

Parámetros que caracterizan la fuente de piones primarios y secundarios en el rango energético de NICA

Santiago Bernal Langarica
ICN-UNAM

Agradecimientos

- Alejandro Ayala
- Isabel Dominguez
- Ivonne Maldonado
- Malena Tejeda

Eur. Phys. J. A _#####_
<https://doi.org/10.1140/epja/s10050-024-01350-2>

THE EUROPEAN
PHYSICAL JOURNAL A 

Regular Article-Theoretical Physics

Collision energy dependence of source sizes for primary and secondary pions at energies available at the JINR nuclotron-based ion collider facility from Lévy fits

Alejandro Ayala¹, Santiago Bernal-Langarica^{1,a} , Isabel Dominguez², Ivonne Maldonado³,
Maria Elena Tejeda-Yeomans⁴

¹ Instituto de Ciencias Nucleares,, Universidad Nacional Autónoma de México, Apartado Postal 70-543 CdMx 04510, Mexico
² Facultad de Ciencias Físico-Matemáticas, Universidad Autónoma de Sinaloa, Avenida de las Américas y Boulevard Universitarios, Ciudad Universitaria, Culiacán 80000, Mexico
³ Joint Institute for Nuclear Research, Dubna 141980, Russia
⁴ Facultad de Ciencias-CUICBAS, Universidad de Colima, Bernal Díaz del Castillo No. 340, Colonia Villas San Sebastián, Colima 28045, Mexico

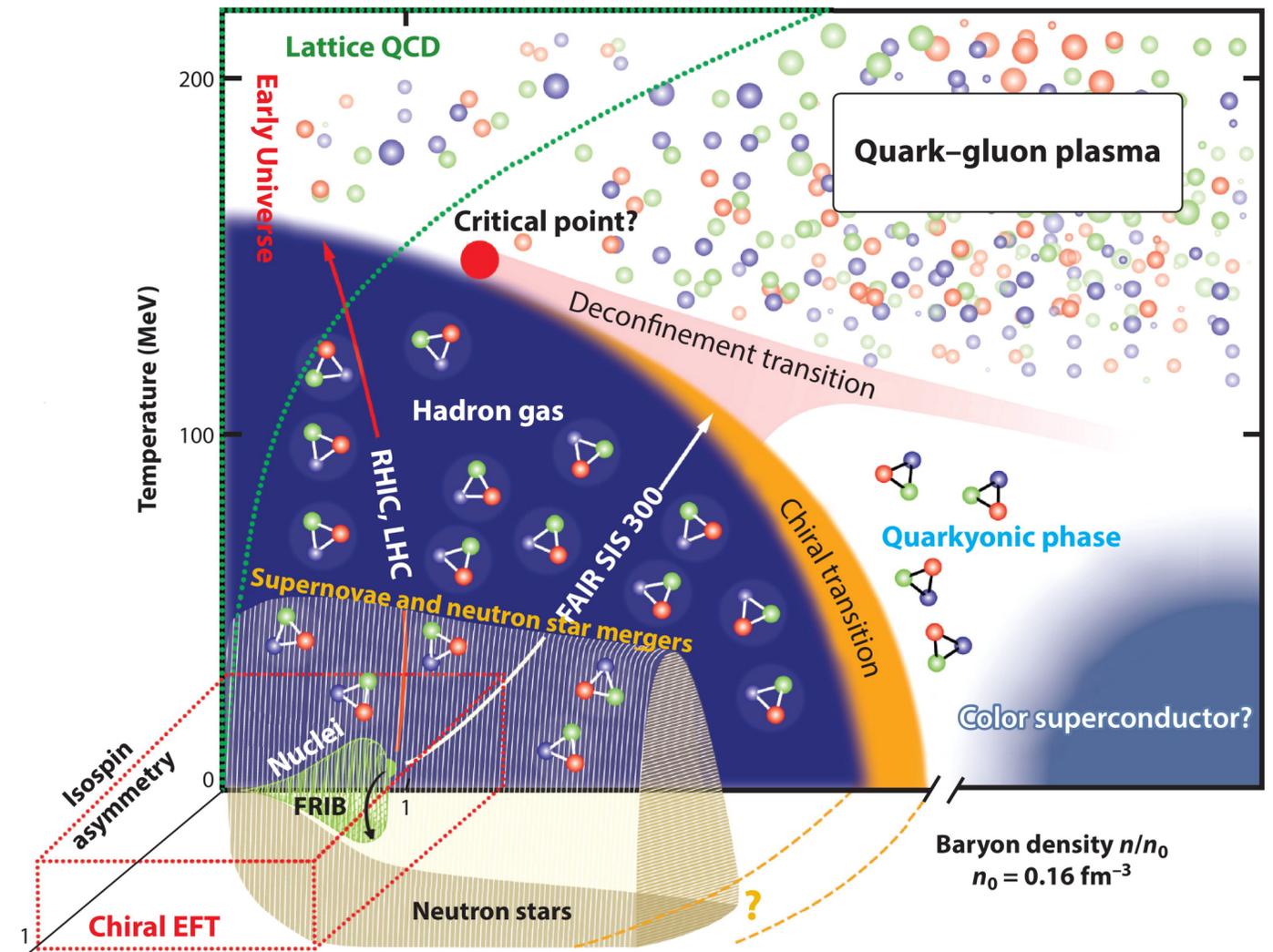
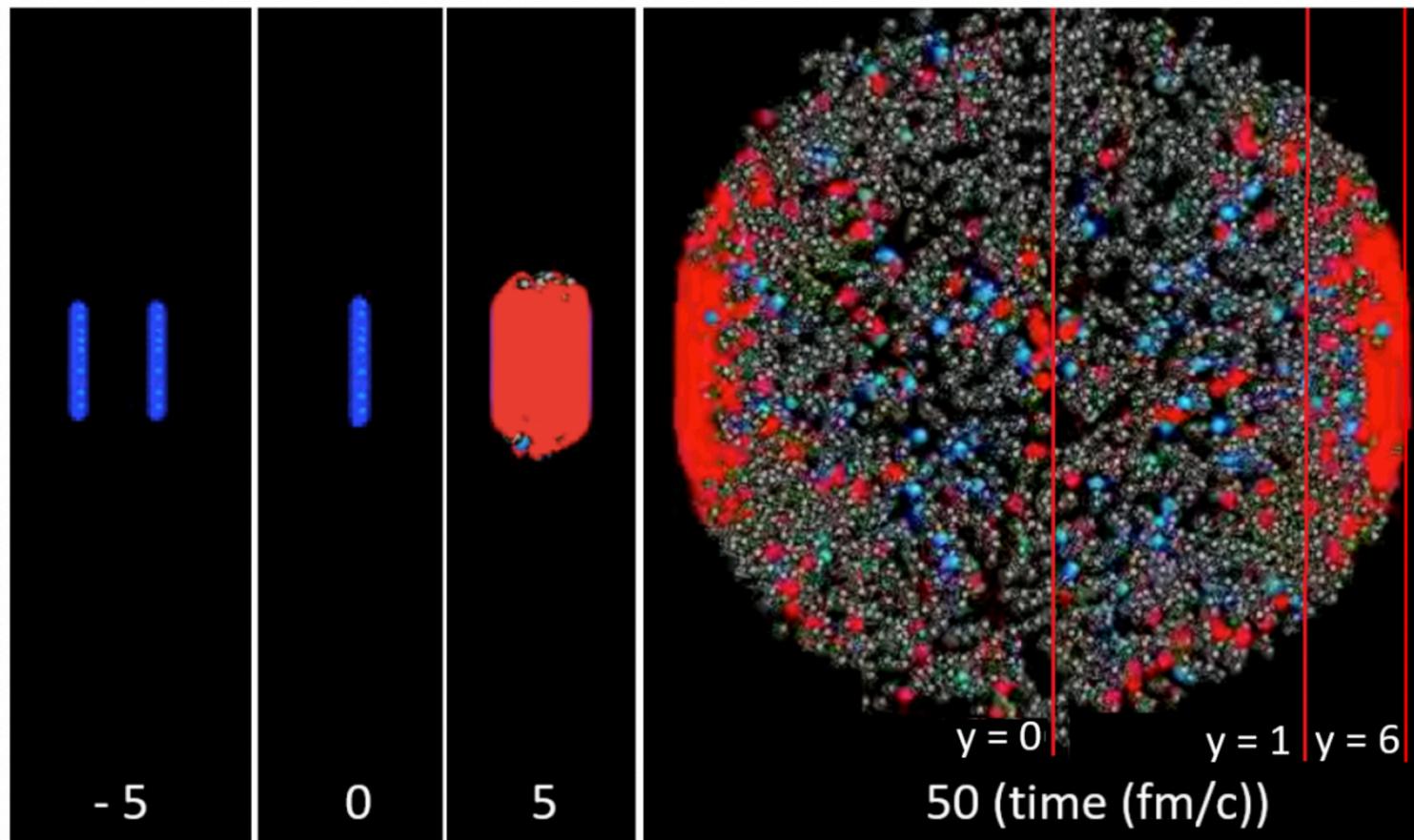
Received: 6 March 2024 / Accepted: 23 May 2024
© The Author(s), under exclusive licence to Società Italiana di Fisica and Springer-Verlag GmbH Germany, part of Springer Nature 2024
Communicated by Giorgio Torrieri

Se aceptó para su publicación en EPJ-A

Diagrama de fase de la QCD

y caracterización de la región de interacción en colisiones de iones pesados

[Ann. Rev. Nucl. Part. Sci. 68, 1(2018)]



Drischler C, et al. 2021
Annu. Rev. Nucl. Part. Sci. 71:403–32

Funciones de correlación de dos partículas

- Tras una colisión, se puede encontrar la distribución de momento de una partícula como

- $\mathcal{P}_1(\mathbf{p}) \equiv \frac{d^3N}{dp^3} \longrightarrow$ Probabilidad de emisión de una partícula con momento \mathbf{p}

- De forma similar, la distribución de momento de dos partículas

- $\mathcal{P}_2(\mathbf{p}_1, \mathbf{p}_2) \equiv \frac{d^6N}{d^3p_1 d^3p_2} \longrightarrow$ Probabilidad de emisión simultánea de una partícula con momento \mathbf{p}_1 y otra con momento \mathbf{p}_2

- Cuando los procesos de emisión de las partículas son independientes uno del otro, \mathcal{P}_2 se puede factorizar como el producto de \mathcal{P}_1 's

- $\mathcal{P}_2(\mathbf{p}_1, \mathbf{p}_2) = \mathcal{P}_1(\mathbf{p}_1)\mathcal{P}_1(\mathbf{p}_2)$

Funciones de correlación

de dos partículas

- Si esta factorización no es válida es porque los procesos no son independientes pero están correlacionados, debido a:
- Leyes de conservación
- Decaimientos
- Naturaleza cuántica de las partículas
- Etcétera ...

Funciones de correlación

de dos partículas

- Desde el punto de vista teórico, esta función está definida como

$$\bullet C_2(\mathbf{p}_1, \mathbf{p}_2) = \frac{\mathcal{P}_2(\mathbf{p}_1, \mathbf{p}_2)}{\mathcal{P}_1(\mathbf{p}_1) \cdot \mathcal{P}_1(\mathbf{p}_2)}$$

→ Distribución de momento de dos partículas

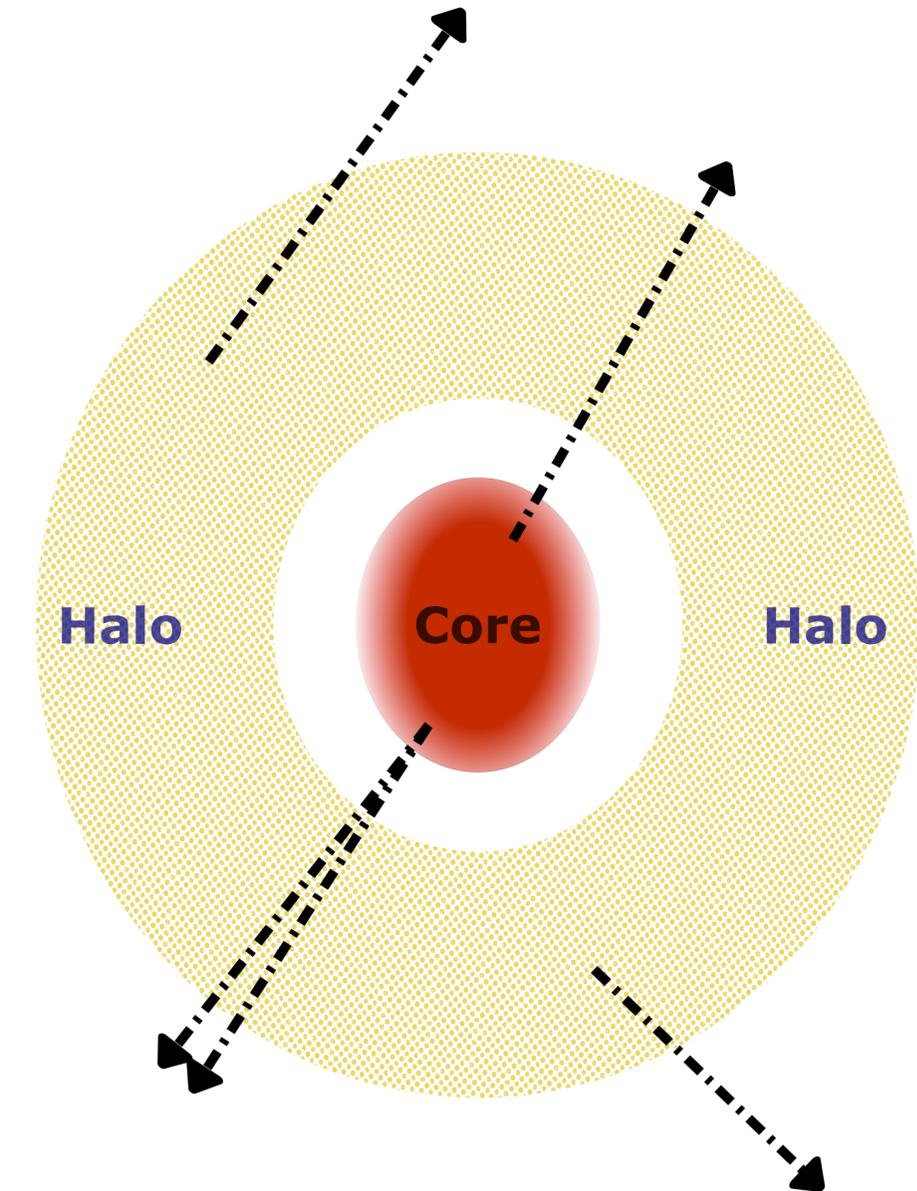
→ Distribuciones de momento de una partícula

- Las funciones de correlación usualmente están descritas como función del **momento relativo del par**, $q = p_1 - p_2$, y del **momento promedio del par**, $K = \frac{p_1 + p_2}{2}$, además restricciones de capa de masa implican que C_2 sólo es función de \mathbf{q} y \mathbf{K}

Funciones de correlación

Modelo de core - halo

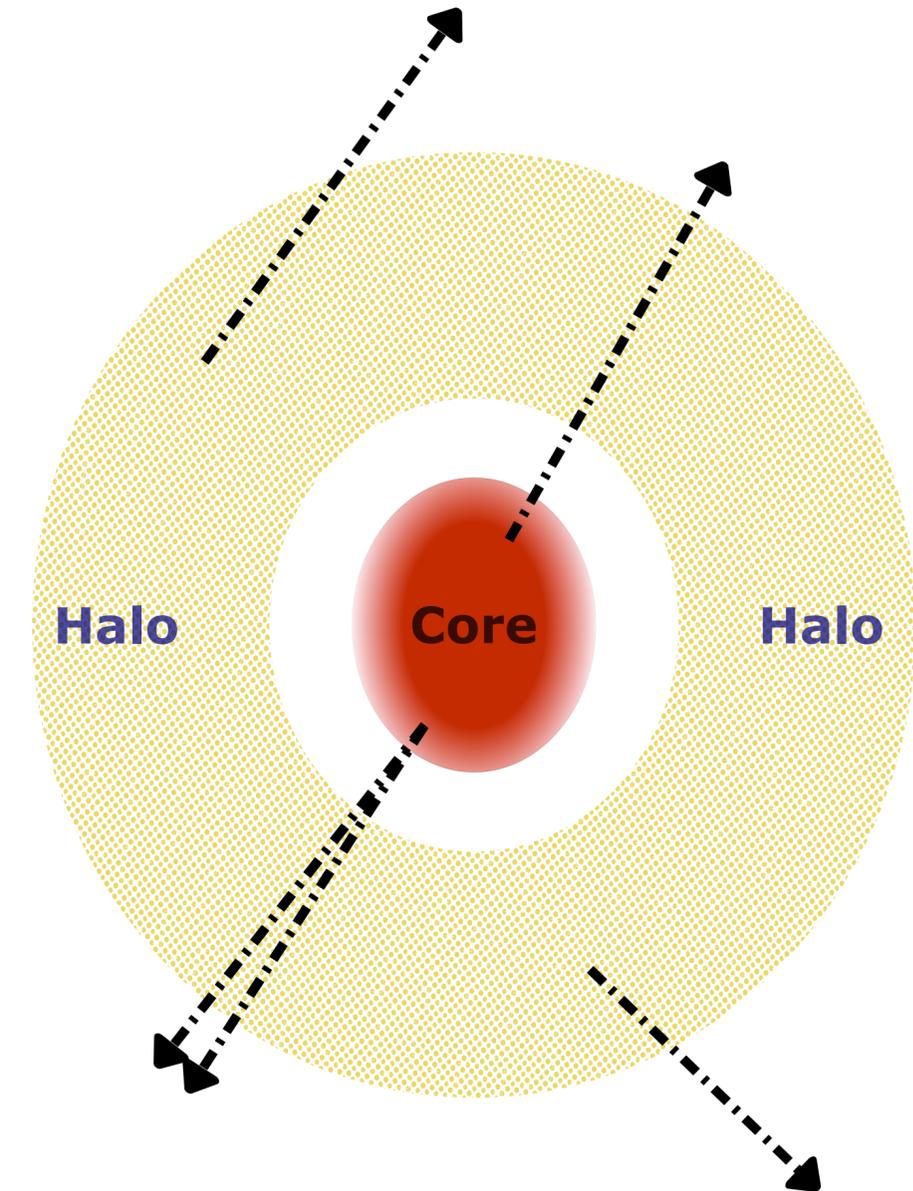
- La función de correlación, para $q_{inv} \rightarrow 0$, alcanza un valor $1 + \lambda$, con $0 \leq \lambda \leq 1$, esto puede deberse a que las resonancias que decaen crean un halo alrededor de la región de interacción
- Un detector con resolución finita no será capaz de resolver el halo si su tamaño característico es mayor que la resolución de momento



Funciones de correlación

Modelo de core - halo

- Supongamos que el detector tiene una resolución de momento Δ_q y que la fuente está hecha de dos componentes
- $S = S_{\text{core}} + S_{\text{halo}}$
- Donde el halo está hecho a partir del decaimiento de resonancias
- La escala característica del halo es $R_{\text{halo}} \gtrsim \frac{1}{\Delta_q}$, entonces
- $R_{\text{core}} < \frac{1}{\Delta_q} \lesssim R_{\text{halo}}$



Funciones de correlación

Modelo de core - halo

- Las distribuciones de momento del núcleo y del halo se pueden escribir como

- $\mathcal{P}_{1,\text{core}}(K) = \int d^4x S(x, K) = \tilde{S}_{\text{core}}(0, K) \equiv N_{\text{core}}$

- $\mathcal{P}_{1,\text{halo}}(K) = \int d^4x S(x, K) = \tilde{S}_{\text{halo}}(0, K) \equiv N_{\text{halo}}$

- Por lo que $\mathcal{P}_1(K) = \tilde{S}(0, K) = N_{\text{core}} + N_{\text{halo}}$. Como para el halo, la región de $q < \Delta_q$ no se puede resolver, entonces $\tilde{S}_{\text{halo}}(q, K) \approx 0$, entonces $\tilde{S}(q, K) \simeq \tilde{S}_{\text{core}}(q, K)$ y por lo tanto

- $$C_2(q, K) = 1 + \left(\frac{N_{\text{core}}}{N_{\text{core}} + N_{\text{halo}}} \right)^2 \frac{\left| \tilde{S}_{\text{core}}(q, K) \right|^2}{\left| \tilde{S}_{\text{core}}(0, K) \right|^2}, \text{ con } \lambda = \left(\frac{N_{\text{core}}}{N_{\text{core}} + N_{\text{halo}}} \right)^2$$

Funciones de correlación

Relación entre el índice de Lévy y los exponentes críticos de QCD

- La función de correlación del parámetro de orden debe decaer como ley de potencias en la vecindad del punto crítico

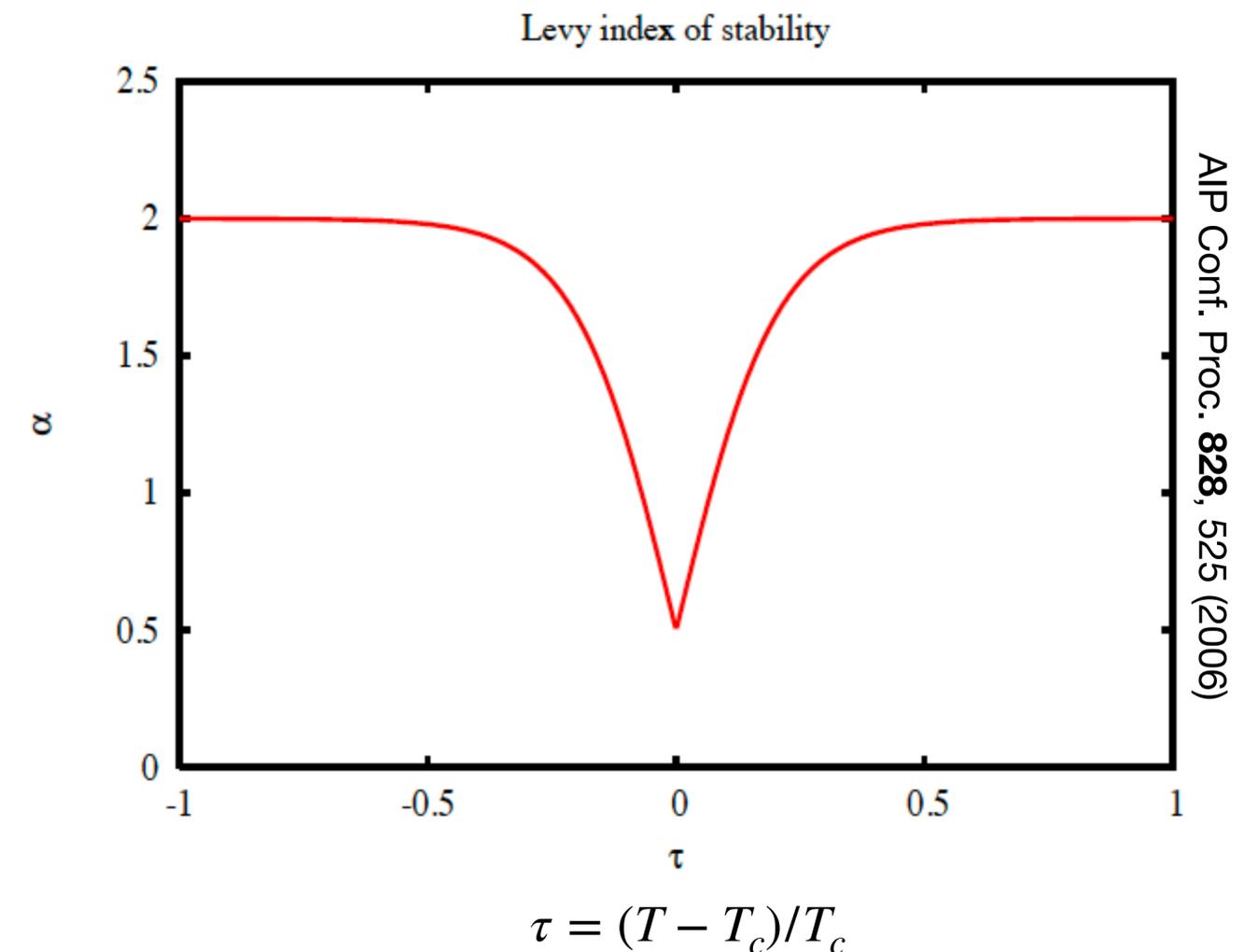
$$\rho \propto r^{-(d-2+\eta)}$$

- Para fuentes tipo Lévy, la correlación entre posiciones iniciales y finales también debe decaer como ley de potencias

$$\rho \propto r^{-(1+\alpha_{Levy})}$$

- Para $d = 3$, $\eta = \alpha_{Lévy}$

- En este modelo, $\eta = 0.5 \pm 0.05$



Ajustes y parametrizaciones

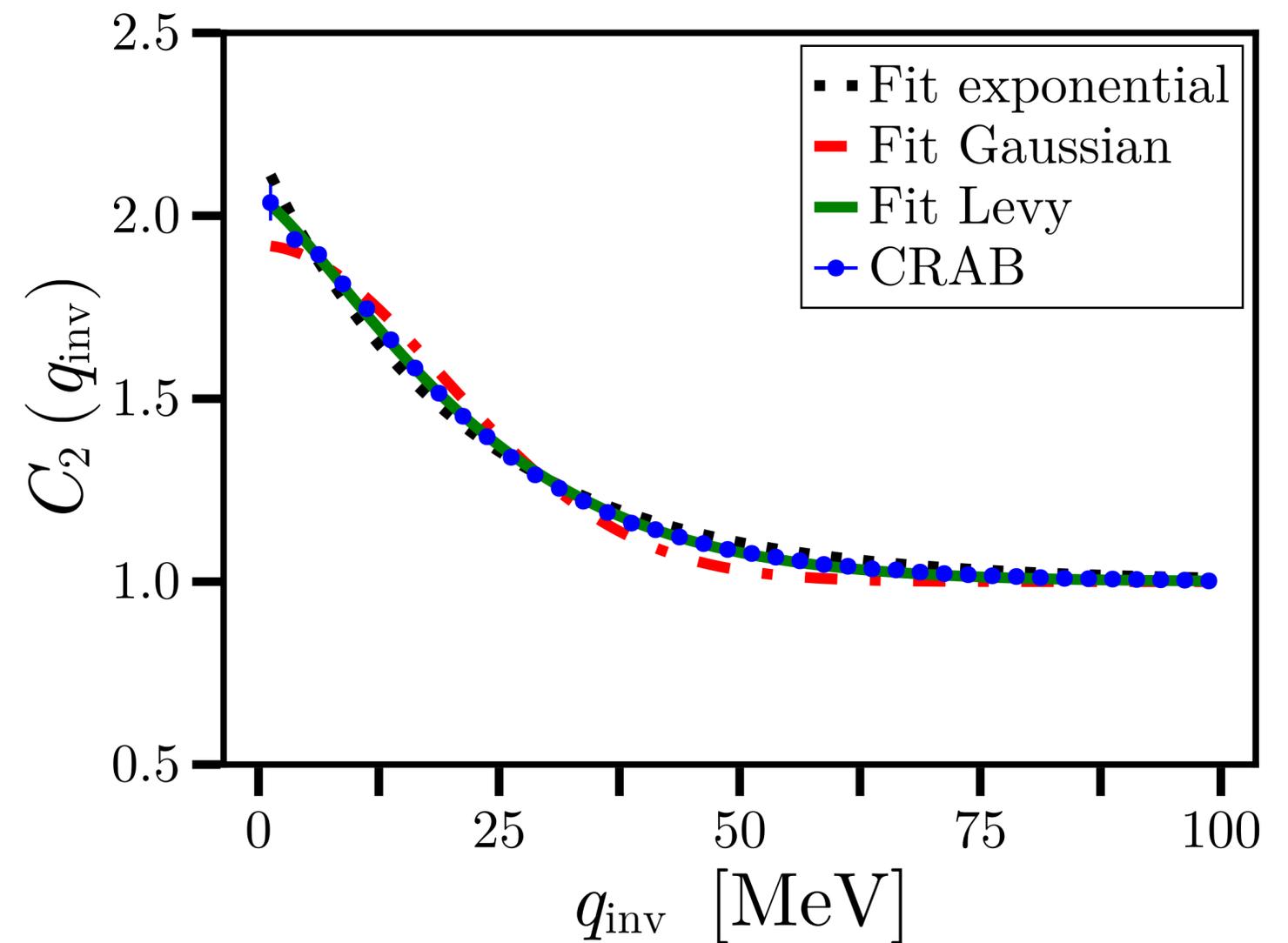
a la función de correlación

- Para $q_{\text{inv}} = \sqrt{q_0^2 - |\mathbf{q}|^2}$
- Forma Gaussiana : $C_2(q_{\text{inv}}) = 1 + \lambda \exp\left(-q_{\text{inv}}^2 R_{\text{inv}}^2\right)$
- Forma Lévy : $C_2(q_{\text{inv}}) = 1 + \lambda \exp\left(-|q_{\text{inv}} R_{\text{inv}}|^\alpha\right)$
- Forma exponencial : $C_2(q_{\text{inv}}) = 1 + \lambda \exp\left(-|q R_{\text{inv}}|\right)$

Función de correlación de dos piones

con resolución ideal para todos los piones a $\sqrt{s_{NN}} = 5.8 \text{ GeV}$

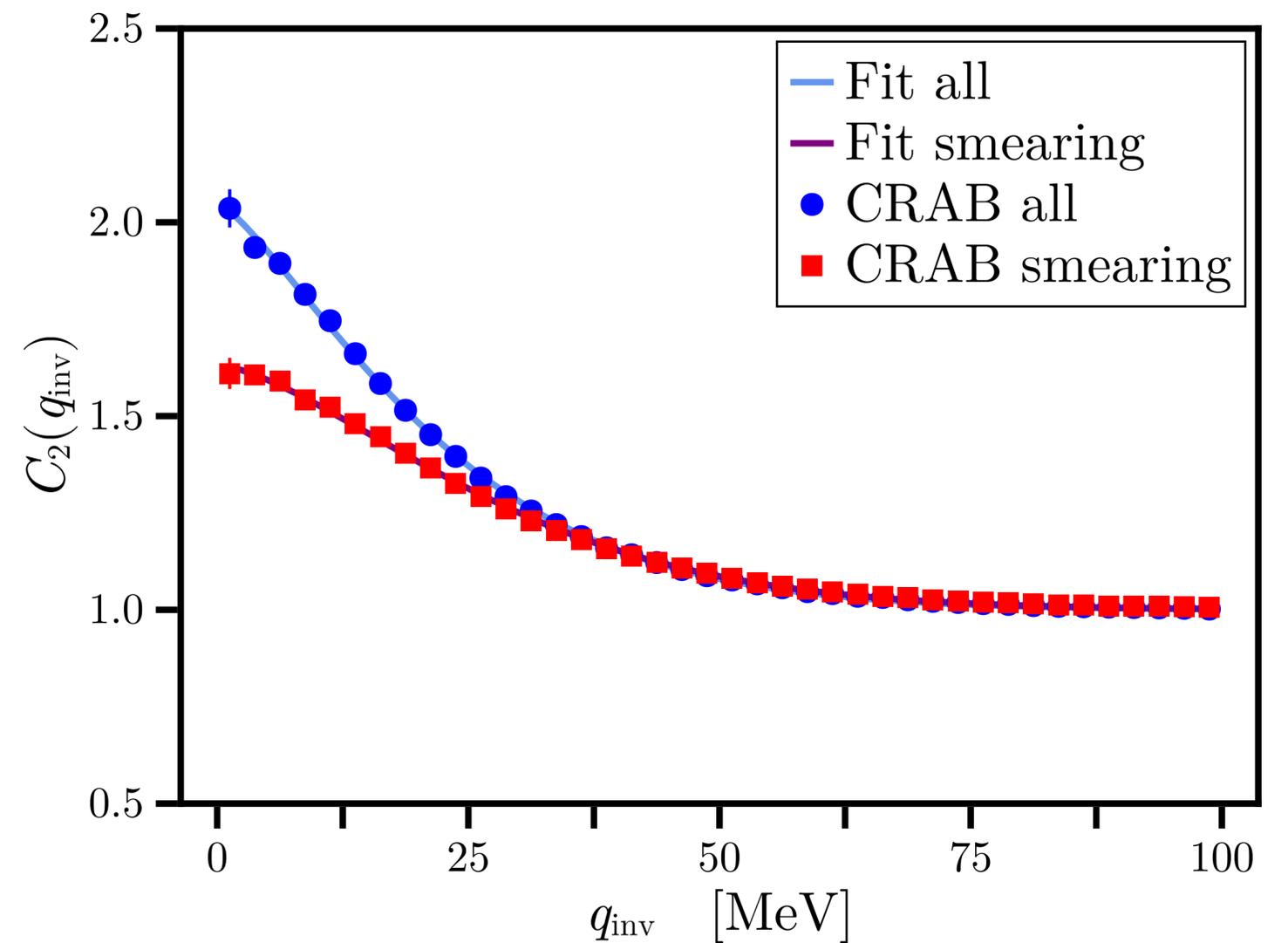
	R_{inv} [fm]	λ	α	χ^2 / ndf
exponencial	9.46 ± 0.22	1.18 ± 0.02	—	14.85
Gaussiana	7.25 ± 0.17	0.92 ± 0.02	—	38.30
Lévy	8.12 ± 0.06	1.05 ± 0.01	1.31 ± 0.01	0.83



Función de correlación de dos piones

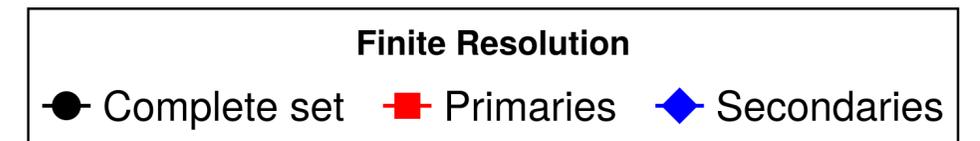
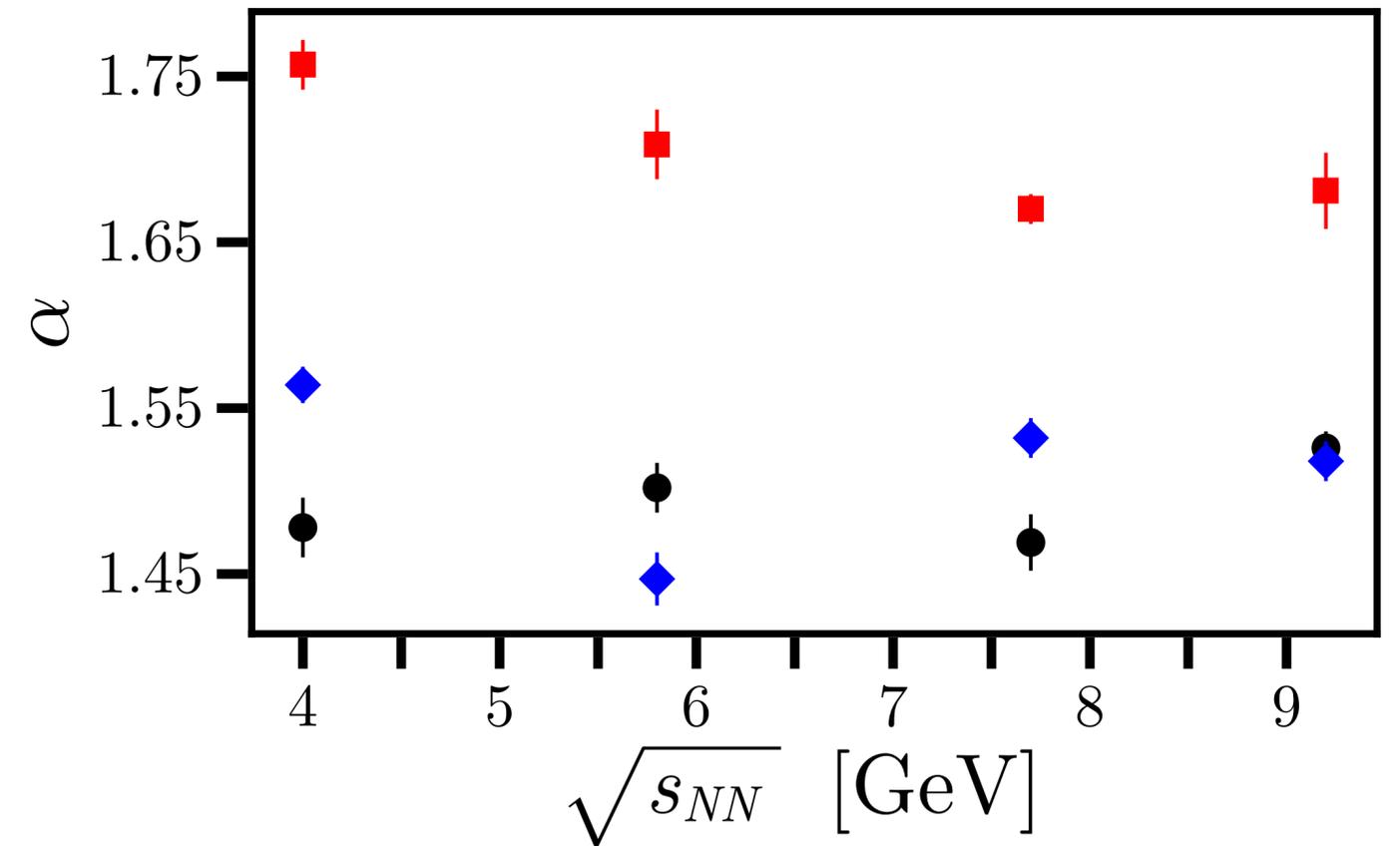
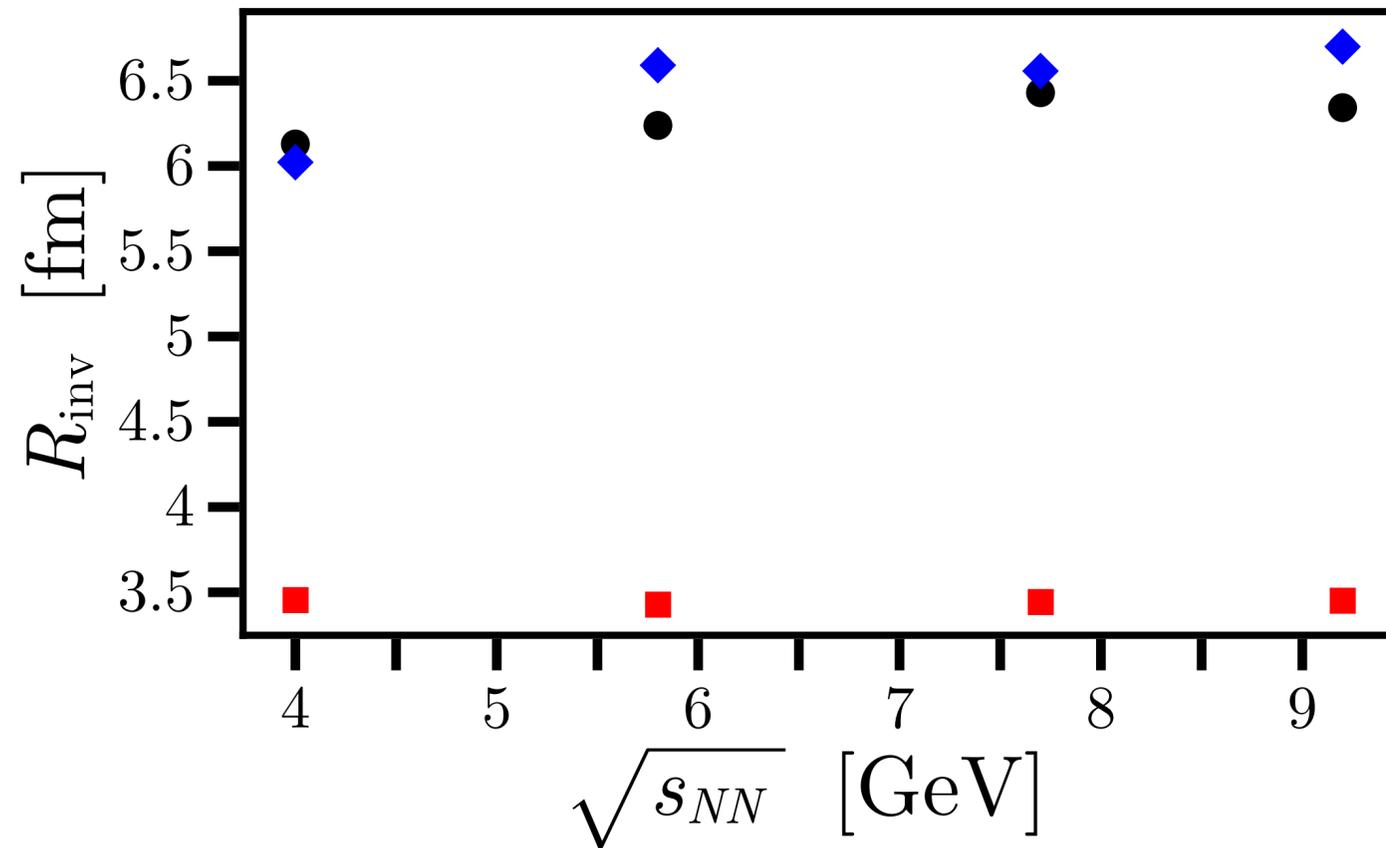
con resolución finita para todos los piones a $\sqrt{s_{NN}} = 5.8 \text{ GeV}$

	R_{inv} [fm]	λ	a	χ^2 / ndf
Con smearing	6.24 ± 0.05	0.63 ± 0.01	1.50 ± 0.02	0.91
Sin smearing	8.121 ± 0.06	1.05 ± 0.01	1.31 ± 0.01	0.83



Función de correlación de dos piones

con resolución finita a diferentes energías



Función de correlación de dos piones y modelo de core - halo

- En el modelo de core - halo

$$\lambda = \left(\frac{N_{\text{core}}}{N_{\text{core}} + N_{\text{halo}}} \right)^2$$

- Esto quiere decir que entre el 82 y 77 % de los piones provienen del core
- Entre el 6 y 13 % de los piones se producen por procesos primarios, por lo que el core tiene una gran fracción de piones secundarios
- Como $\Delta_q \cdot R_{\text{inv}} \sim 1$, entonces $R_{\text{inv}} \lesssim 20$ fm

$\sqrt{s_{\text{NN}}}$	λ_{todos}	$\lambda_{\text{primarios}}$	$\lambda_{\text{secundarios}}$
4.0	0.677 ± 0.003	0.907 ± 0.002	0.651 ± 0.004
5.8	0.632 ± 0.004	0.905 ± 0.003	0.647 ± 0.005
7.7	0.625 ± 0.004	0.9 ± 0.003	0.608 ± 0.003
9.2	0.595 ± 0.007	0.887 ± 0.005	0.602 ± 0.003

Conclusiones

- Para colisiones en el intervalo energético de NICA, se determinó la evolución de los parámetros que caracterizan a la fuente con la energía de colisión
- Las simulaciones se hicieron con UrQMD y las correlaciones se incluyeron con CRAB
- Los parámetros se obtuvieron a partir del ajuste a formas Gaussianas, Lorentzianas y de Lévy, con la de Lévy dando los mejores resultados
- Al separar las muestras en piones primarios y secundarios se encontró que los secundarios dominan el comportamiento del conjunto completo
- Utilizando el modelo de core - halo se encontró que el core tiene una componente significativa de secundarios, que provienen de resonancias lentas cuya vida media es larga

¡ Gracias por su atención !