



## Propuesta de Trabajo Fin de Grado en Física

**Tutor/a:** Marta Anguiano Millán

**Departamento y Área de Conocimiento:** Física Atómica, Molecular y Nuclear

**Correo electrónico:** mangui@ugr.es

**Cotutor/a:**

**Departamento y Área de Conocimiento:**

**Correo electrónico:**

**Título del Trabajo:** Solución de la ecuación de Bethe para partículas cargadas en el rango de energía de interés clínico

**Tipología del Trabajo:**

(Segun punto 3 de las Directrices del TFG aprobadas por Comisión Docente el 10/12/14)

(Marcar con X)

1. Revisión bibliográfica	X	4. Elaboración de nuevas prácticas de laboratorio	
2. Estudio de casos teórico-prácticos	X	5. Elaboración de un proyecto	
3. Trabajos experimentales		6. Trabajo relacionado con prácticas externas	

**Breve descripción del trabajo:**

La interacción de partículas cargadas pesadas con la materia ha tenido gran interés para los físicos desde principios del siglo pasado. En 1903, Willian H. Bragg demostró que una partícula cargada pesada experimenta una pérdida de energía máxima justo antes de quedarse en reposo. La curva resultante de deposición de energía en función de la profundidad se conoce como curva de Bragg, y contrasta con la análoga para fotones, que muestran un decrecimiento continuo en función de la profundidad.

Históricamente, el estudio de cómo depositan la dosis en el medio partículas pesadas cargadas ha sido analizado desde 1930 en términos de la ecuación de Bethe. Todavía existen a día de hoy algunos obstáculos en su implementación, sobre todo cuando el material que constituye el blanco es heterogéneo, o bien es una mezcla de diferentes elementos o experimenta cambios de fase durante la irradiación. Los métodos Monte Carlo han tenido bastante éxito a la hora de describir correctamente este tipo de materiales, aunque a veces el coste computacional puede ser importante. El uso de modelos aproximados, pero que puedan dar resultados de forma rápida, son muy útiles para ser implementados en sistemas de planificación de tratamientos, donde deben de hacerse multitud de cálculos de dosis en el mínimo tiempo posible. También sería muy interesante disponer de métodos aproximados analíticos que puedan funcionar correctamente para un intervalo amplio de energías y partículas, así como en medios heterogéneos.

En este trabajo, se pretende estudiar la posibilidad de resolver analíticamente la ecuación de Bethe en el límite de pequeños efectos relativistas, en el rango de interés clínico entre 10 y 200 MeV.

**Objetivos planteados:**

1. Obtención de la ecuación de Bethe: estudio de los diferentes términos y aproximaciones empleadas.
2. Particularización para el caso de protones y otra partículas cargadas como iones de He o C.
3. Derivación de un modelo analítico para la resolución de la ecuación.
4. Comparación con otros resultados: métodos numéricos, datos tabulados y cálculos Monte Carlo.



**Metodología:**

Se hará uso de la aproximación “Continuous-Slowing-Down Approximation” (CSDA) y la ecuación obtenida se resolverá mediante un desarrollo en serie. Si fuera necesario, se hará uso de programas como MATHEMATICA o MAXIMA. También se empleará el código de simulación Monte Carlo PENELOPE (en particular PENH, su extensión a protones) para realizar cálculos que permitan comparar con los resultados obtenidos con el método analítico desarrollado.

**Bibliografía:**

- [1] H. Bethe, “*Theorie des Durchgrangs schneller Korpuskularstrahlen durch Materie*”, Annalen der Physik 397 (1930) 325..
- [2] D.R. Grimes *et al.*, “*An approximate analytical solution of the Bethe equation of charged particles in the radiotherapeutic energy range*”, Sci. Rep. 7 (2017) 9781.
- [2] D. Martínez *et al.*, “*A practical solution for the Bethe equation in the energy range applicable to radiotherapy and radionuclide production*”, Sci. Rep.9 (2019) 17599.
- [3] F. Salvat, “*A generic algorithm for Monte Carlo simulation of proton transport*”, Nucl. Inst. Meth. Phys. Res. B 316 (2013) 144.
- [4] F. Salvat, J.M. Fernández-Varea and J. Sempau, “*PENELOPE- A code system for Monte Carlo simulation of electron and photon transport*”. Nuclear Energy Agency, Paris (2014).

**A rellenar sólo en el caso que el alumno sea quien realice la propuesta de TFG**

Alumno/a propuesto/a:

Granada, 20 de mayo 2022



UNIVERSIDAD  
DE GRANADA



Facultad de Ciencias  
Sección de Físicas

Sello del Departamento

*Campus Fuentenueva  
Avda. Fuentenueva s/n  
18071 Granada  
Tfno. +34-958242736  
almartin@ugr.es*

**Comisión Docente de Físicas**  
Facultad de Ciencias