda + \Gamma_3^{J/\psi} p'_\mu p_\nu p_\lambda + \Gamma_4^{J/\psi} p_\mu p'_\nu p_\lambda + \Gamma_5^{J/\psi} p_\mu p_\nu p'_\lambda + \Gamma_6^{J/\psi} p_\mu p'_\nu p'_\lambda + \Gamma_7^{J/\psi} p'_\mu p_\nu p'_\lambda + \Gamma_8^{J/\psi} p'_\mu p'_\nu p_\lambda + \Gamma_9^{J/\psi} g_{\mu\nu} p_\lambda + \Gamma_{10}^{J/\psi} g_{\mu\nu} p'_\lambda + \Gamma_{11}^{J/\psi} g_{\mu\lambda} p_\nu + \Gamma_{12}^{J/\psi} g_{\mu\lambda} p'_\nu + \Gamma_{13}^{J/\psi} g_{\nu\lambda} p_\mu + \Gamma_{14}^{J/\psi} g_{\nu\lambda} p'_\mu \right) \quad (2)$$

onde  $s > m_c^2 - m_s^2$  e  $u > t + m_s^2 - m_c^2$ .

Enquanto a contribuição do condensado é:

$$\Pi^{<\bar{s}\bar{s}>} = \frac{m_c < s\bar{s} > [g_{\mu\nu} p'_\lambda - g_{\mu\lambda} p'_\nu + g_{\lambda\nu} p'_\mu + g_{\lambda\nu} p_\mu - g_{\mu\nu} p'_\lambda + g_{\mu\lambda} p_\nu]}{(p'^2 - m_c^2)(p^2 - m_c^2)}$$



# O lado da QCD - final

## Transformada de Borel

$$\tilde{\Pi}(M^2) = \mathfrak{B}_{M^2} [\Pi(q^2)] = \lim_{\substack{-q^2, n \rightarrow \infty \\ -q^2/n = M^2}} \frac{(-q^2)^{n+1}}{n!} \left( \frac{d}{dq^2} \right)^n \Pi(q^2) \quad (3)$$

## Exemplos úteis:

$$\mathfrak{B}_{M^2} \left[ \frac{1}{m^2 - q^2} \right] = e^{-m^2/M^2} \quad (4)$$

$$\mathfrak{B}_{M^2} \left[ (q^2)^k \right] = 0 \quad (5)$$

# O lado da QCD - final

## Dupla Transformada de Borel do lado da QCD

$$\begin{aligned} \mathfrak{B}_{M^2, M'^2} [\Pi^{QCD}(q^2)] = & -\frac{1}{4\pi^2} \int_{s_{inf}}^{s_{sup}} \int_{u_{inf}}^{u_{sup}} DD [\Pi^{pert}(s, u)] e^{-s/M^2} \\ & \times e^{-u/M'^2} ds du + \mathfrak{B}_{M^2, M'^2} [\Pi^{<q\bar{q}>}] \quad (6) \end{aligned}$$

## Limites de integração

Caso  $D_s^*$  off-shell:

$$s_{sup} = (m_{J/\psi} + \Delta_s)^2$$

$$u_{sup} = (m_{D_s^*} + \Delta_u)^2$$

Caso  $J/\psi$  off-shell:

$$s_{sup} = (m_{D_s^*} + \Delta_s)^2$$

$$u_{sup} = (m_{D_s^*} + \Delta_u)^2$$

# Lado fenomenológico

## Dupla Transformada de Borel do lado fenomenológico

$$\begin{aligned} \mathfrak{B}_{M^2} \mathfrak{B}_{M'^2} [\Pi^{Ph}(q^2)] &= \frac{\langle 0 | j_C | M_C(p') \rangle \langle M_B(q) | j_B^\dagger | 0 \rangle \langle M_A(p) | j_A^\dagger | 0 \rangle \Gamma(p, p')}{(q^2 - m_B^2)} \\ &\times e^{-m_A^2/M^2} e^{-m_C^2/M'^2} \end{aligned} \quad (7)$$

## Caso $D_s^*$ off-shell

$$\begin{aligned} \langle 0 | j_\lambda | D_s^*(p') \rangle &= f_{D_s^*} m_{D_s^*} \epsilon_\lambda(p'), \quad \langle D_s^*(q) | j_\nu | 0 \rangle = f_{D_s^*} m_{D_s^*} \epsilon_\nu^*(q) \\ \langle J/\psi(p) | j_\mu | 0 \rangle &= f_{J/\psi} m_{J/\psi} \epsilon_\mu^*(p) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Gamma &= -F^{(D_s^*)(q^2)} \left[ \epsilon^\beta(p) \epsilon_\beta(q) \epsilon^{*\alpha}(p') (q_\alpha - p_\alpha) - \epsilon^\alpha(p) \epsilon^\beta(q) \epsilon_\beta^*(p') \times \right. \\ &\quad \left. (q_\alpha + p'_\alpha) + \epsilon^\beta(p) \epsilon^\alpha(q) \epsilon_\beta^*(p') (p'_\alpha + p_\alpha) \right] \end{aligned}$$

# Lado fenomenológico

## Dupla Transformada de Borel do lado fenomenológico

$$\begin{aligned} \mathfrak{B}_{M^2} \mathfrak{B}_{M'^2} [\Pi^{Ph}(q^2)] &= \frac{\langle 0 | j_C | M_C(p') \rangle \langle M_B(q) | j_B^\dagger | 0 \rangle \langle M_A(p) | j_A^\dagger | 0 \rangle \Gamma(p, p')}{(q^2 - m_B^2)} \\ &\times e^{-m_A^2/M^2} e^{-m_C^2/M'^2} \end{aligned} \quad (7)$$

## Caso $J/\psi$ off-shell

$$\begin{aligned} \langle 0 | j_\lambda | D_s^*(p') \rangle &= f_{D_s^*} m_{D_s^*} \epsilon_\lambda(p'), \quad \langle D_s^*(p) | j_\nu | 0 \rangle = f_{D_s^*} m_{D_s^*} \epsilon_\nu^*(p) \\ \langle J/\psi(q) | j_\mu | 0 \rangle &= f_{J/\psi} m_{J/\psi} \epsilon_\mu^*(q) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Gamma = -F^{(J/\psi)(q^2)} \left[ & \epsilon^\beta(q) \epsilon_\beta(p) \epsilon^{*\alpha}(p') (p_\alpha - q_\alpha) - \epsilon^\alpha(q) \epsilon^\beta(p) \epsilon_\beta^*(p') \times \right. \\ & \left. (p_\alpha + p'_\alpha) + \epsilon^\beta(q) \epsilon^\alpha(p) \epsilon_\beta^*(p') (p'_\alpha + q_\alpha) \right] \end{aligned}$$

# Lado fenomenológico

## Dupla Transformada de Borel do lado fenomenológico

$$\begin{aligned} \mathfrak{B}_{M^2} \mathfrak{B}_{M'^2} [\Pi^{Ph}(q^2)] &= \frac{\langle 0 | j_C | M_C(p') \rangle \langle M_B(q) | j_B^\dagger | 0 \rangle \langle M_A(p) | j_A^\dagger | 0 \rangle \Gamma(p, p')}{(q^2 - m_B^2)} \\ &\times e^{-m_A^2/M^2} e^{-m_C^2/M'^2} \end{aligned} \quad (7)$$

## Estruturas tensoriais ausentes

- No caso  $D_s^*$  off-shell, o lado fenomenológico **não** conta com as estruturas  $p'_\mu p_\nu p_\lambda$  e  $p'_\mu p'_\nu p_\lambda$ .
- No caso  $J/\psi$  off-shell, o lado fenomenológico **não** conta com as estruturas  $p_\mu p'_\nu p_\lambda$  e  $p'_\mu p'_\nu p_\lambda$ .

# Alguns fatores de forma

## Caso $D_s^*$ off-shell

$$F^{D_s^*}(Q^2) = \frac{\frac{3}{4\pi^2\sqrt{\lambda}} \int_{s_{inf}}^{ssup} \int_{u_{inf}}^{usup} \Gamma_1(s,u) e^{-s/M^2} e^{-u/M'^2} ds du}{\frac{f_{D_s^*}^2 f_{J/\psi} m_{J/\psi} e^{-m_{J/\psi}^2/M^2} e^{-m_{D_s^*}^2/M'^2}}{Q^2 + m_{D_s^*}^2}}$$

## Caso $J/\psi$ off-shell

$$F^{J/\psi}(Q^2) = \frac{\frac{3}{4\pi^2\sqrt{\lambda}} \int_{s_{inf}}^{ssup} \int_{u_{inf}}^{usup} \Gamma_{10}(s,u) e^{-s/M^2} e^{-u/M'^2} ds du + m_c < s\bar{s} > e^{-m_c^2/M^2} e^{-m_c^2/M'^2}}{- (2m_{D_s^*}^2 + Q^2) \frac{f_{D_s^*}^2 f_{J/\psi} m_{J/\psi} e^{-m_{D_s^*}^2/M^2} e^{-m_{D_s^*}^2/M'^2}}{Q^2 + m_{J/\psi}^2}}$$

# Quantidades utilizadas

Para as contas deste vértice, foram utilizados os seguintes valores numéricos comuns aos dois diagramas off-shell:

Quantidade	Valor
$m_{D_s^*}$	$2.1123 \pm 0.0005 GeV$
$m_{J/\psi}$	$3.096916 \pm 0.000011 GeV$
$m_s$	$0.104^{+0.026}_{-0.034} GeV$
$m_c$	$1.27^{+0.07}_{-0.11} GeV$
$f_{J/\psi}$	$0.416 GeV$
$f_{D_s^*}$	$0.272 GeV$
$\langle \bar{s}s \rangle$	$(0.8 \pm 0.2) \langle \bar{q}q \rangle$
Janela de $Q^2$	$[1.0, 4.0] GeV^2$

# Demais parâmetros

Como determinar os valores de  $M^2$ ,  $\Delta_s$  e  $\Delta_u$ ?

- Iremos trabalhar dentro da janela de Borel =  $[M_{inf}^2, M_{sup}^2]$ , onde temos que a contribuição do polo fica entre 50% e 90% e a contribuição do condensado de quarks é sempre menor que 30%.
- Não iremos especificar um valor para  $M^2$ . Ao invés disso, iremos calcular o valor médio do fator de forma dentro da janela de Borel.
- A janela de Borel varia com  $\Delta_s$  e  $\Delta_u$ . Os valores ideais de  $\Delta_s$  e  $\Delta_u$  serão aqueles que levam à janela mais estável.

# Exemplo de saída do programa

```
Ds off - PPP até 4 - sugestao.txt ...
Arquivo Editar Formatar Exibir Ajuda

2.5000    1.3044    2.2935
3.2500    1.0670    1.3213
4.0000    .8806    .4705

Delta_s= .8 Delta_u= .6
Janela de Borel = [ 4.300, 5.700]
1.0000    2.1311    4.1511
1.7500    1.7421    2.7364
2.5000    1.4507    1.5385
3.2500    1.2211    .4864
4.0000    1.0359    .4928

Delta_s= .8 Delta_u= .7
Janela de Borel = [ 4.830, 6.700]
1.0000    2.2973    3.0223
1.7500    1.9351    1.5338
2.5000    1.6471    .3144
3.2500    1.4144    .7472
4.0000    1.2240    1.6955

Delta_s= .8 Delta_u= .8
Janela de Borel = [ 5.500, 7.900]
1.0000    2.5166    1.3972
1.7500    2.1777    .0150
2.5000    1.8920    1.1151
3.2500    1.6550    2.0753
4.0000    1.4565    2.9421

Sugestão de parâmetros:
Delta_s= .5 Delta_u= .6
Janela de Borel = [ 4.720, 6.100]
```

```
Ds off - PPP até 4 - sugestao.txt ...
Arquivo Editar Formatar Exibir Ajuda

Delta_s= .5 Delta_u= .5
Janela de Borel = [ 4.100, 5.110]
1.0000    2.1444    3.1537
1.7500    1.7050    2.1685
2.5000    1.3768    1.3270
3.2500    1.1258    .5644
4.0000    .9303    .1433

Delta_s= .5 Delta_u= .6
Janela de Borel = [ 4.720, 6.100]
1.0000    2.3614    1.8013
1.7500    1.9214    .9396
2.5000    1.5877    .1856
3.2500    1.3263    .5120
4.0000    1.1181    1.1530

Delta_s= .5 Delta_u= .7
Janela de Borel = [ 5.530, 7.410]
1.0000    2.6989    .1223
1.7500    2.2250    .5187
2.5000    1.8671    1.1085
3.2500    1.5858    1.6818
4.0000    1.3584    2.2261

Delta_s= .5 Delta_u= .8
Janela de Borel = [ 6.510, 8.800]
1.0000    3.1991    1.6522
1.7500    2.6422    1.8777
2.5000    2.2349    2.2326
3.2500    1.9170    2.6249
4.0000    1.6607    3.0264
```



# As relações entre $M^2$ e $M'^2$

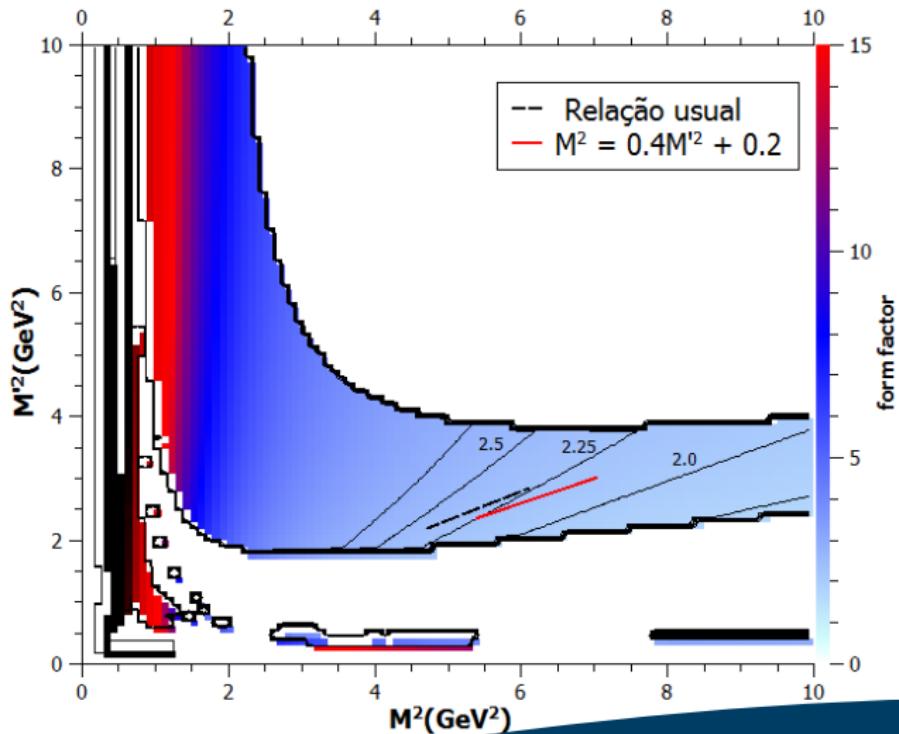
## Caso $D_s^*$ off-shell

$$\frac{M'^2}{M^2} = \frac{m_{D_s^*}^2}{m_{J/\psi}^2}$$

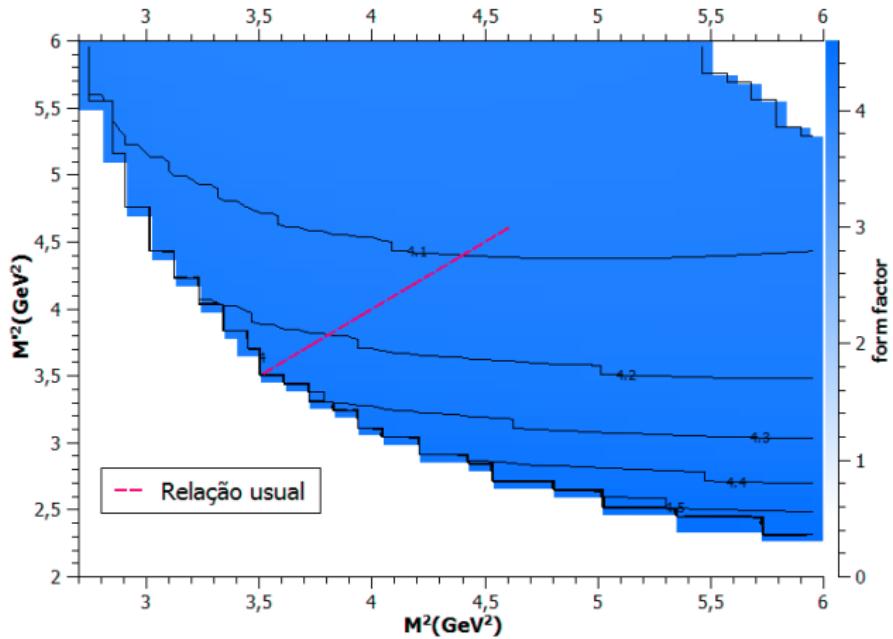
## Caso $J/\psi$ off-shell

$$\frac{M'^2}{M^2} = \frac{m_{D_s^*}^2}{m_{D_s^*}^2}$$

# As relações entre $M^2$ e $M'^2$



# As relações entre $M^2$ e $M'^2$



# Estruturas com resultados ruins

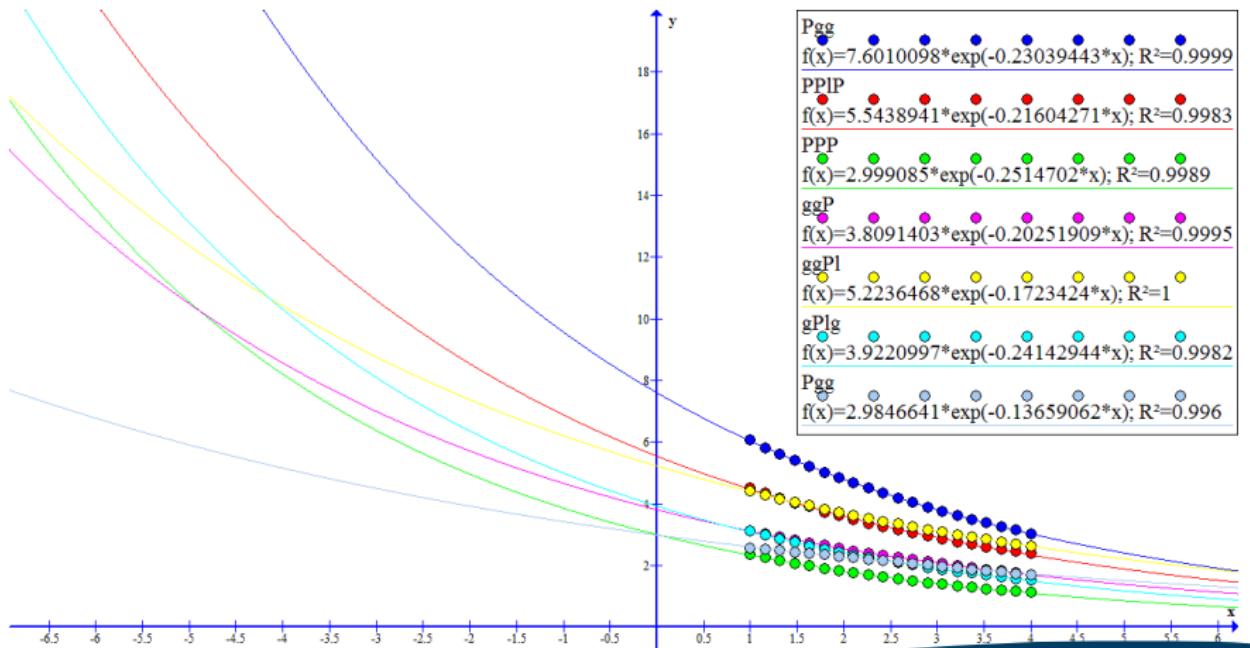
## Caso $D_s^*$ off-shell

- $g_{\mu\lambda}P_\nu$  - Não respeita polo/contínuo.
- $P'_\mu P'_\nu P'_\lambda$ ,  $P'_\mu P_\nu P'_\lambda$  e  $P_\mu P'_\nu P'_\lambda$  - Fator de forma negativo.
- $P_\mu P_\nu P'_\lambda$  - O programa dá erro em uma parte dos cálculos.
- $g_{\nu\lambda}P'_\mu$  - Fator de forma muito grande.

## Caso $J/\psi$ off-shell

- $g_{\mu\lambda}P_\nu$ ,  $g_{\nu\lambda}P_\mu$  e  $g_{\nu\lambda}P'_\mu$  - Não respeitam polo/contínuo.
- $P'_\mu P'_\nu P'_\lambda$ ,  $P'_\mu P_\nu P'_\lambda$ ,  $P_\mu P'_\nu P'_\lambda$ ,  $P_\mu P_\nu P_\lambda$  e  $P_\mu P_\nu P'_\lambda$  - Não possuem condensado.

# Resultados p/ $D_s^*$ off-shell



# Resultados p/ $D_s^*$ off-shell

As seguintes estruturas puderam ser muito bem fitadas exponencialmente:

- $g_{\nu\lambda}P_\mu \rightarrow g = 5.49, \Delta_s = 0.7 \text{ e } \Delta_u = 0.5 GeV. \sigma \approx 3\%.$
- $g_{\mu\nu}P_\lambda \rightarrow g = 9.40, \Delta_s = 0.6 \text{ e } \Delta_u = 0.5 GeV. \sigma \approx 3.2\%.$
- $g_{\mu\nu}P'_\lambda \rightarrow g = 11.27, \Delta_s = 0.6 \text{ e } \Delta_u = 0.6 GeV. \sigma \approx 4\%.$
- $g_{\mu\lambda}P'_\nu \rightarrow g = 11.51, \Delta_s = 0.3 \text{ e } \Delta_u = 0.6 GeV. \sigma \approx 1.5\%.$
- $P_\mu P'_\nu P_\lambda \rightarrow g = 14.53, \Delta_s = 0.4 \text{ e } \Delta_u = 0.6 GeV. \sigma \approx 2\%.$
- $P_\mu P_\nu P_\lambda \rightarrow g = 9.21, \Delta_s = 0.5 \text{ e } \Delta_u = 0.6 GeV. \sigma \approx 1.8\%.$

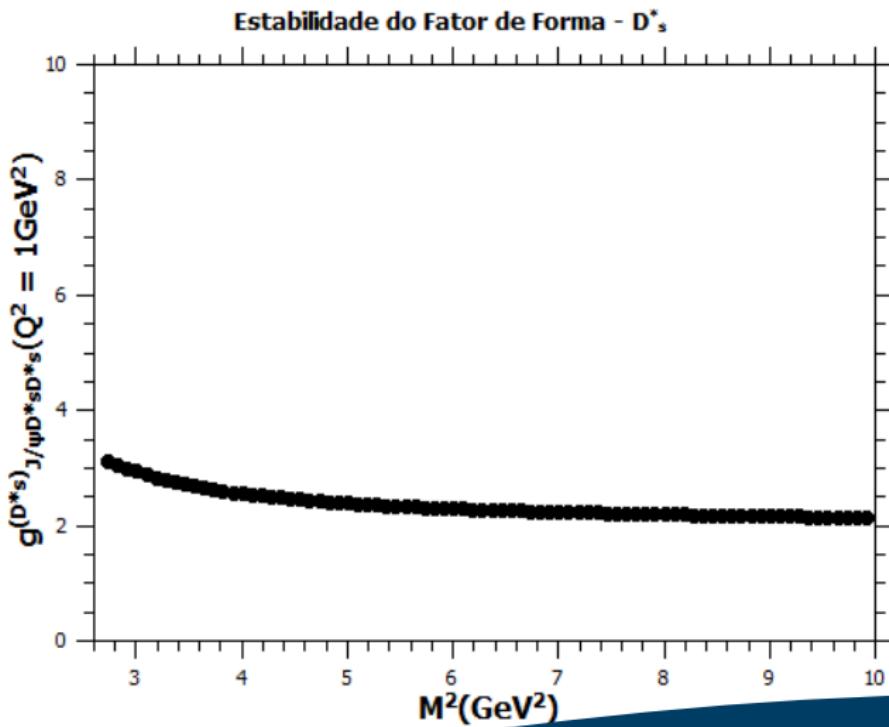
# Resultados p/ $D_s^*$ off-shell

As seguintes estruturas puderam ser muito bem fitadas exponencialmente:

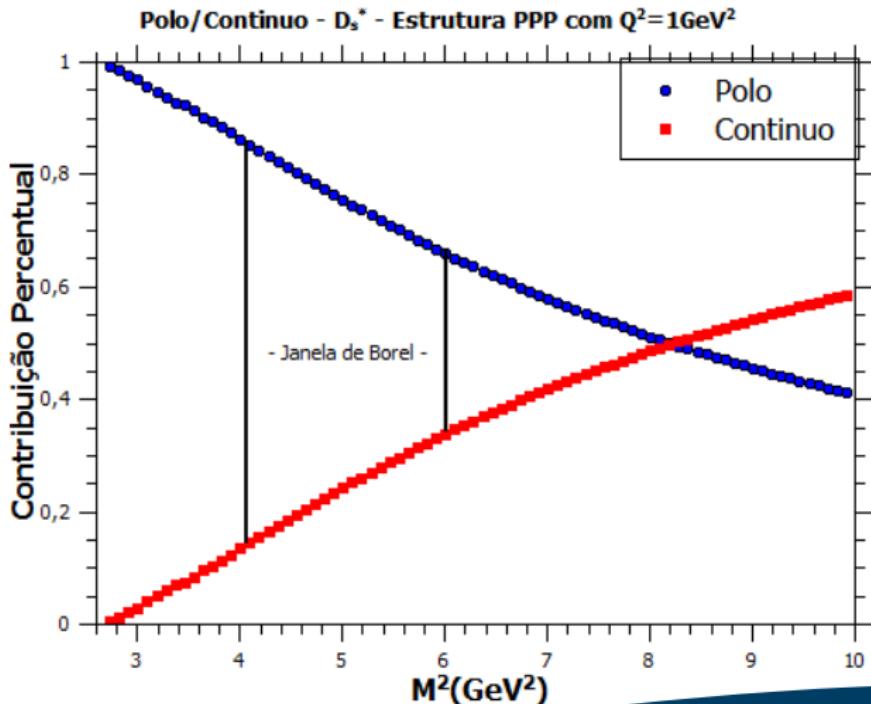
- $g_{\nu\lambda}P_\mu \rightarrow g = 5.49, \Delta_s = 0.7 \text{ e } \Delta_u = 0.5 \text{ GeV. } \sigma \approx 3\%.$
- $g_{\mu\nu}P_\lambda \rightarrow g = 9.40, \Delta_s = 0.6 \text{ e } \Delta_u = 0.5 \text{ GeV. } \sigma \approx 3.2\%.$
- $g_{\mu\nu}P'_\lambda \rightarrow g = 11.27, \Delta_s = 0.6 \text{ e } \Delta_u = 0.6 \text{ GeV. } \sigma \approx 4\%.$
- $g_{\mu\lambda}P'_\nu \rightarrow g = 11.51, \Delta_s = 0.3 \text{ e } \Delta_u = 0.6 \text{ GeV. } \sigma \approx 1.5\%.$
- $P_\mu P'_\nu P_\lambda \rightarrow g = 14.53, \Delta_s = 0.4 \text{ e } \Delta_u = 0.6 \text{ GeV. } \sigma \approx 2\%.$
- $P_\mu P_\nu P_\lambda \rightarrow g = 9.21, \Delta_s = 0.5 \text{ e } \Delta_u = 0.6 \text{ GeV. } \sigma \approx 1.8\%.$

$$\text{Janela de Borel} = [4.72, 6.10] \text{ GeV}^2$$

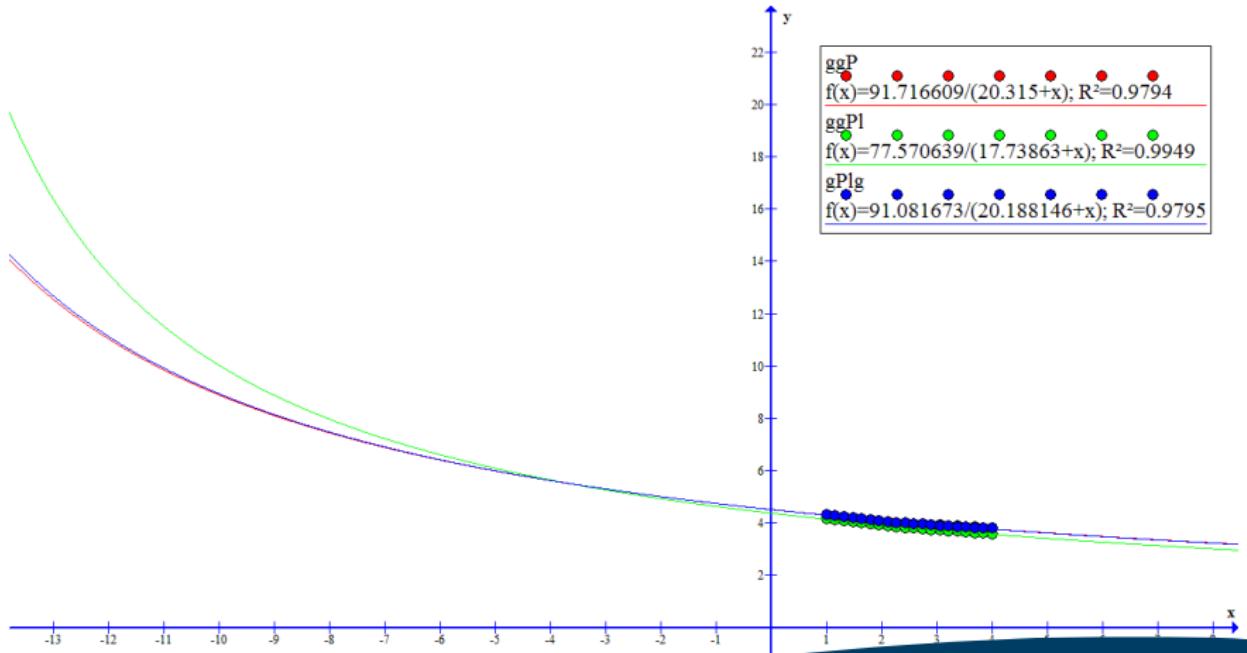
# Resultado p/ $D_s^*$ off-shell



# Resultado p/ $D_s^*$ off-shell



# Resultados p/ $J/\psi$ off-shell





## Resultados p/ $J/\psi$ off-shell

As seguintes estruturas puderam ser muito bem fitadas por curvas monopolares ( $\Delta_s = \Delta_u = 0.6\text{GeV}$  para todas):

- $g_{\mu\nu}P_\lambda \rightarrow g = 8.55$ .  $\sigma \approx 2.3\%$ . Retirando o condensado, esta estrutura não respeita todas as condições impostas.
- $g_{\mu\lambda}P'_\nu \rightarrow g = 8.59$ .  $\sigma \approx 2.2\%$ . Retirando o condensado, não se respeita polo/continuo.
- $g_{\mu\nu}P'_\lambda \rightarrow g = 9.52$ .  $\sigma \approx 2.2\%$ . Retirando o condensado,  $g = 10.20$ .  $\sigma \approx 0.4\%$ , mantendo o ajuste monopolar.

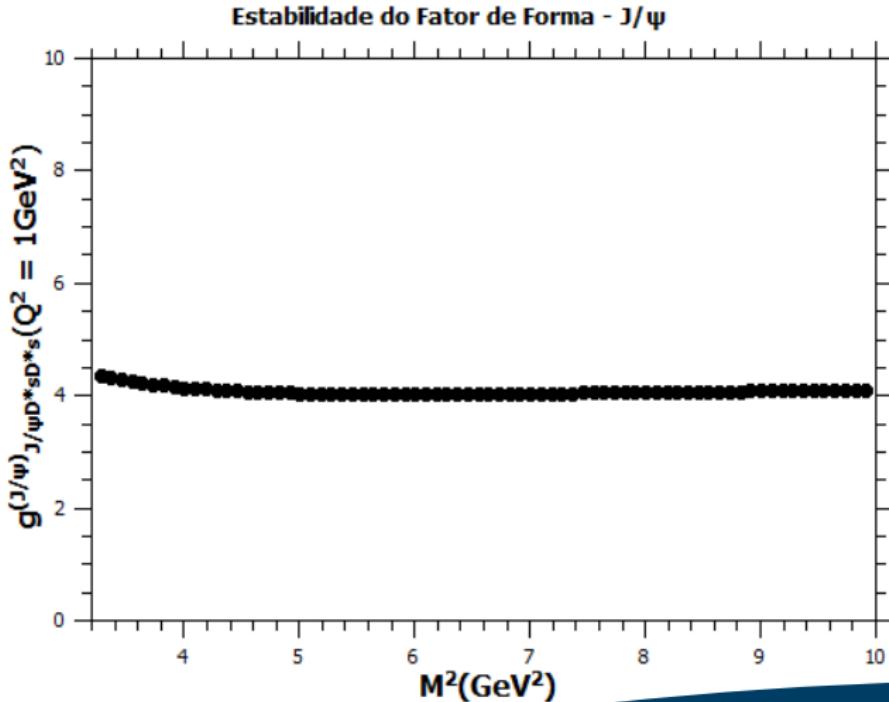
# Resultados p/ $J/\psi$ off-shell

As seguintes estruturas puderam ser muito bem fitadas por curvas monopolares ( $\Delta_s = \Delta_u = 0.6\text{GeV}$  para todas):

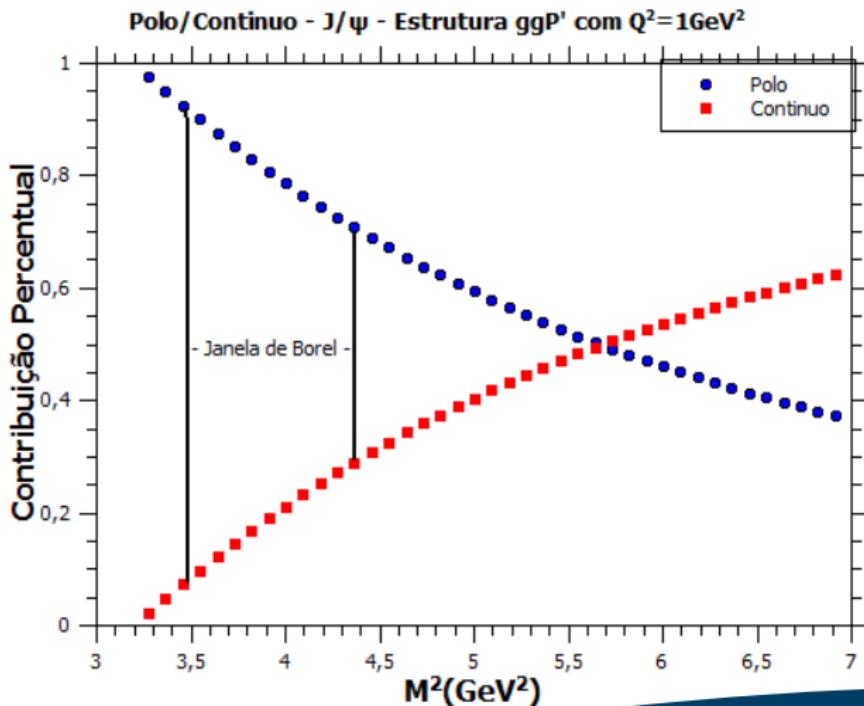
- $g_{\mu\nu}P_\lambda \rightarrow g = 8.55$ .  $\sigma \approx 2.3\%$ . Retirando o condensado, esta estrutura não respeita todas as condições impostas.
- $g_{\mu\lambda}P'_\nu \rightarrow g = 8.59$ .  $\sigma \approx 2.2\%$ . Retirando o condensado, não se respeita polo/continuo.
- $g_{\mu\nu}P'_\lambda \rightarrow g = 9.52$ .  $\sigma \approx 2.2\%$ .

$$\text{Janela de Borel} = [3.52, 4.60]\text{GeV}^2$$

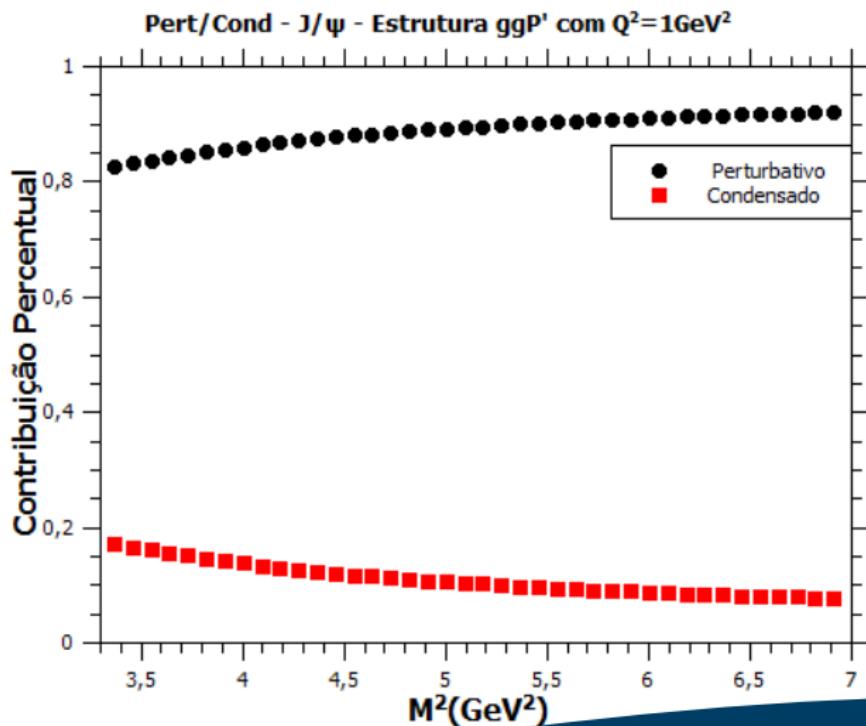
# Resultado p/ $J/\psi$ off-shell



# Resultado p/ $J/\psi$ off-shell



# Resultado p/ $J/\psi$ off-shell



# Conclusão

## Resultados $D_s^*$ - Estrutura $P_\mu P_\nu P_\lambda$

$$\Delta_s = 0.5 \text{ GeV} \text{ e } \Delta_u = 0.6 \text{ GeV}$$

$$\text{Janela de Borel} = [4.72, 6.10] \text{ GeV}^2$$

$$F^{(D_s^*)}(Q^2) = 3.0e^{-0.251Q^2}$$

$$g_{J/\psi D_s^* D_s^*} = F(-m_{D_s^*}^2)^{(D_s^*)} = 9.21$$

## Resultados $J/\psi$ - Estrutura $g_{\mu\nu}P'_\lambda$

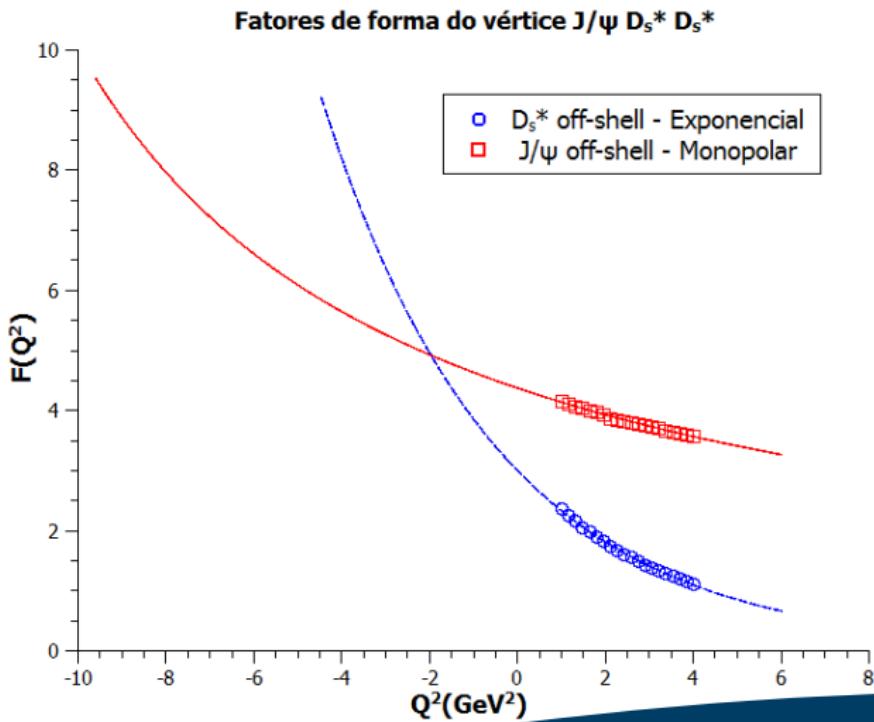
$$\Delta_s = \Delta_u = 0.6 \text{ GeV}$$

$$\text{Janela de Borel} = [3.52, 4.60] \text{ GeV}^2$$

$$F^{(J/\psi)}(Q^2) = \frac{77.6}{17.738 + Q^2}$$

$$g_{J/\psi D_s^* D_s^*} = F(-m_{J/\psi}^2)^{(J/\psi)} = 9.52$$

# Conclusão





# Passos futuros

- Discutir melhor com o grupo os resultados obtidos e determinar com mais segurança quais as estruturas tensoriais a serem usadas.
- Estimar as incertezas de cada uma das constantes de acoplamento.
- Escrever o artigo e submetê-lo à publicação!
- Fechar os resultados dos vértices  $J/\psi D_s D_s$  e  $J/\psi D_s^* D_s$ , também na fase de resultados preliminares.



## Bonus round

$J/\psi D_s D_s$

$$\begin{aligned}g^{(D_s)} &= 5.60 \\g^{(J/\psi)} &= 5.86\end{aligned}$$

$J/\psi D_s^* D_s$

$$\begin{aligned}g^{(D_s)} &= 4.38 GeV^{-1} \\g^{(J/\psi)} &= 4.74 GeV^{-1} \\g^{(D_s^*)} &= 5.48 GeV^{-1}\end{aligned}$$