

Calculo de la Probabilidad de Ruptura del Ponium por Monte Carlo

C. Santamarina

Dpto. Física de Partículas, Universidade de Santiago de Compostela, Av. Ramón Aller Ulloa s/n, 15782 Santiago de Compostela.

I. EL TIEMPO DE VIDA DEL PONIUM Y LAS LONGITUDES DE DISPERSION DE LA INTERACCION FUERTE

El hecho de que la teoría de perturbaciones quirales (ChPt) permita realizar predicciones teóricas de alta precisión sobre observables de la interacción fuerte en el régimen de bajo momento ha relanzado el interés sobre fenómenos como la colisión de dos piones en el umbral. En particular, la teoría tiene una predicción para el valor de las longitudes de dispersión en onda S de los canales 0 y 2 de isospin que nos dan la matriz T en la desintegración de dos piones cargados a través de la reacción $p^+ p^- \rightarrow p^0 p^0$:

$$T(s = 4M_\delta^2) = a_0^0 - a_0^2 = 0.265 \pm 0.004 \quad [1]$$

La relación entre la diferencia de las longitudes de dispersión y la vida media del átomo piónico es conocida hasta términos de NLO² estando dada por:

$$\frac{1}{\hat{o}_{nlm}} = \frac{16\delta}{9} \frac{\sqrt{M_\delta^2 - M_{\delta^0}^2 - \frac{\hat{a}^2 M_\delta^2}{4}}}{M_\delta} (a_0^0 - a_0^2 + \hat{a})^2 (1 + \hat{\epsilon}) \left| \phi_{nlm}(0) \right|^2 \quad [2]$$

donde ϵ y κ son las correcciones a NLO, consecuencia de términos que violan la simetría de isospin, en el lagrangiano y ψ es la función de onda del correspondiente estado ligado de pionium con números cuánticos n , l y m . Para el valor de las longitudes de dispersión [1] el resultado del tiempo de vida del estado fundamental del pionium es $t = (2.91 \pm 0.12) 10^{-15}$ s.

II. LA MEDIDA DEL TIEMPO DE VIDA Y EL EXPERIMENTO DIRAC

El experimento DIRAC (PS-212)³ pretende realizar la medida del tiempo de vida del pionium con un 5% de precisión detectando 20.000 pares de procedentes de ionizaciones de átomos piónicos en un blanco de unas decenas de micras de espesor. Para poder llevar a cabo la medida es necesaria una resolución de momento relativo mejor que 1 MeV/c. Es por esto que se ha construido un espectrómetro de doble brazo que está tomando datos en el acelerador PS del CERN.

El procedimiento para medir el tiempo de vida consiste en calcular la probabilidad de ruptura de un átomo piónico en el blanco del dispositivo experimental. Para ello es necesario tener un espectro del momento relativo, Q , de una muestra de pares de piones en la región en la que $Q < 30$ MeV/c. Esta distribución contiene tres tipos de pares, pares de Coulomb, que proceden directamente de la fragmentación del núcleo o de resonancias de vida media mucho menor que el radio de Bohr del pionium, pares de resonancias de vida media larga, muy superior al radio de Bohr del pionium y por último pares procedentes de ionizaciones del pionium en la región en la que $Q < 3$ MeV/c. La forma del espectro de los pares que no son atómicos es conocida y se puede parametrizar en función de tres variables que se determinan mediante un ajuste al espectro en la región en la que $3 < Q < 30$ MeV/c. Los pares procedentes de átomos ionizados se obtienen como un exceso de esta

extrapolación en la región de bajo momento relativo. El número de pares creados se calcula a partir del número de pares de Coulomb por lo que es posible obtener una medida experimental de la probabilidad de ruptura de un átomo.

III. PROBABILIDAD DE RUPTURA Y TIEMPO DE VIDA

La relación entre la probabilidad de ruptura y el tiempo de vida media se obtiene como resultado de resolver el sistema de ecuaciones que nos da la probabilidad de que un átomo ocupe un determinado estado ligado caracterizado por los números cuánticos n , l y m en función de la posición en el blanco s ³:

$$\frac{dp_{nlm}(s)}{ds} = a_{nlm}^{n'l'm'} p_{nlm}(s)$$

$$a_{nlm}^{n'l'm'} = \frac{\sigma_{nlm}^{n'l'm'} \tilde{n}N}{A} \text{ si } nlm \neq n'l'm'; \quad a_{nlm}^{n'l'm'} = \frac{\sigma_{nlm}^{total} \tilde{n}N}{A} - \tilde{a}_{nlm}^{n00} \frac{2M_\delta}{Pc\hat{o}_n} \quad [3]$$

siendo r la densidad del blanco y A su número másico, N el número de Avogadro y P el momento del átomo, cuyo espectro es conocido^{5,6}. Las s son las secciones eficaces de transición entre dos estados y total de interacción en las colisiones entre el pionium y el átomo del blanco. Este sistema de infinitas ecuaciones puede resolverse de manera muy precisa utilizando un algoritmo de Monte Carlo. Los resultados, en un blanco de Níquel de 92 μm de espesor, se ofrecen en la Figura 1 para dos conjuntos de secciones eficaces que difieren en la descripción del factor de forma del átomo del blanco. Para más detalles se puede consultar la referencia⁷.

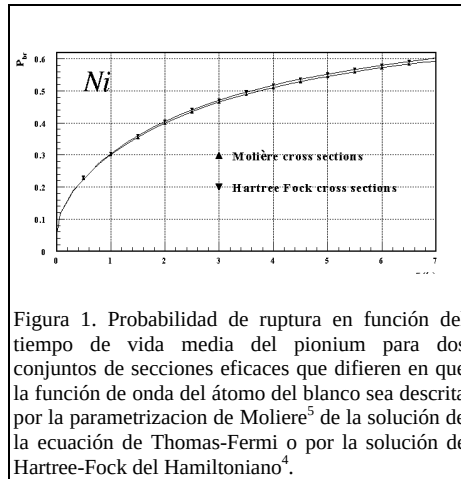


Figura 1. Probabilidad de ruptura en función del tiempo de vida media del pionium para dos conjuntos de secciones eficaces que difieren en que la función de onda del átomo del blanco sea descrita por la parametrización de Moliere⁵ de la solución de la ecuación de Thomas-Fermi o por la solución de Hartree-Fock del Hamiltoniano⁴.

Agradecimientos: Quiero agradecer su ayuda a B. Adeva, M. Plo y L.G Afanasyev.

Referencias

- ¹ G. Colangelo, J. Gasser y H. Leutwyler, Phys. Lett. **B488** (2000) 215.
- ² J. Gasser, V.E. Lyubovitskij y A. Rusetsky, Phys. Lett. **B471** (1999) 244
- ³ B. Adeva *et al.*, *Lifetime Measurement of p^+p^- atoms to test low energy QCD predictions*, CERN/SPSLC 95-1 (1994).
- ⁴ Z. Halabuka, T.A. Heim, K. Hencken, D. Trautmann, R.D. Viollier, Nucl. Phys. **B554** (1999) 86.
- ⁵ L.G Afanasyev y A.V. Tarasov, Phys. of At. Nucl. **59** (1996) 85.
- ⁶ L.L. Nemenov, Sov. J. Nucl. Phys **41** (1985) 629; O.E. Gortchakov, A.V. Kuptsov, L.L. Nemenov y Yu. Riabkov, Phys. of At. Nucl. **59** (1996) 2015.
- ⁷ C. Santamarina, *Detección e Medida do Tempo de Vida Media do Pionium no Experimento DIRAC*, Tesis doctoral, Universidade de Santiago de Compostela 2001.