



Estatística não-extensiva aplicada a colisões nucleares de altas energias

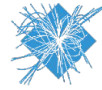
Guilherme F. Budiski

Instituto de Física da USP



Objetivos

- Utilizar a estatística não-extensiva de Tsallis para descrever os espectros de momento transversal de partículas charmed em colisões de íons pesados relativísticos, buscando evidências de uma dinâmica distinta com relação a partículas mais leves.



Estatística de Tsallis

C. Tsallis propôs em 1988 uma nova forma para o funcional de entropia:

$$S_q = k \frac{1}{q-1} \left(1 - \sum_i p_i^q \right)$$



Estatística de Tsallis

- No limite $q \rightarrow 1$, $S_q \rightarrow S_{BG}$.
- Entropia deixa de ser extensiva.



Estatística de Tsallis

- Para sistemas de longo-alcance (eg., potenciais de Coulomb e gravitacional), diversos sistemas relaxam para distribuições com caudas mais largas do que as previstas por Boltzmann-Gibbs.



Estatística de Tsallis

- Exemplo por L. J. L. Cirto, A. Rodríguez, F. D. Nobre e C. Tsallis (2018):

$$H = \sum_i E_i, \quad E_i = \frac{1}{2}p_i^2 + \frac{1}{2\tilde{N}} \sum_{j \neq i}^N \frac{1 - \cos(\theta_i - \theta_j)}{r_{ij}^\alpha}$$

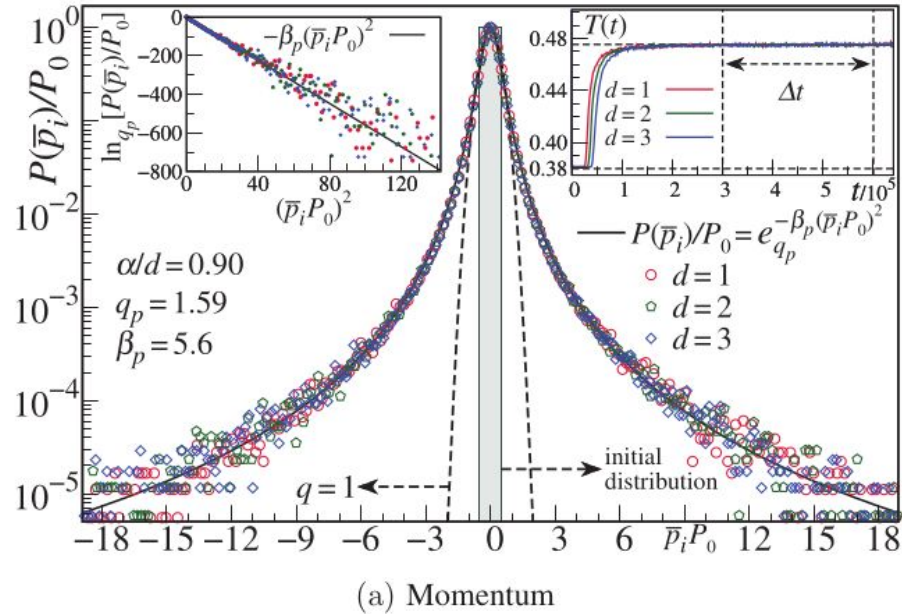


Figura reproduzida de L. J. L. Cirto, A. Rodríguez, F. D. Nobre e C. Tsallis (2018).



Estatística de Tsallis

- Assim como se observa nas distribuições de p_T em colisões de altas energias, a estatística de Tsallis faz a interpolação de um regime exponencial a um regime de lei de potências.



Estatística de Tsallis

- Beck (2002) fez a identificação do índice entrópico q a flutuações de Temperatura dentro de um sistema termodinâmico:

$$q - 1 = \left(\frac{\sigma_\beta}{\langle \beta \rangle} \right)^2, \quad \forall q > 1 \quad (\beta = 1/kT)$$



Estatística de Tsallis

- Também, A. Deppman et al. (2020) demonstraram que:

$$N_{dof} = \frac{1}{q-1} = \frac{11}{3}N_c - \frac{2}{3}N_f$$

onde N_c é o número de cores e N_f é o número de flavours.



Distribuição de Tsallis

$$\frac{d^2 N}{2\pi p_T dp_T dy} \propto m_T \left[1 + (q - 1) \frac{m_T}{T} \right]^{-q/(q-1)} \quad (1)$$

Conforme K. K. Olimov et al. (2022). Porém, a distribuição considera uma fonte estática.



Distribuição de Tsallis

$$\frac{d^2 N}{2\pi p_T dp_T dy} \propto \langle \gamma_T \rangle (m_T - p_T \langle \beta_T \rangle) \left[1 + \langle \gamma_T \rangle \frac{(q-1)(m_T - p_T \langle \beta_T \rangle)}{T} \right]^{-q/(q-1)} \quad (2)$$

Obtida a partir de uma transformação de Lorentz na direção transversal, também conforme K. K. Olimov et al. (2022).



Ajustes e Resultados

- Ajustes dos valores médios de (2) aos canais de medição de momento transversal, usando mínimos quadrados.
- Parâmetros ajustados: q , T , $\langle\beta_T\rangle$ e as constantes multiplicativas.



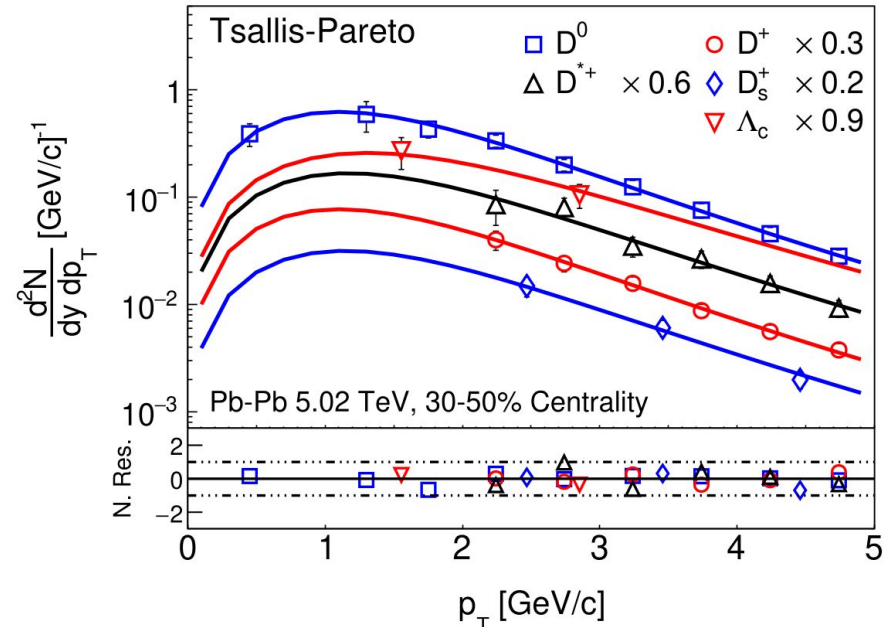
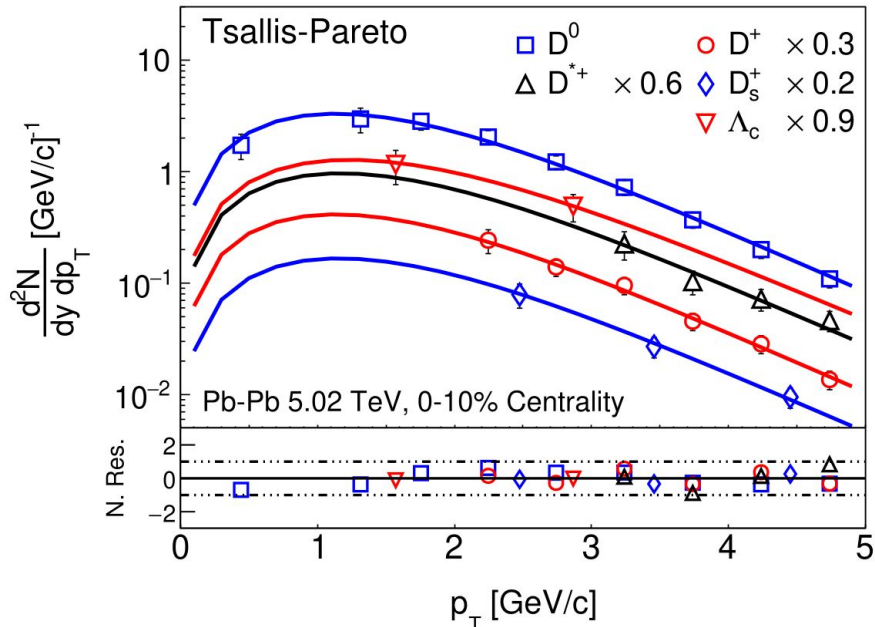
Ajustes e Resultados

- Ajustes simultâneos para os parâmetros termodinâmicos q , T e $\langle\beta_T\rangle$.
- Estudamos os espectros de D^0 , D^+ , D^+_s , D^{*+} e Λ_c em colisões Pb-Pb a $\sqrt{s} = 5.02$ TeV, com dados obtidos pela colaboração ALICE.

ALICE collaboration et al. Journal of high energy physics, 2022(1):1–49, 2022. Physics Letters B,827:136986, 2022. Physics Letters B,839:137796, 2023. Journal of high energy physics, 2018(10), 2018.

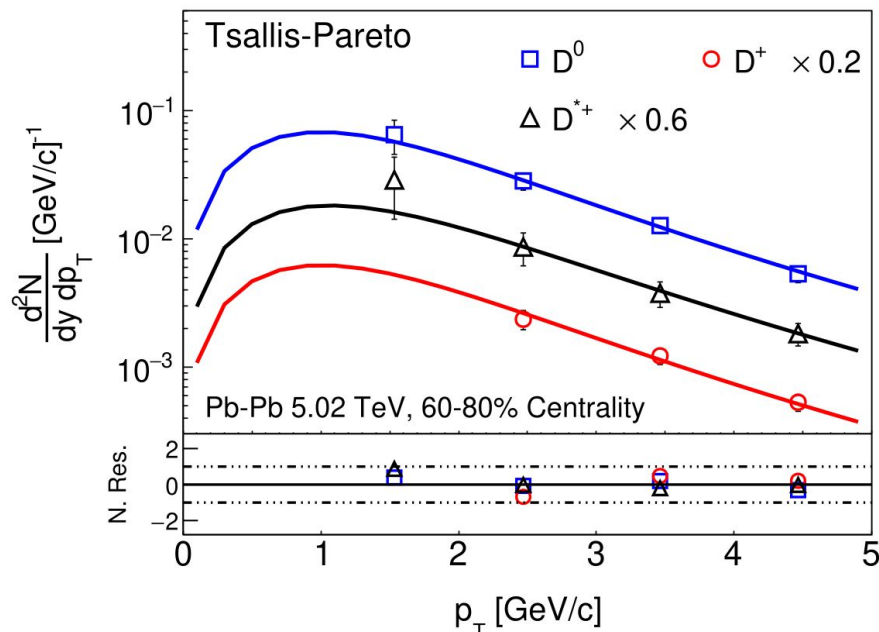


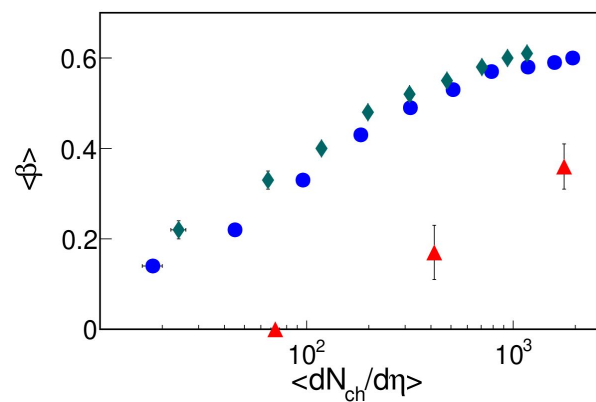
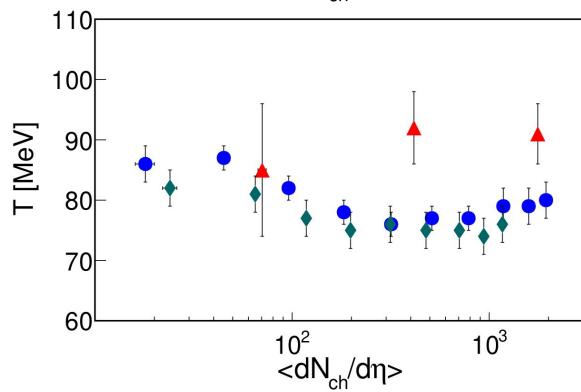
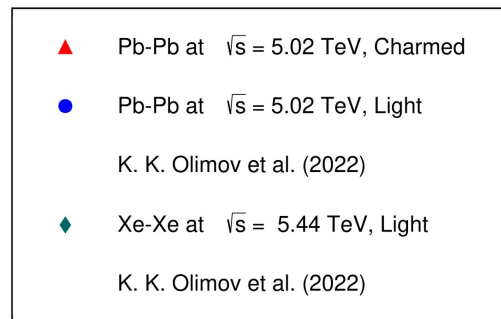
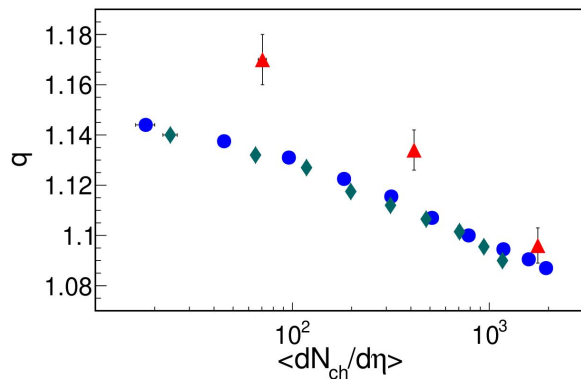
Ajustes e Resultados





Ajustes e Resultados







Conclusões

- A estatística de Tsallis é uma forma efetiva de parametrizar espectros de momento transversal em colisões de altas energias em termos de somente 3 parâmetros termodinâmicos.
- Os resultados indicam que quarks charm têm dificuldade em participar de comportamentos coletivos do sistema.
- O próximo passo consiste em investigar interpretações físicas para o comportamento desses parâmetros.