UNIVERSIDAD DE GRANADA

FACULTAD DE CIENCIAS

Propuesta TFG. Curso 2026/2027

GRADO: Doble Grado en Física y Matemáticas

CÓDIGO DEL TFG: 295-025-2026/2027

1. DATOS BÁSICOS DEL TFG:

Título: Desintegración radiactiva: Estadística del proceso y análisis de las ecuaciones de Bateman

Descripción general (resumen y metodología):

Tres años después del descubrimiento de la radiactividad en 1896, se pudo concluir que la velocidad de desintegración de una sustancia radiactiva pura disminuye con el tiempo según una ley exponencial. Unos años después, se pudo comprobar también que el proceso de desintegración es de naturaleza estadística, siendo imposible predecir cuándo se desintegrará un núcleo determinado; además esta hipótesis conduce directamente a la ley exponencial. Esta falta de predictibilidad del comportamiento de las partículas individuales no preocupa a la mayoría de los científicos hoy en día, pero este primer ejemplo de ello, antes del desarrollo de la teoría cuántica, era aparentemente difícil de aceptar. Una vez aceptado este comportamiento estadístico del proceso de desintegración radiactiva, y que la utilidad de la ley exponencial de la desintegración para determinar la actividad en cualquier instante de tiempo de una muestra pura radiactiva, se pudo tratar también el problema de las series radiactivas. Bateman, en 1910, imponiendo unas condiciones iniciales concretas, obtuvo la solución del sistema de ecuaciones diferenciales acopladas que resulta al aplicar la ley de la desintegración radiactiva a cada elemento de la cadena.

El objetivo de este trabajo es, por un lado, estudiar el comportamiento estadístico del proceso de desintegración, y por otro analizar las ecuaciones de Bateman y estudiar sus soluciones para otras condiciones iniciales distintas a las establecidas previamente por Bateman. En particular, el caso en que haya dos valores para las constantes de desintegración iguales en la cadena, nos daría una indeterminación en la solución propuesta por Bateman. Para el proceso de desintegración, tal coincidencia no es posible, al menos teóricamente, porque la constante de desintegración es una propiedad particular de cada isótopo radiactivo. No obstante, estos casos pueden darse debido a limitaciones experimentales. Por otro lado, es más probable que los procesos de transmutación tengan constantes de desintegración efectivas repetidas debido a reacciones neutrónicas inducidas por el flujo de neutrones, que producen isótopos repetidos en cadenas lineales. En particular, las combinaciones de las reacciones (n, γ) y (n, 2n) pueden dar lugar a estas estructuras repetidas. También se estudiará el caso de las ecuaciones de Bateman fraccionales (FBE), que son una generalización de las ecuaciones de Bateman estándar, obtenidas a partir de la ley fraccional de la desintegración radiactiva, con derivadas fraccionales de Caputo. La introducción de esta modificación en la ley de la desintegración radiactiva permite modelar efectos de memoria en transformaciones isotópicas no sucesivas. Tales efectos de memoria han sido previamente puestos de manifiesto en el proceso de desintegración a, que exhibe un comportamiento no Markoviano. Estas ecuaciones de Bateman fraccionarias constituyen una generalización ya que a partir de ellas se pueden obtener las estándar, para orden fraccionario igual a uno.

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

Objetivos planteados:

1. Estudio de la estadística del proceso de desintegración radiactiva.
2. Análisis de las ecuaciones de Bateman. Resolución analítica y numérica.
3. Aplicación a varias cadenas radiactivas de interés.
4. Análisis de las ecuaciones de Bateman fraccionales.

Bibliografía básica:

[1] P. Radvanyi, J. Villain, The discovery of radioactivity, Compt. Rendus Phys. 18(2017) 544-550.
[2] H. Bateman, The solution of a system of differential equations occurring in the theory of radioactive transformations, Proceedings of the Cambridge Philosophical Society, Mathematical and Physics Sciences 15 (1910) 423-427.
[3] C.A. Cruz-López, G. Espinosa-Paredes and J.L. François, General solution of Bateman equations using Cauchy products and the Theory of Divided Differences, Ann. Nucl. Energy 207 (2024) 110729.
[4] C.A. Cruz-López, G. Espinosa-Paredes and J.L. François, Development of the General Bateman Solution using fractional calculus: A theoretical and algorithmic approach, Comp. Phys. Comm. 273 (2022) 108268.
[5] C.A. Cruz-López and G. Espinosa-Paredes, Fractional radioactive decay law and Bateman equations, Nucl. Eng. Tech. 54 (2022) 275-282.
[6] M. Jornet, Analysis of the multi-term fractional Bateman equations in radioactive decay by means of Mikusiński algebraic calculus, Chi. Jour. Phys. 92 (2024) 623.
[7] K. Krane, Introductory Nuclear Physics. John Wiley and Sons, 1988.
[8] C. Anastopoulus, Decays of unstable quantum systems, Int. J. Theor. Phys. 58 (2019) 890-930.
[9] A.E. Calik, H. Ertik, B. Öder and H. Sirin, A fractional calculus approach to investigate the alpha decay processes, Int. J. Mod. Phys. E 22 (2013) 1350049

Recomendaciones y orientaciones para el estudiante:

Plazas: 1

2. DATOS DEL TUTOR/A:

Nombre y apellidos: MARTA ANGUIANO MILLÁN

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

Correo electrónico: mangui@ugr.es

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

Nombre y apellidos: JUAN CALVO YAGÜE

Ámbito de conocimiento/Departamento: MATEMÁTICA APLICADA

Correo electrónico: juancalvo@ugr.es

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: ALBERTO JIMENEZ CAÑADILLAS

Correo electrónico: albertojc29@correo.ugr.es