

# Planos do grupo de trabalho de teoria



# Grupo de Trabalho 3

Alberto Martinez Torres

Fernando Silveira Navarra

Renato Higa

Marina Nielsen (senior)

Kanchan Khemchandani (UNIFESP)

13 bolsistas: IC, M, D e PD

GRHAFITE

Física de Hadrons  
com aplicações em  
Física de Ions  
Pesados Relativísticos

Hadrons exóticos : estrutura e reações

Estudo do gás de hadrons

Distribuição de multiplicidades

Campo magnético em colisões de ions pesados

# Grupo de Trabalho 3

Organização :

Proximidade espacial no Ala II com sala de seminários

Seminários semanais que podem ser usados para discutir questões do grupo

Pessoal : (Fernando)

**Guilherme Germano (D):** distribuição de multiplicidades e emaranhamento quântico

**Richard Terra (M):** produção de estados exóticos em HICs com o modelo de coalescência

**Ricardo Fariello (PD):** novas equações de estado para o QGP

**Diego Spiering (PD):** produção de leading nêutrons no EIC e o CGC

# Grupo de Trabalho 3

Pessoal : (Alberto e Kanchan)

Brenda Malabarba (D): Resonância geradas dinamicamente em interações de três corpos (ex:  $K DD^*$ )

Nathália Fukase(M): Resonância geradas dinamicamente em interações de mesons P e V com charme

Christopher Reis (IC): Lagrangianas quirais

Victor Silva (IC): Lagrangianas quirais

# Grupo de Trabalho 3

Pessoal : (Renato)

**Breno Garcia (M):** Resonância em sistemas de três corpos  
(ex:  $\Lambda - N - N$ )

**Murilo Godoy (M):** Potencial e estados ligados de dois neutrons

**Leandro Guedes (M):** Captura radiativa e fluxo de neutrinos na reação  
 ${}^7\text{Be}(p,\gamma){}^8\text{B}$

**Pedro Betitto (M):** Sistemas de três alfas em teoria efetivas

**Vinicius Ader (M):** Sistema p-trítio n - hélio 3 em teoria efetivas

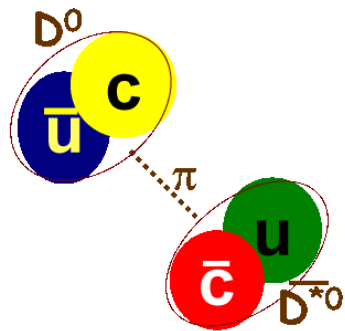
Back ups

# Hadrons exóticos : estrutura e reações

$$X(3872) = (c \bar{c} q \bar{q}) \quad J^P = 1^+$$

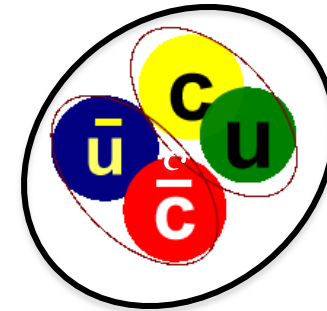
BELLE (2003)

Molécula mesônica



extenso  
~ 10 fm

Tetraquark



compacto  
~ 1 fm

Porque ions pesados ?

Número grande de quarks charme

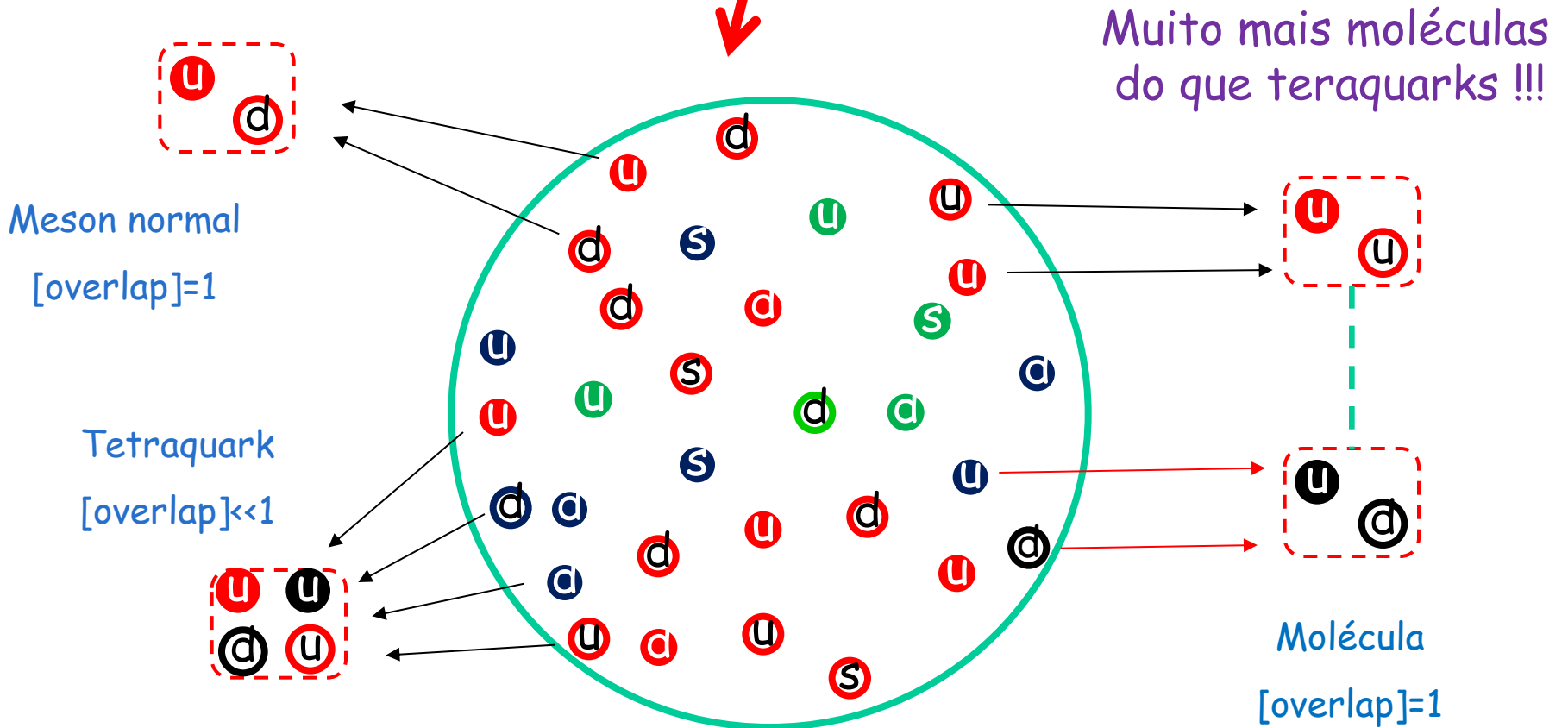
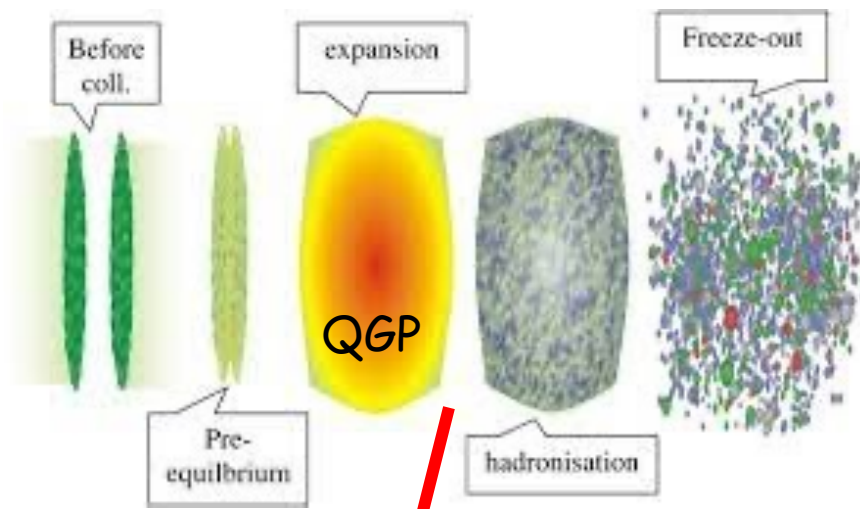
É possível observar :

Evidence for X(3872) in Pb-Pb Collisions and Studies of its Prompt Production at  $\sqrt{s_{NN}}=5.02$  TeV

CMS Collaboration • Albert M. Sirunyan (Yerevan Phys. Inst.) et al. (Feb 25, 2021)

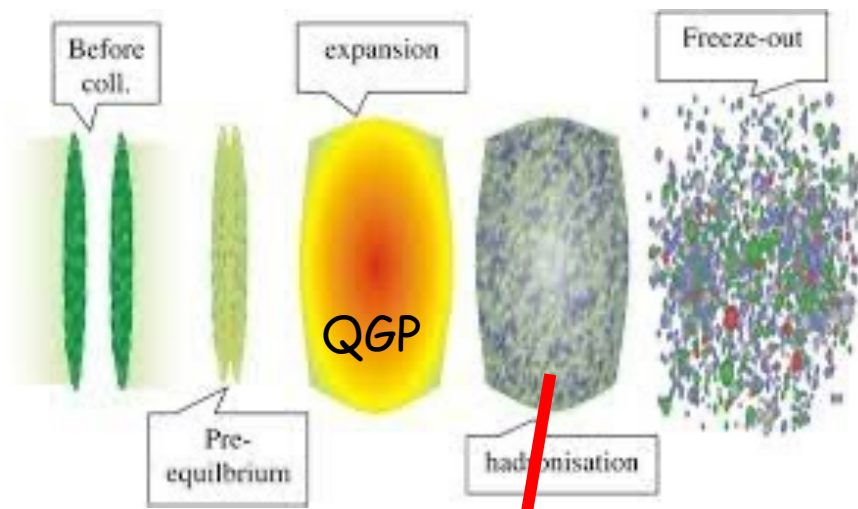
Published in: *Phys.Rev.Lett.* 128 (2022) 3, 032001 • e-Print: [2102.13048](https://arxiv.org/abs/2102.13048) [hep-ex]

Produção :





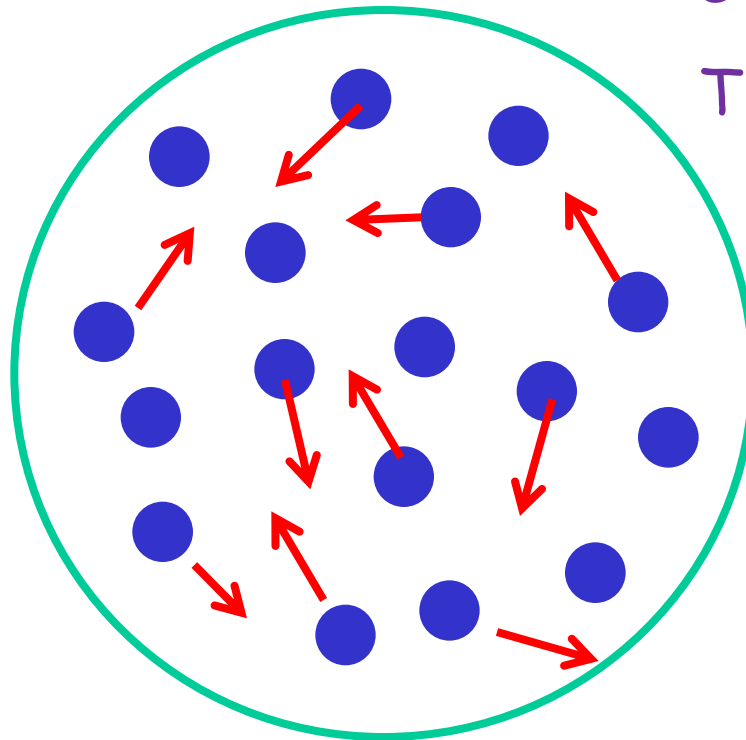
Produção :



Gás de Hadrons

$T \sim 100 - 200 \text{ MeV}$

Formação e  
destruição de  
hadrons exóticos



# O tetraquark interage com os mesons do gás de hadrons

Abreu, Navarra, Nielsen, Vieira, EPJC (2022), arXiv:2110.11145

Muitas interações são conhecidas :

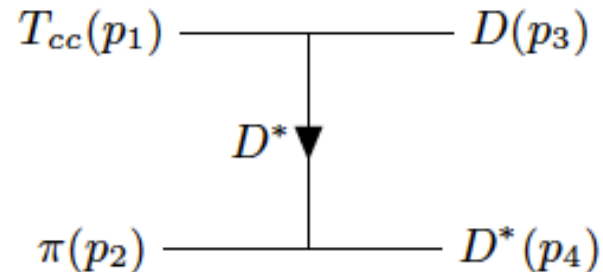
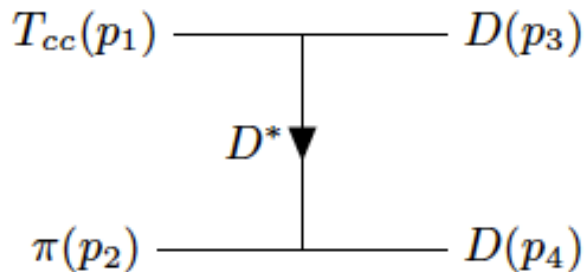
$$\mathcal{L}_{\pi DD^*} = ig_{\pi DD^*} D_{\mu}^* \vec{\tau} \cdot (\bar{D} \partial^{\mu} \vec{\pi} - \partial^{\mu} \bar{D} \vec{\pi})$$

$$\mathcal{L}_{\rho DD} = ig_{\rho DD} (D \vec{\tau} \partial_{\mu} \bar{D} - \partial_{\mu} D \vec{\tau} \bar{D}) \cdot \vec{\rho}^{\mu},$$

e muitas outras...

Interação nova:  $\mathcal{L}_{T_{cc}} = ig_{T_{cc} DD^*} T_{cc}^{\mu} D_{\mu}^* D.$

O tetraquark é destruído pelos mesons leves:



e recriado nos processos inversos

Nossa "expertise" :

Constante de acoplamento e fatores de forma com regras de soma da QCD

Variáveis dos hadrons em termos das variáveis dos quarks

$$\mathcal{L}_{T_{cc}} = ig_{T_{cc}DD^*} T_{cc}^\mu D_\mu^* D.$$

$$\Pi_{\alpha\mu}(p, p', q) = \int d^4x d^4y e^{ip' \cdot x} e^{iq \cdot y} \langle 0 | T [j_\alpha^{D^*}(x) j_5^D(y) j_\mu^\dagger(0)] | 0 \rangle$$

$$j_\mu = i(c_a^T C \gamma_\mu c_b) (\bar{u}_a \gamma_5 C \bar{d}_b^T) \quad j_5^D = i\bar{u}_a \gamma_5 c_a \quad j_\alpha^{D^*} = \bar{d}_a \gamma_\alpha c_a$$

$$g_{T_{cc}DD^*}(Q^2) = g_{T_{cc}DD^*} e^{-g(Q^2 + m_D^2)}$$

$$g_{T_{cc}DD^*} = g_{T_{cc}DD^*}(-m_D^2) = (1.7 \pm 0.2) \text{ GeV}$$

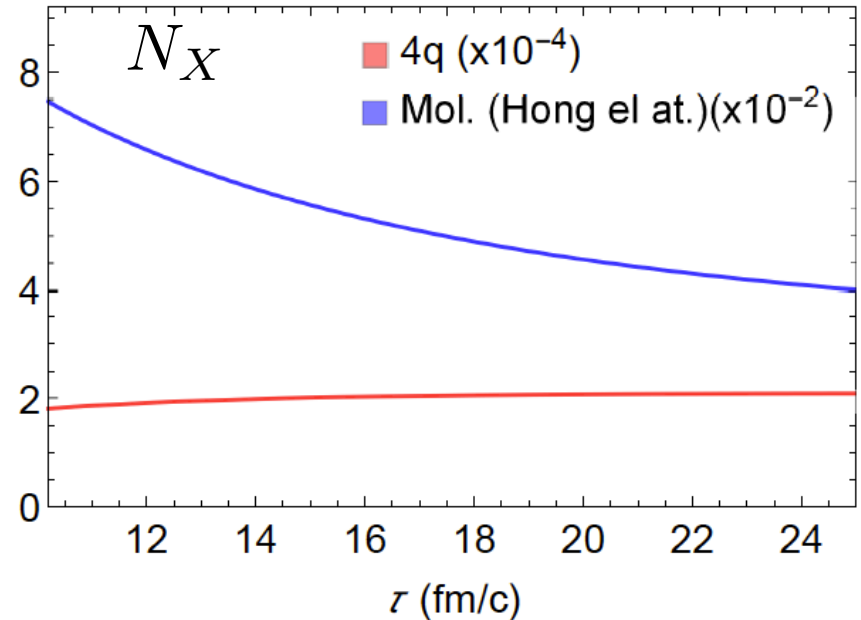
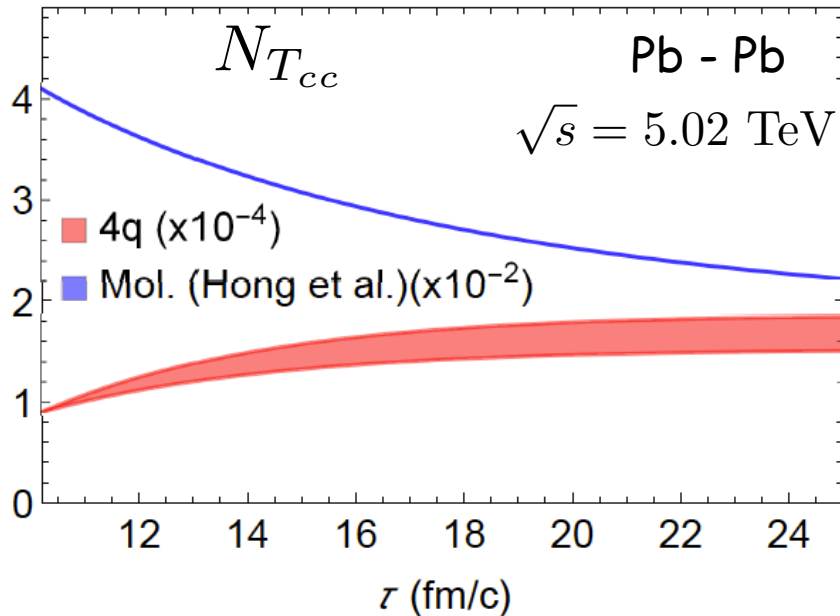
# Multiplicidades

Abreu, Navarra, Vieira, PRD (2022), arXiv:2202.10882

$$\frac{dN_X}{d\tau} = N_a N_b \sigma_{ab \rightarrow cX} - N_c N_X \sigma_{cX \rightarrow ab}$$

ganho

perda



Diferença de multiplicidades diminui mas continua grande !

O que nós vamos fazer:

Com Lagr. Efetivas e QCDSR fazer o cálculo de multiplicidades de:

$$Z_c, Z_{cs}, T_{4c}, \dots$$

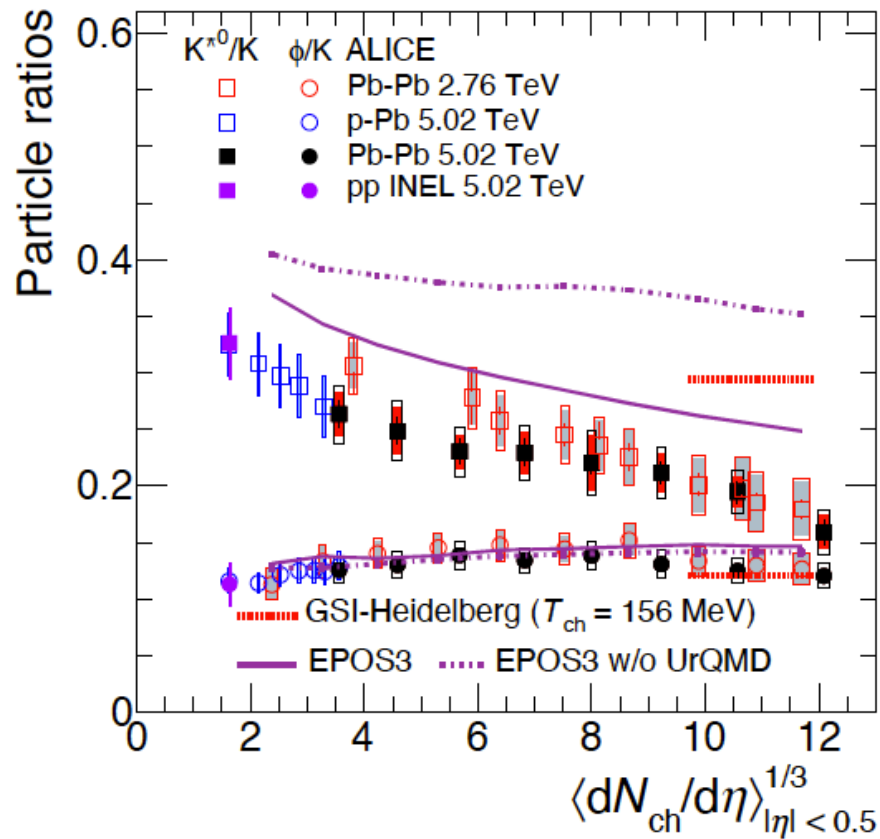
Fernando, Marina, Luciano Abreu (UFBA), Richard Terra (mestrado IF)

# Estudo do gás de hadrons

Evidence of rescattering effect in Pb-Pb collisions at the LHC through production of  $K^*(892)^0$  and  $\phi(1020)$  mesons

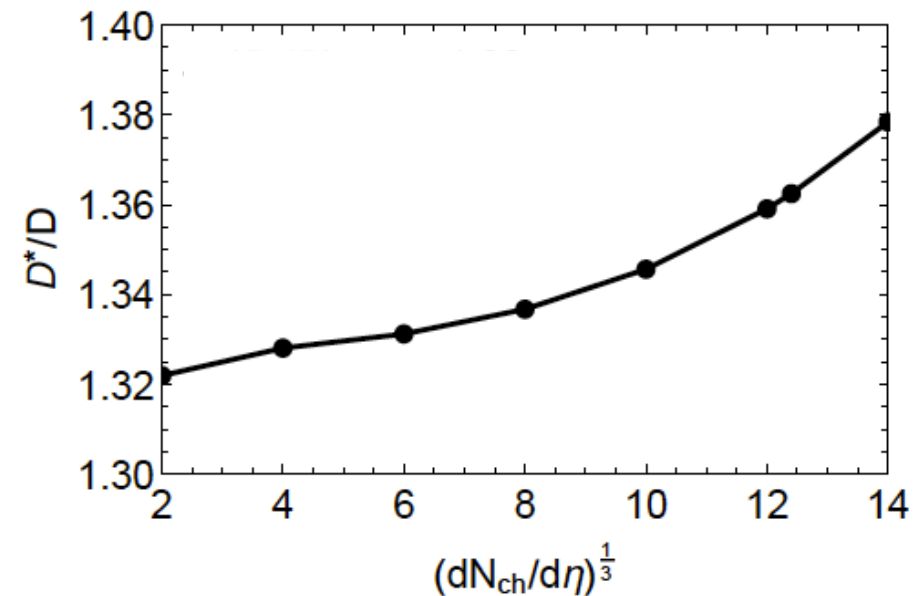
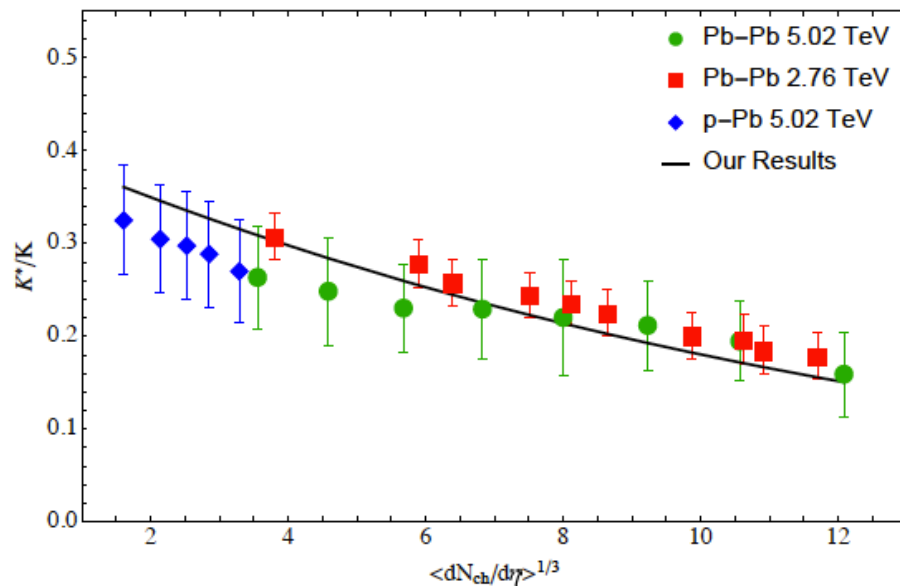
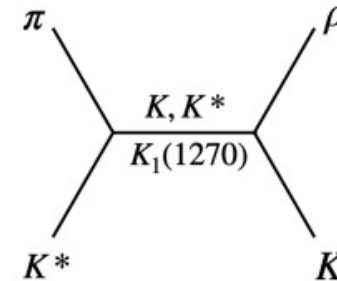
ALICE Collaboration • Shreyasi Acharya (Calcutta, VECC) et al. (Oct 31, 2019)

Published in: *Phys.Lett.B* 802 (2020) 135225 • e-Print: [1910.14419](https://arxiv.org/abs/1910.14419) [nucl-ex]



# Efeitos do gás de hadrons na produção de charme e estranheza

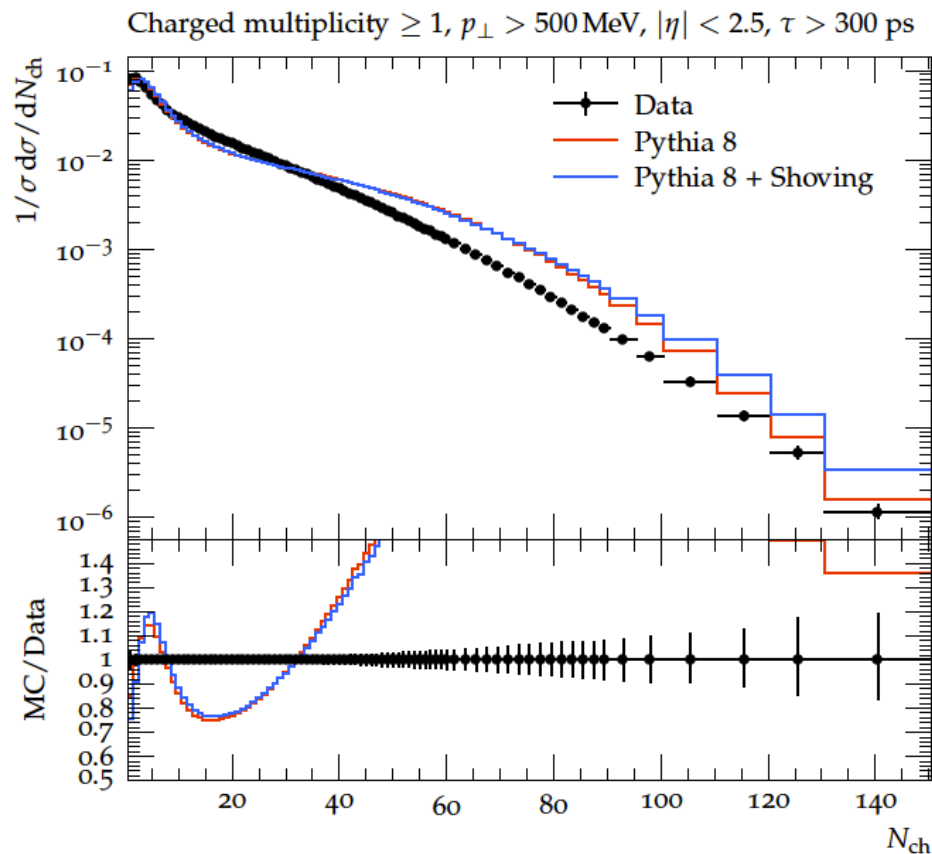
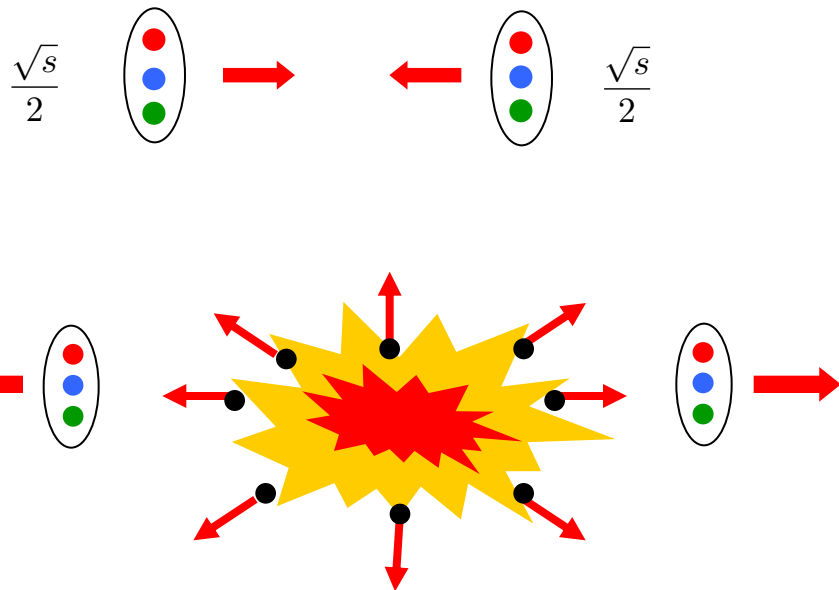
Novas ressonâncias mudam a interação das partículas conhecidas:



Le Roux, Navarra, Abreu,  
PLB (2021), arXiv:2202.10882

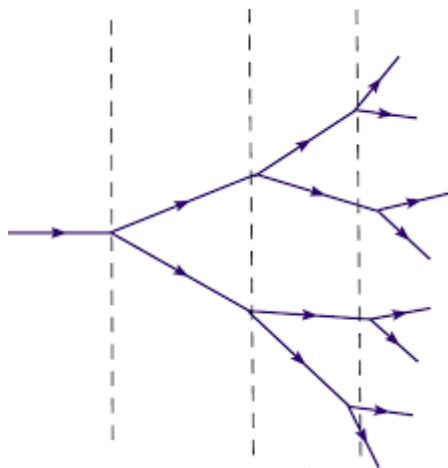
Fernando, Chiara Le Roux, Luciano Abreu

# Distribuição de multiplicidades



arXiv:2010.07595

Parton branching  
antes da colisão





# O que podemos aprender com as MD ?

Mecanismo de produção: transição soft  $\rightarrow$  hard

Teste dos modelos de evolução da cascata de partons

Teste do Color Glass Condensate

Teste dos modelos de hadronização ("cordas")

Instantons ("vácuo em ação")

Estudar informação quântica em altas energias

Mais teoria: flutuações vindas do CGC, melhorar as equações de cascata

Estudar próton-núcleo

Usar o PYTHIA para simular DM de partículas com charme

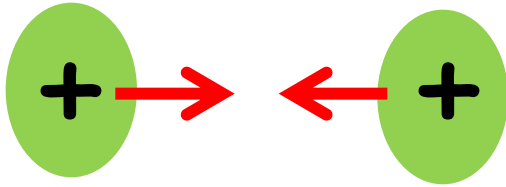
# Planos do grupo de trabalho de teoria



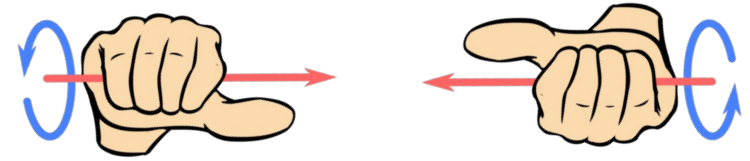
É titular! Parabéns!



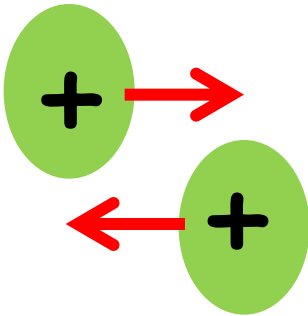
# Campo magnético em colisões de íons pesados



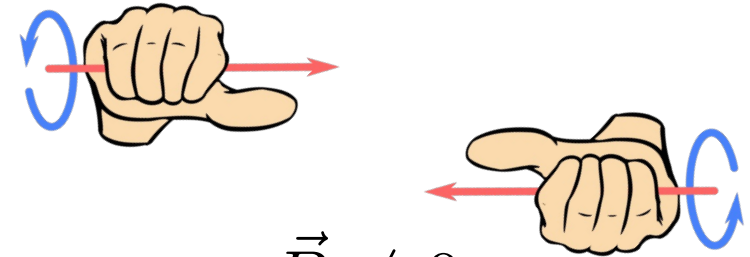
central



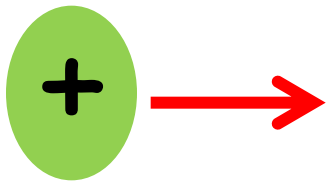
$$\vec{B} = 0$$



non-  
central



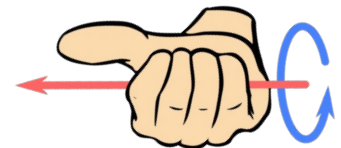
$$\vec{B} \neq 0$$

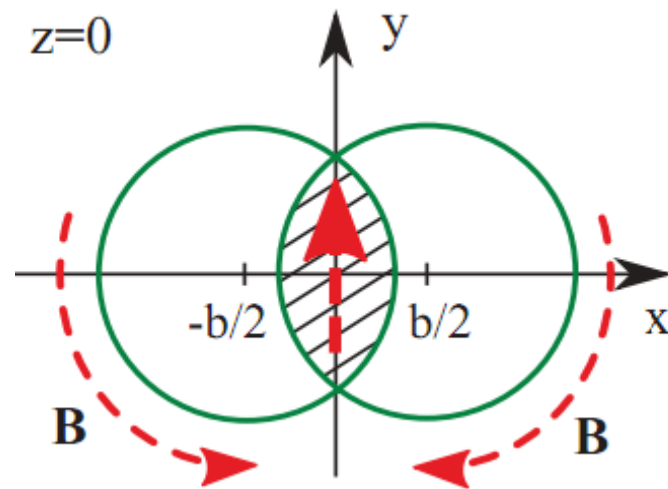
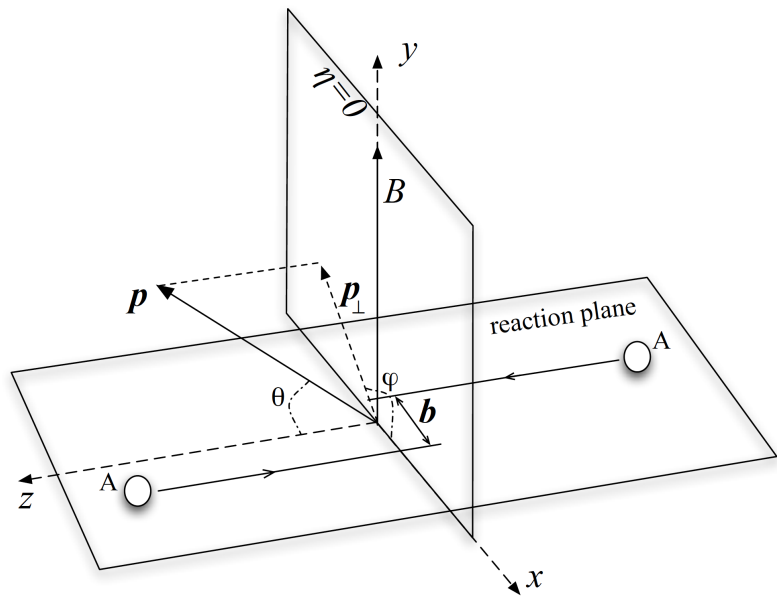


ultra  
peripheral



$$\vec{B} \neq 0$$





$$B \propto \frac{\gamma Z e}{R^2}$$



$$eB \approx m_{\pi}^2 \sim 10^{18} \text{ G}$$

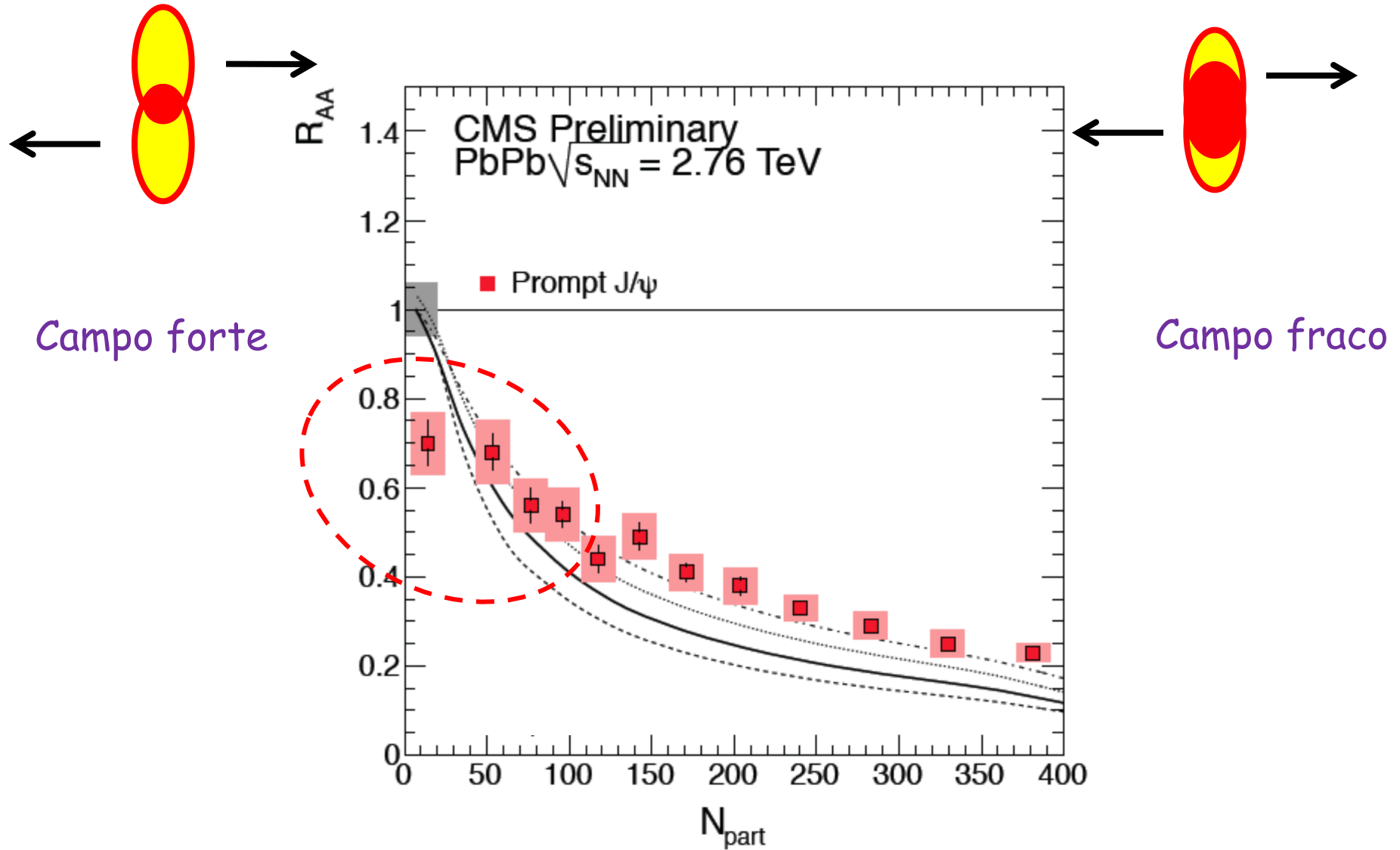
Neutron star :  $eB = 10^{14} \text{ G}$

Magnetar:  $eB = 10^{15} \text{ G}$

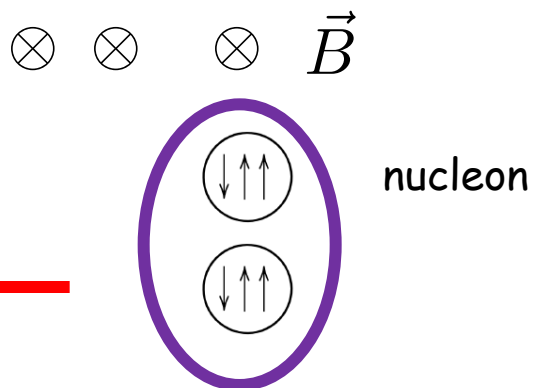
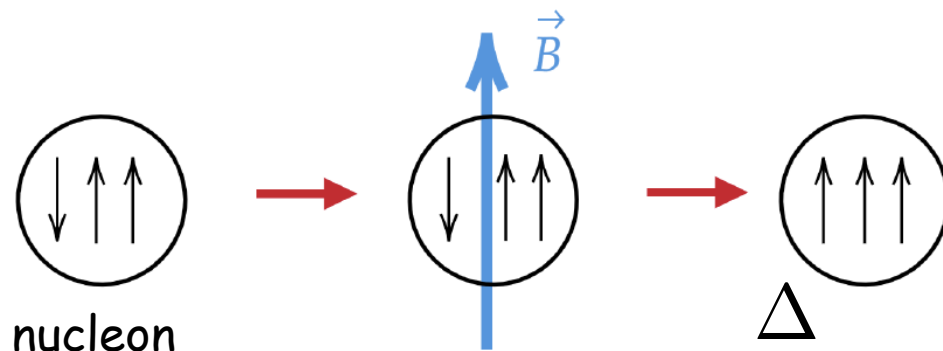
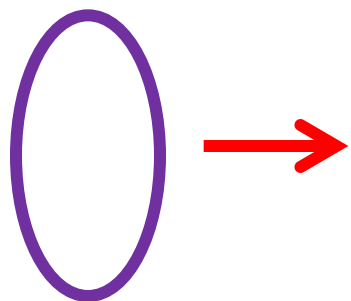
O mais intenso  
da natureza!

# Supressão de J/psi em colisões periféricas

Machado, Navarra, Noronha, Oliveira, Strickland, PRD (2013), arXiv:1305.3308



# Transições magnéticas



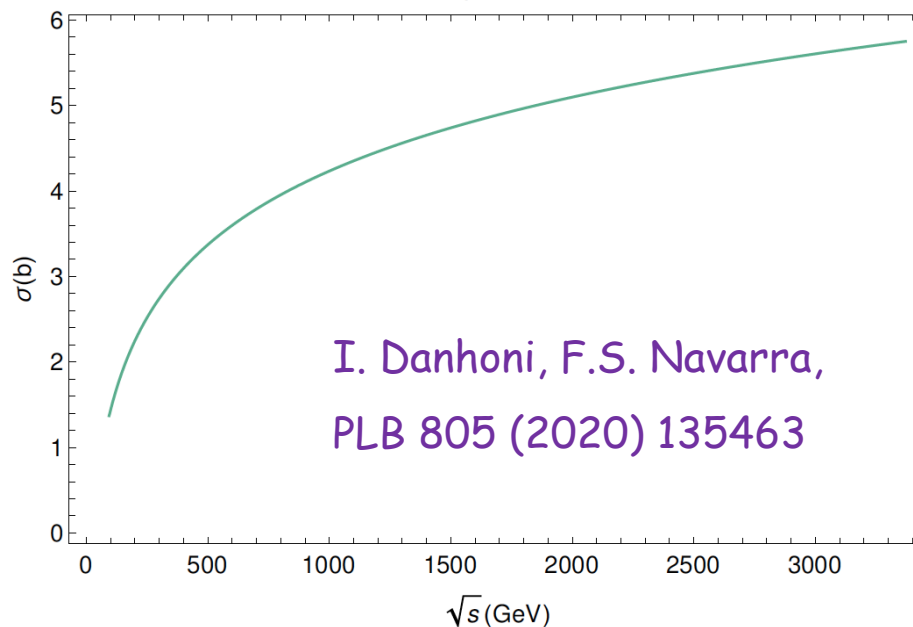
$$\Delta \rightarrow N + \pi^0 \quad 99\%$$

$$\pi^0 \rightarrow \gamma + \gamma \quad 99\%$$

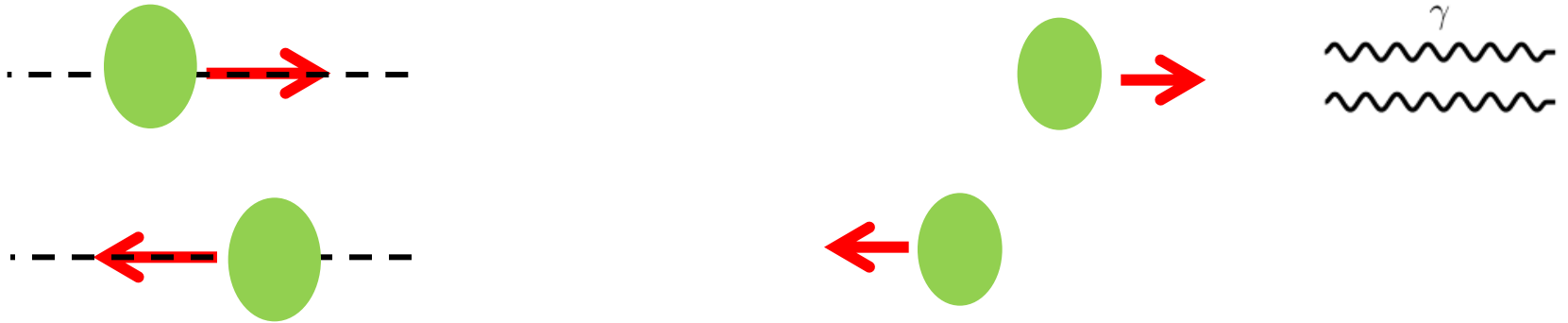


Seção de choque enorme!

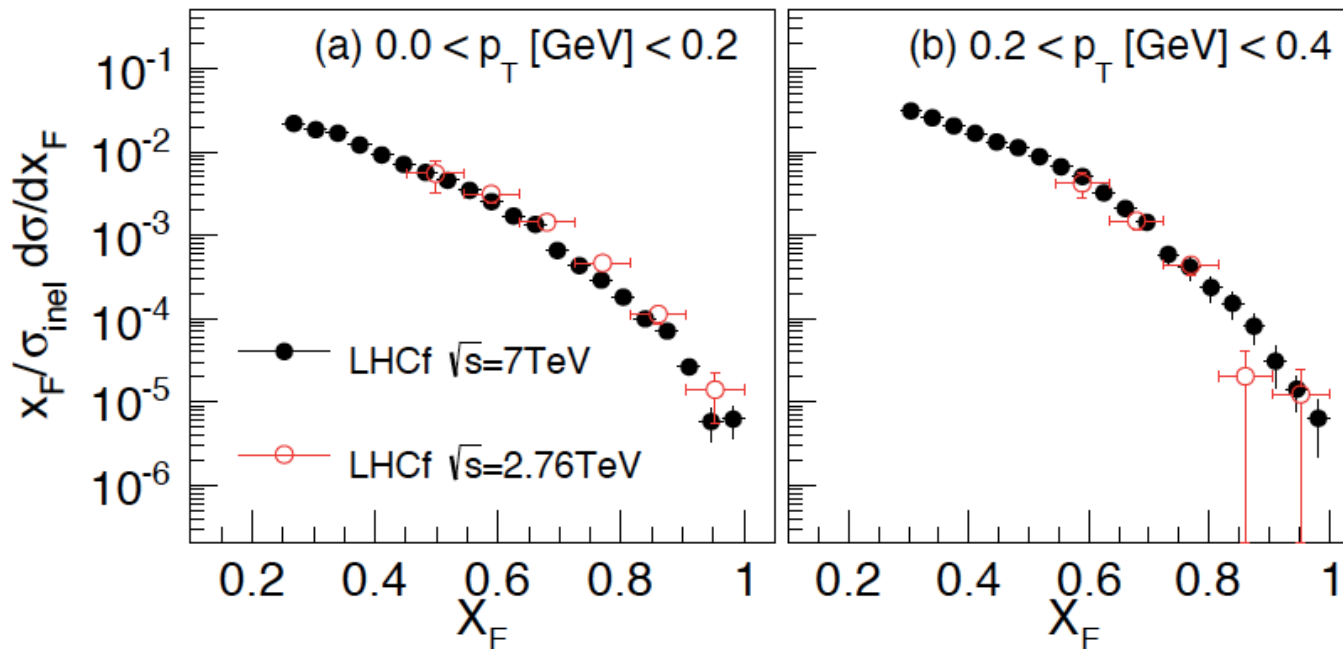
Pions super "forward"



## Como medir?

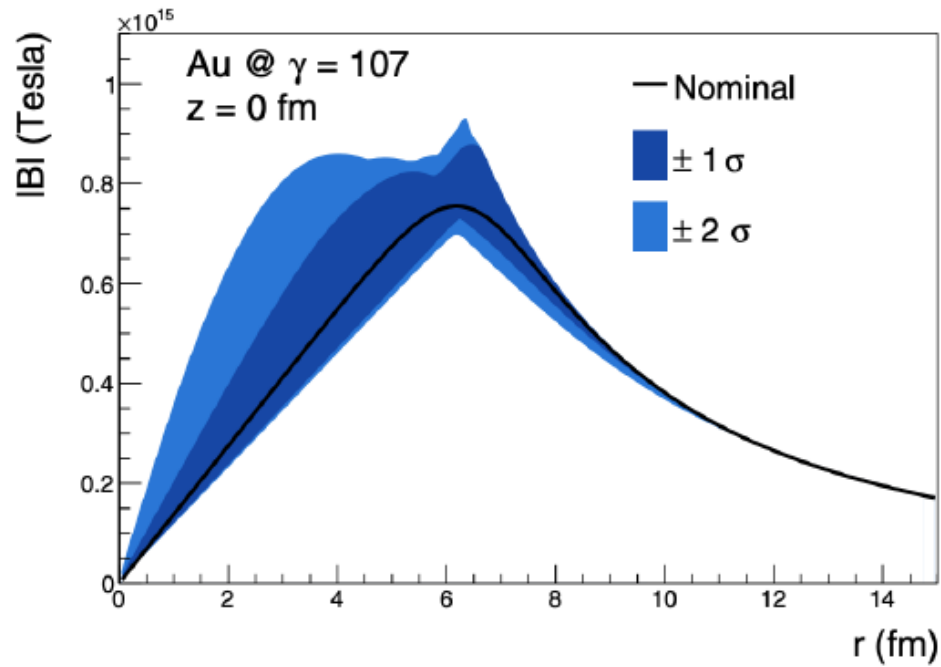


Usar os detetores do LHCf e RHICf em colisões **ultra-periféricas**



$$x_F = \frac{p_{\pi^0}}{p_{\text{beam}}}$$

# Já tem um pessoal tentando medir B



D. Brandenburg et al. EPJA (2021)



