

Um “cutoff” infravermelho natural para as interações fortes?

- QCD perturbativa
- Geração de uma escala de massa em QCD - ESD
- Algumas aplicações fenomenológicas...
- Conclusões..???!!!

QCD perturbativa

- Teoria de gauge baseada no grupo não-Abeliano

$$SU(3)_c$$

- Quarks carregando spin- $\frac{1}{2}$ e gluons com spin-1 (G_μ^a ($a = 1 \dots 8$))
- Duas propriedades básicas: confinamento e liberdade assintótica

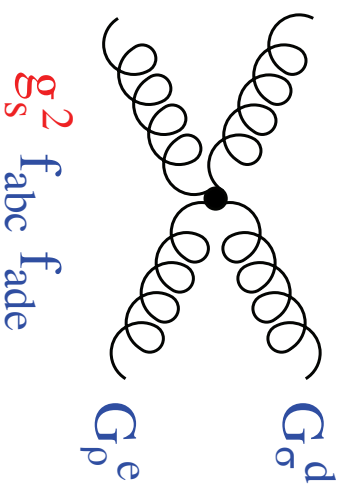
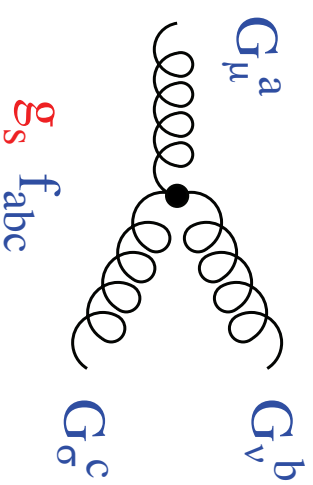
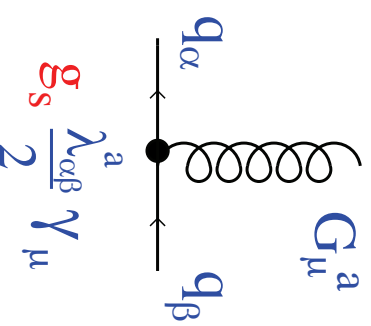


Figure 1: Vertices da Lagrangiana de QCD.

- Confinamento: estados físicos → hadrons
- Liberdade assintótica → teoria de perturbação

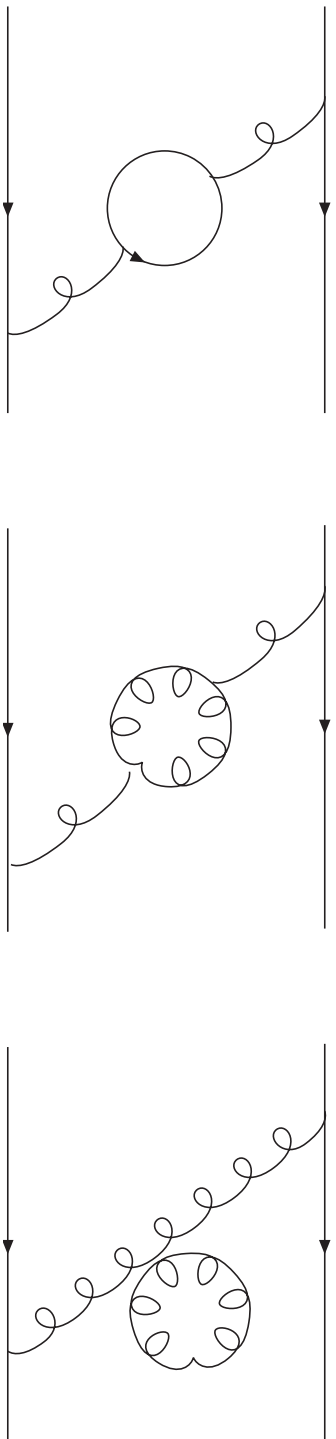


Figure 2: Diagramas de 1-loop modificam o propagador do gluon.

$$g_0^2 \rightarrow Z g_0^2 \equiv g^2 \quad ,$$

$$\frac{g^2}{k^2(1 + g^2\Pi(k^2))} \quad ,$$

$$\alpha_s(k^2) = \frac{12\pi}{(33 - 2n_f)\log(p^2/\Lambda_{QCD}^2)} \quad ,$$

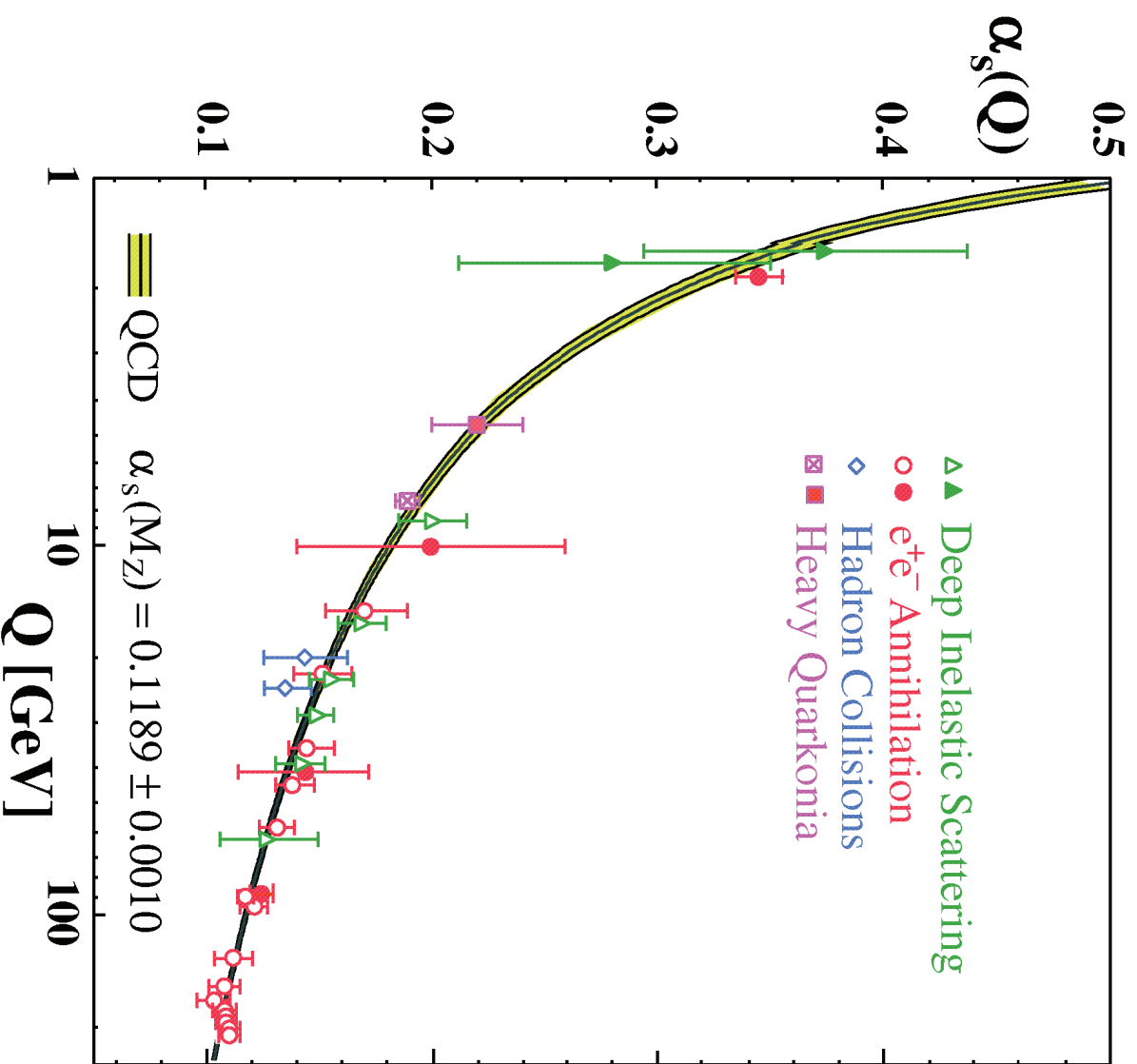


Figure 3: $\alpha_s(Q)$ como função da escala de energia Q

- Aplicações de QCD perturbativa

$$\sigma(\text{ou } \Gamma) \propto \int_{\Lambda} d\Omega \Phi_f^* |M|^2 \Phi_i$$

Φ_i

função de onda ou distribuição (estado inicial ou final - info. não-perturbativa)

$|M|$

elemento de matriz (QCD perturbativa)

$d\Omega$

elemento espaço de fase **+** **cut-off infravermelho** (depend. no corte...)

$|M|$ - Elemento de matriz - processos elementares... exemplos:

$$q_i + q_j \rightarrow q_i + q_j$$

$$g + g \rightarrow g + g$$

Os elementos de matriz destes processos apresentam a forma

$$M \propto \mathcal{O} \left(\frac{1}{s}, \frac{1}{t}, \frac{1}{u} \right)$$

Resultado de propagadores de gluons nos canais **s**, **t** e **u**

(se existir um limiar de produção p/ o gluon a secção de choque é bem modificada)

Geração de uma escala de massa em QCD

A escala fundamental é Λ_{QCD} , mas outras aparecem em função desta

- **Equações de Schwinger-Dyson e Simulação de QCD na rede**
- **Equações de Schwinger-Dyson**

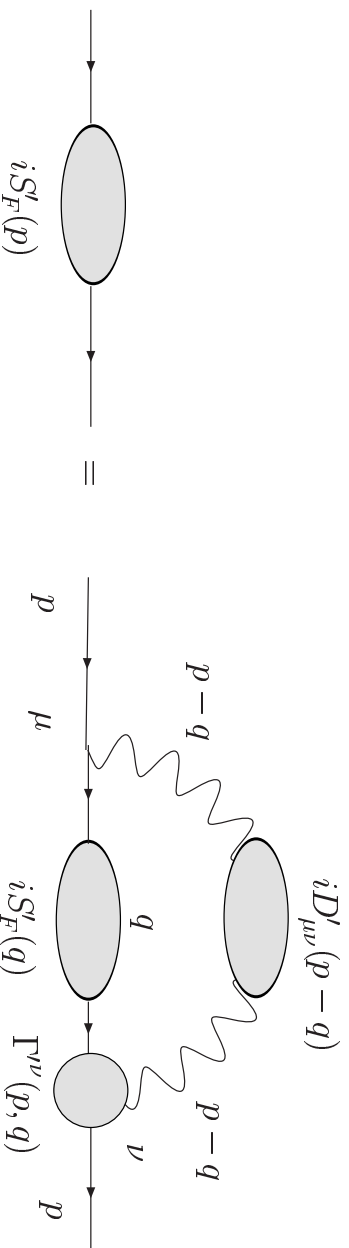
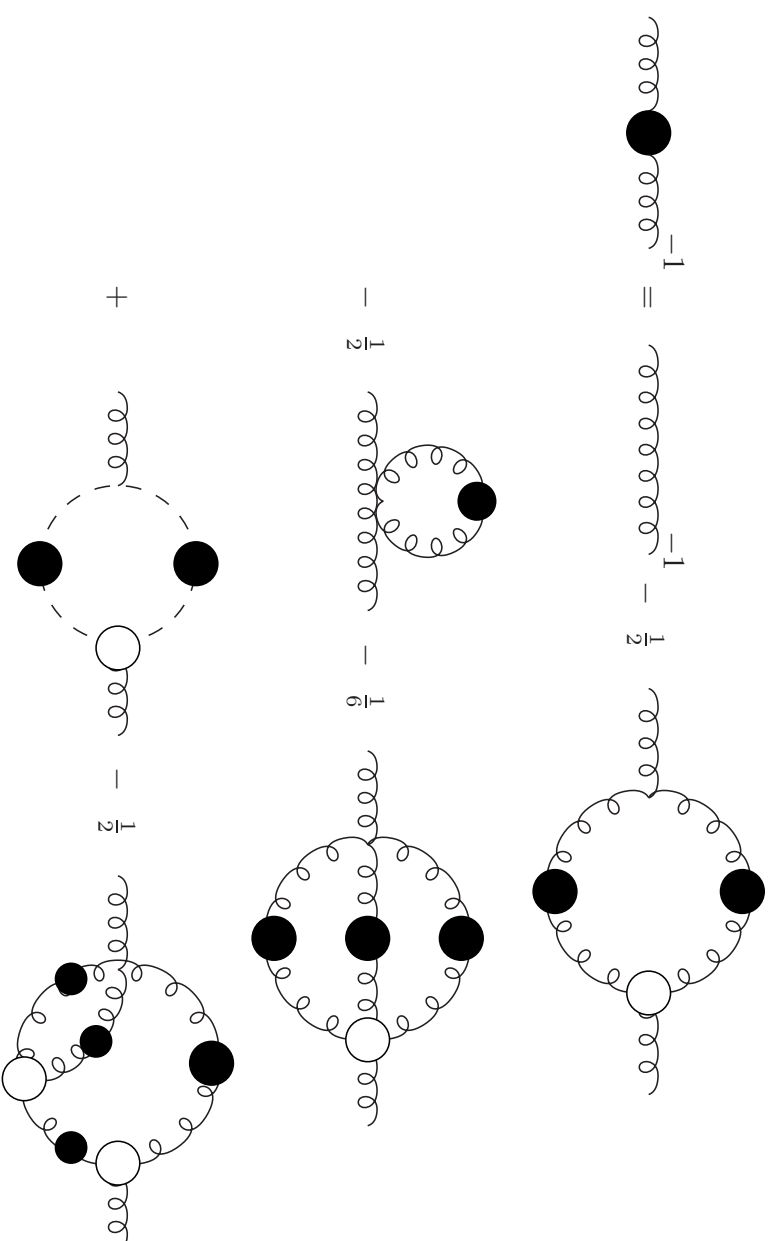


Figure 4: Representação diagramática da equação de Schwinger-Dyson fermiônica.

Figure 5: Representação diagramática da equação de Schwinger-Dyson para o propagador do glúon.



- **Soluções da ESD**

Várias soluções - várias aproximações...

Propagador “massivo”

→ Cornwall, Aguilar e AN, Aguilar e Papavassiliou

Propagador nulo na origem

→ Zwanziger, Alkofer *et al.*,...

Cornwall - existe um limiar de produção p/ o gluon!

Se o prop. gluon é finito → α_s é finita - Aguilar, Silva e AN

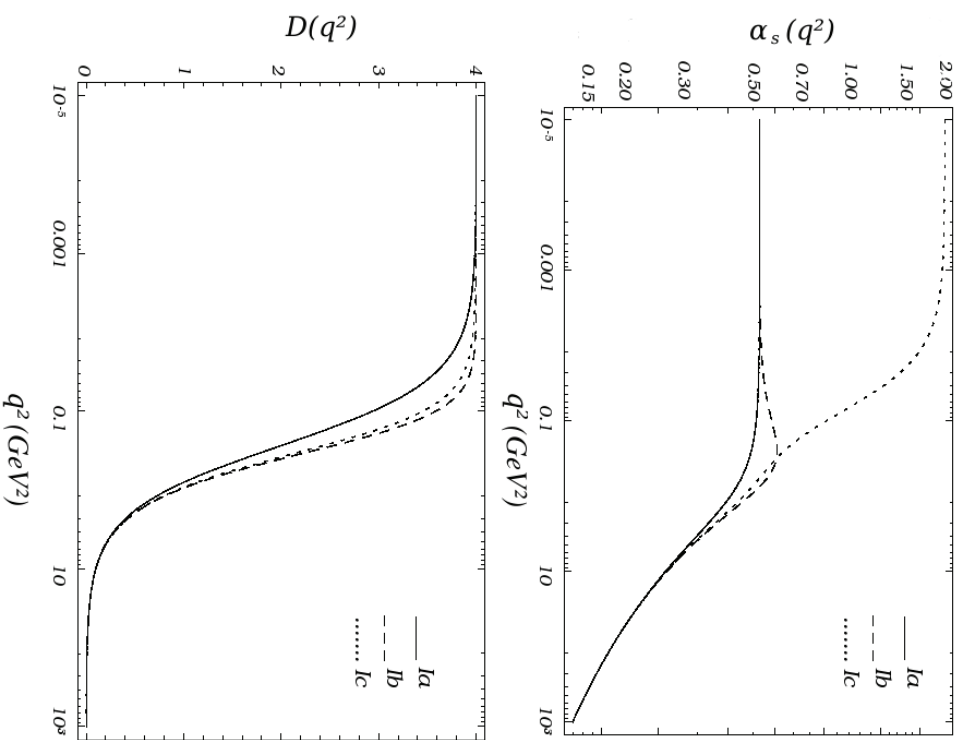


Figure 6: Propagador “massivo” - α_s “pequeno”

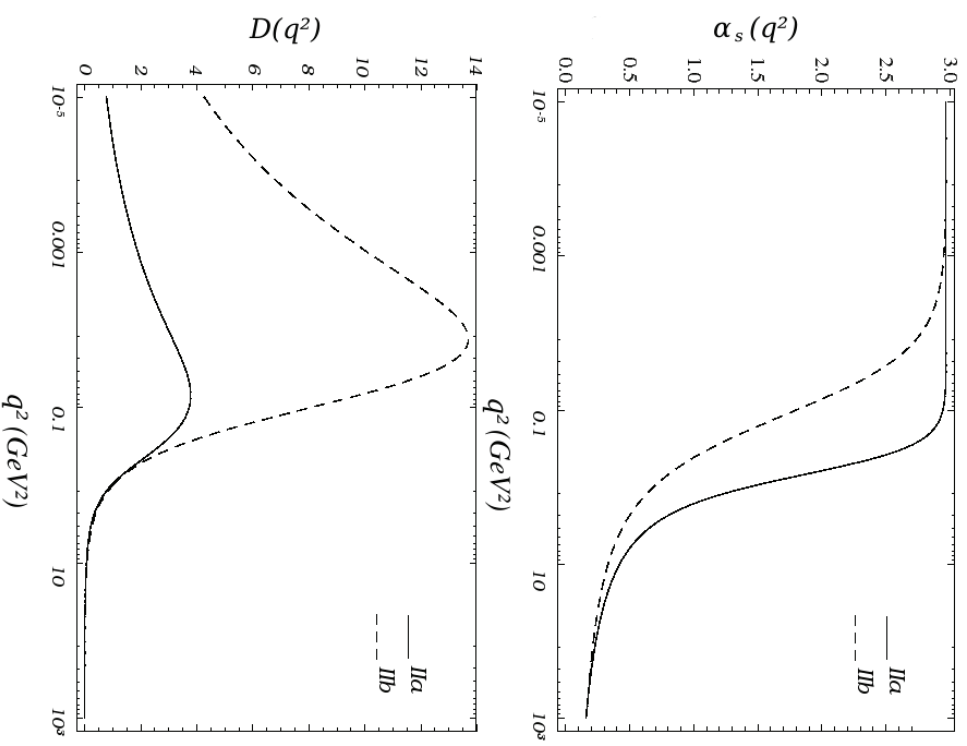


Figure 7: Propagador nulo na origem - α_s “grande”

- **Simulação de QCD na rede**

Tudo indica que propagador do gluon não vai a zero e ghost tem comportamento “perturbativo”!

I.L. Bogolubsky et al., hep-lat/08041250, hep-lat/07101968; A. Cucchieri e T. Mendes, hep-lat/08042371

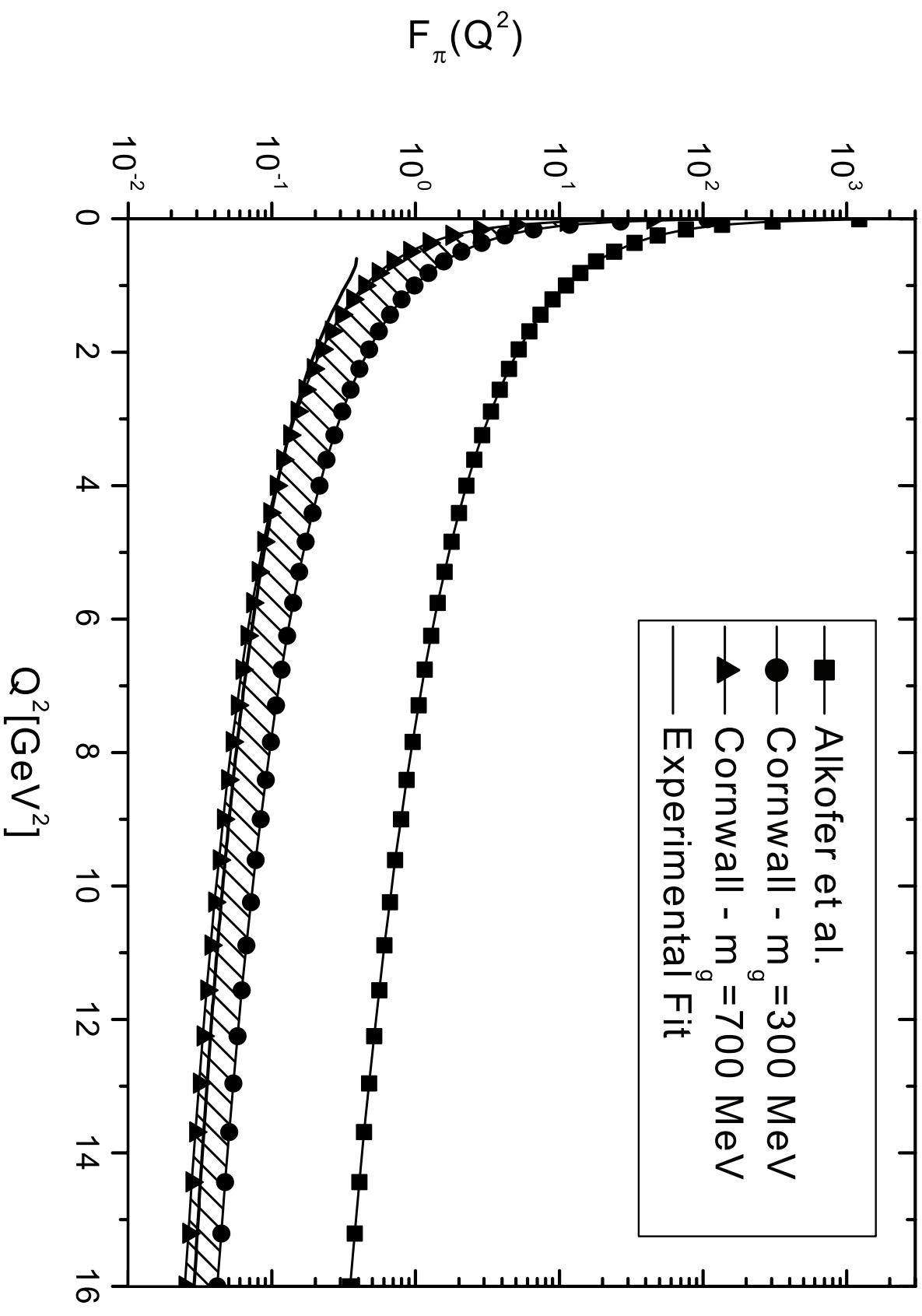
Problemas diversos: cópias de Gribov, tamanho da rede, etc... Muito trabalho a ser feito...

Algumas aplicações fenomenológicas...

- **Fator de forma do pion** (Aguilar, Mihara, AN)

$$\phi^*(x, Q) \left[\text{Diagram} + \text{Diagram} \right] \phi(y, Q)$$

Figure 8: The leading-order diagrams that contribute to the pion form factor. $\phi(x, \tilde{Q}_x)$ is the pion wave function, that gives the amplitude for finding the quark or antiquark within the pion carrying the fractional momentum x or $1 - x$. The photon transfers the momentum q' (in Minkowski space), $Q^2 = -q'^2$, for the $q\bar{q}$ pair of total momentum P producing a $q\bar{q}$ pair of final momentum P' .



Decaimentos não-leptonicos do B - aniquilação - dois corpos

C.M.Zanetti e AN, hep-ph/08030154

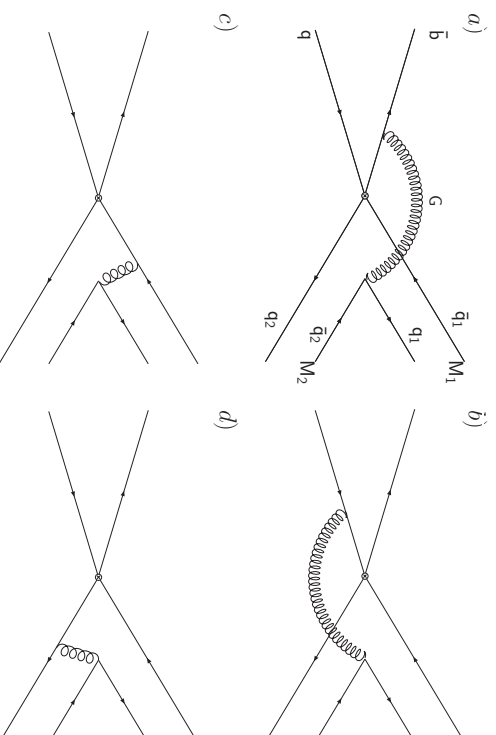


Figure 10: Diagramas de decaimento - meson B

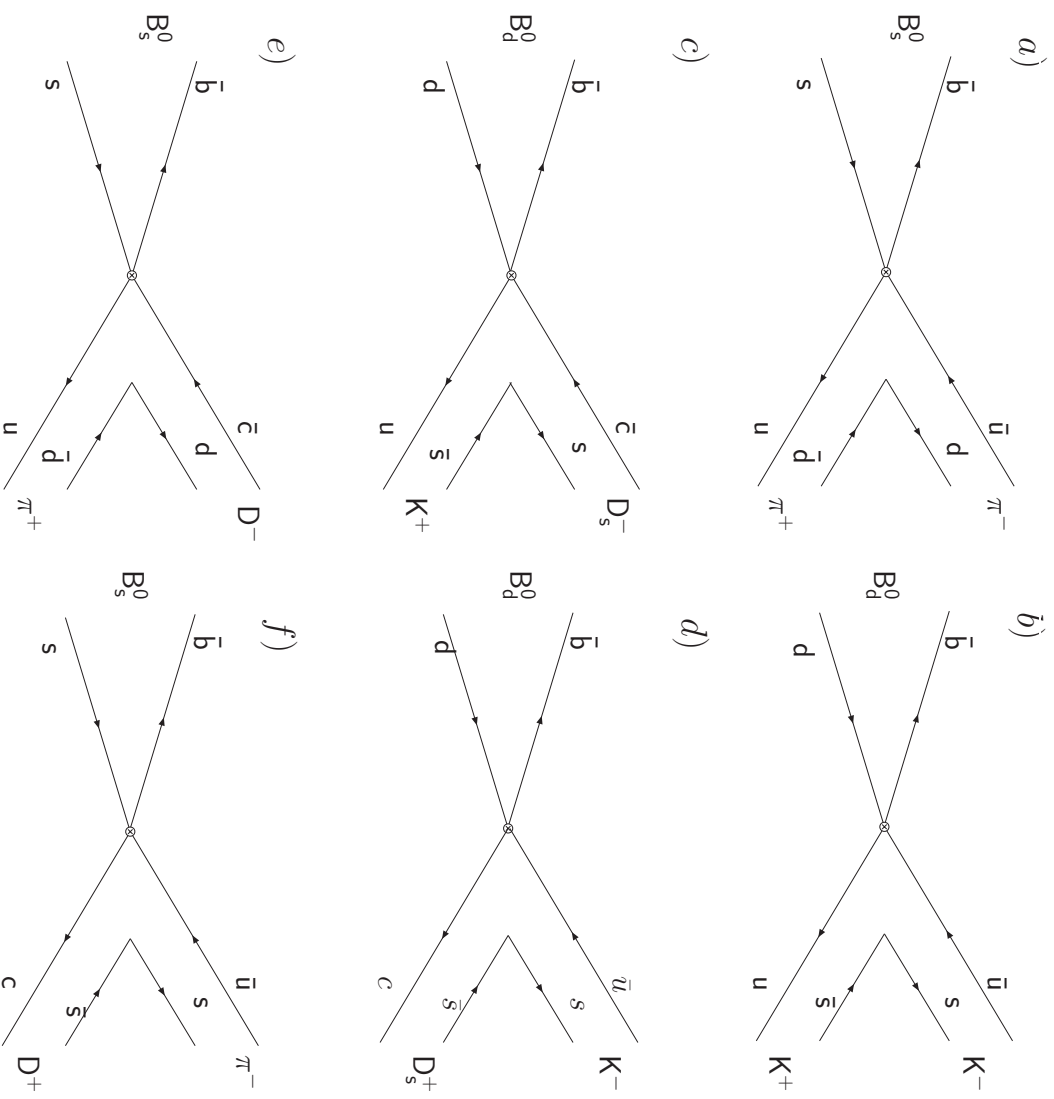


Figure 11: Canais de decaimento analisados

Branching ratios for B decays obtained with the different infrared finite gluon propagators and coupling constants, and with $m_g = m_0 = 500\text{MeV}$ and $\mu = m_b$: Cornwall (Ia), Aguilar-AN (Ib), Aguilar-Papavassiliou (Ic), Alkofer *et al.* (IIa), Alkofer-2 (IIb).

Decay channels	D_{Ia}	D_{Ib}	D_{Ic}	D_{IIa}	D_{IIb}
$\mathcal{B}_r(B_s^0 \rightarrow \pi^+ \pi^-) \times 10^7$	1,08	1,58	1,02	4,30	3,77
$\mathcal{B}_r(B_d^0 \rightarrow K^+ K^-) \times 10^8$	4,92	7,18	4,63	19,63	17,11
$\mathcal{B}_r(B_s^0 \rightarrow D^- \pi^+) \times 10^6$	1,03	1,54	0,99	4,40	4,10
$\mathcal{B}_r(B_s^0 \rightarrow D^+ \pi^-) \times 10^7$	1,28	1,90	1,22	5,41	4,97
$\mathcal{B}_r(B_d^0 \rightarrow D_s^- K^+) \times 10^5$	1,34	1,98	1,27	5,54	3,98
$\mathcal{B}_r(B_d^- \rightarrow D_s^+ K^-) \times 10^8$	0,67	0,99	0,64	2,80	2,00

Table 1: : Branching ratios for the $B_s^0 \rightarrow D_s^- K^+$ comparing two different scales, $\mu = m_b$ and $\mu = m_b/2$, and using the wave function of the K meson expanded in Gegenbauer polynomials (at the scale $\mu = m_b$, with $\alpha_1 = 0.17$ and $\alpha_2 = 0.2$). We also show the results for different gluon masses.

Gluon propagators	$\mu = m_b$	$\mu = m_b/2$	Gegenbauer
$D_{Ia}(q^2), m_g = 400$ MeV	1.95	3.25	2.00
$D_{Ia}(q^2), m_g = 500$ MeV	1.34	2.09	1.36
$D_{Ib}(q^2), m_0 = 400$ MeV	2.07	4.89	2.75
$D_{Ib}(q^2), m_0 = 500$ MeV	1.98	3.48	2.02
$D_{Ic}(q^2), m_0 = 500$ MeV	1.27	2.14	1.30
$D_{Ic}(q^2), m_0 = 600$ MeV	0.769	1.34	0.770
$D_{IIa}(q^2)$	5.54	16.73	5.75
$D_{IIIb}(q^2)$	4.04	8.18	4.24

Conclusão

- 1) **Processos de interação forte envolvendo hadrons leves são sensíveis ao comportamento infravermelho do glúon (efeito da integração sobre as funções de onda).**
- 2) **Existe fatorização, mas o glúon de baixa energia se comporta como “vestido”**
- 3) **Até que ponto este tipo de cálculo pode ser feito de modo sistemático???** (Brodsky...)
- 4) **O fato é que todos os processos que estudamos fitam os dados para uma massa de glúon $m_g = 500 \pm 200$ MeV, que é o valor previsto por Cornwall em 1982!!!!!!**