



1. DATOS BÁSICOS DEL TFG:

Título: Femtoscopia de piones en el LHC

Descripción general (resumen y metodología):

Desde un punto de vista experimental, la determinación de las interacciones hadrónicas requiere la existencia de blancos y proyectiles estables en experimentos de dispersión. Este es el caso de la interacción nucleón-nucleón donde el blanco es típicamente hidrógeno o deuterio y el proyectil protones, todos ellos partículas estables. Esto ha permitido una determinación muy precisa de la interacción protón-protón y neutrón-protón. Sin embargo, el hecho de que la mayoría de los hadrones consignados en el libro de partículas del particle data group (PDG) sean resonancias, es decir inestables frente a posteriores desintegraciones, hace del todo imposible realizar dichos experimentos de colisión directos, ya que tanto el blanco como el proyectil han desaparecido antes de interactuar.

Hace ya algunos años que las colisiones relativistas de iones pesados se usaron en el relativistic heavy ion collider (RHIC) para estudiar, entre otras cosas, correlaciones entre parejas de hadrones emitidos a partir de la llamada bola de fuego generada cuando los núcleos tienen máximo solapamiento con el fin de obtener indicios cuantitativos de la formación del plasma de quarks y gluones. Esto fue el inicio de la femtoscopía que trata el estado inicial como una fuente de partículas y cuyas correlaciones pueden determinarse detectando en coincidencia parejas de hadrones en el estado final. La base teórica de este método se sintetiza en la fórmula de Koonin-Prat, que promedia el cuadrado de la función de onda de colisión de dos partículas en el estado final según la fuente de energía que caracteriza la bola de fuego.

En los últimos años la femtoscopía se ha propuesto como un método particularmente adecuado para abordar el problema inverso, es decir para determinar interacciones entre parejas prefijados de hadrones estables o inestables que son expulsadas de la bola de fuego generada por las colisiones protón-protón a 7 TeV de energía en el Large-Hadron-Collider (LHC) del CERN. La colaboración ALICE ha iniciado un estudio exhaustivo con una significación estadística alta. La reacción es del tipo

$$p+p \rightarrow X + a + b$$

donde se detectan a y b. En este TFG nos interesaremos por el caso en que a y b son piones, que son los hadrones más ligeros, para los cuales la relatividad es importante. Sin embargo, la fuente que interviene en la fórmula maestra de la femtoscopía es local en espacio-tiempo. Esta es una limitación importante dado que implica conocer la función de onda en espacio de coordenadas. Como es sabido la posición no es un buen observable en sistemas relativistas, debido a la existencia de una longitud de onda Compton, que limita el concepto de localizabilidad.

La ecuación de Kadyshevsky, que usaremos en el TFG, aborda el problema de colisiones relativista y propone la distancia relativa como un observable, admitiendo una formulación directa en espacio de coordenadas que se deriva de una geometría de Lobachevski en espacio de momentos relativos.

Tipología: Estudio de casos, teóricos o prácticos, relacionados con la temática del Grado.

Objetivos planteados:

Objetivo 1.(Preliminares) Estudio y familiarización con las ideas básicas de femtoscopía y repaso de la teoría de colisiones, especialmente el método de ondas parciales y la ecuación de Lippmann-Schwinger.

Objetivo 2. (Calentamiento I) Estudio analítico-numérico de la fórmula de Koonin-Pratt para un pozo esférico de potencial con y sin estado ligado. Determinación de desfasajes y parámetros de baja energía. Función de correlación protón-neutrón en canales singlete y triplete de spin para una fuente gaussiana.

Objetivo 3. (Calentamiento II) Idem que el caso anterior pero para un potencial separable en espacio de momentos usando la ecuación de Lippmann-Schwinger.

Objetivo 4. (Final) Estudio de la ecuación de Kadyshevsky y las funciones de onda en estados de colisión para la interacción pión-pión. Cálculo de la función de correlación de pares y comparación con el experimento.

Bibliografía básica:

1. Quantum Mechanics II, Rubin Landau (para teoría de colisiones en general)
2. NN Experiments and NN Phase-Shift Analysis, E, Ruiz Arriola, R. Navarro-Pérez
Handbook of Nuclear Physics, https://doi.org/10.1007/978-981-15-8818-1_47-1
(para interacción nucleón-nucleón)
3. Femtoscopy in relativistic heavy ion collisions
Michael Annan Lisa, Scott Pratt, Ron Soltz; Ann.Rev.Nucl.Part.Sci. 55 (2005) 357-402
(para colisiones de núcleos pesados en RHIC)
4. Unveiling the strong interaction among hadrons at the LHC
ALICE Collaboration•Alice Collaboration et al.
Nature 588 (2020) 232-238, Nature 590 (2021) E13 (erratum)
(para colisiones pp en LHC)
5. Phenomenology Of Ultra-relativistic Heavy-ion Collisions
Wojciech Florkowski, World Scientific Publishing Company, 2010
(femtoscopia en iones pesados)
6. Final State Interaction Effect on Pairing Correlations Between Particles with Small Relative Momenta
R. Lednicky, V.L. Lyuboshits, Sov.J.Nucl.Phys. 35 (1982) 770,
<https://lib-extopc.kek.jp/preprints/PDF/1981/8110/8110137.pdf>
(femtoscopía de sistemas grandes)
7. Implicit vs Explicit Renormalization and Effective Interactions,
E. Ruiz Arriola, S. Szpigel, V.S. Timoteo.
Phys.Lett.B 728 (2014) 596-601
(potencial nn separable)
8. pi-pi scattering from a similarity renormalization group perspective,
María Gómez-Rocha, Enrique Ruiz Arriola
AIP Conf.Proc. 2249 (2020) 1, 030008 •
(potencial pion-pion separable)

Recomendaciones y orientaciones para el estudiante:

a) Conocimientos previos: Para poder realizar el TFG con aprovechamiento es necesario tener aprobadas la Física cuántica, Física Nuclear y de Partículas y Mecánica Cuántica. Es útil, pero no imprescindible, haber cursado o estar cursando las asignaturas (por este orden) Estructura y Reacciones Nucleares , Radiactividad y aplicaciones, Física Atómica y Nuclear, Teoría cuántica de

campos.

b) Capacidades: Además hay que tener familiaridad con programar autónomamente para resolver problemas numéricos sencillos tales como integración numérica, interpolación, ajustes con errores, inversión de matrices para ser combinados en el TFG.

c) Preferencias: El lenguaje es a gusto del estudiante, pero sólomente podré mirar y/o compartir programas en Matemática o Fortran que son mis lenguajes habituales.

Plazas: 1

2. DATOS DEL TUTOR/A:

Nombre y apellidos: ENRIQUE RUIZ ARRIOLA

Ámbito de conocimiento/Departamento: FÍSICA ATÓMICA, MOLECULAR Y NUCLEAR

Correo electrónico: earriola@ugr.es

3. COTUTOR/A DE LA UGR (en su caso):

Nombre y apellidos:

Ámbito de conocimiento/Departamento:

Correo electrónico:

4. COTUTOR/A EXTERNO/A (en su caso):

Nombre y apellidos:

Correo electrónico:

Nombre de la empresa o institución:

Dirección postal:

Puesto del tutor en la empresa o institución:

Centro de convenio Externo:

5. DATOS DEL ESTUDIANTE:

Nombre y apellidos:

Correo electrónico: