

## **Práctico 4**

### **Física de Radiaciones II (2019)**

**38.** El poder de frenado ("Stopping Power") juega un papel importante en el estudio de las interacciones entre partículas cargadas y los átomos de los medios absorbentes.

a) Define el poder de frenado y explica su utilidad.

b) Describe brevemente los tipos de poder de frenado.

c) Explica por qué el poder de frenado másico,  $S$ , depende de las propiedades físicas del medio y del tipo de partícula cargada. Sin embargo para una partícula cargada pesada,  $S$  es constante en un factor de 2 para todos los medios absorbentes.

**39.** ¿Cuál debe ser la relación entre la energía cinética de un protón y de un deuterón que puedan transferir idéntica energía máxima a un electrón atómico?

**40.** En general el poder de frenado total para una dada partícula cargada es la suma del poder de frenado de colisión y el poder de frenado por radiación. Sin embargo para partículas cargadas pesadas la componente radiativa es despreciable, comparada con la componente de colisión.

a) Calcula el poder de frenado másico del agua para un protón de energía cinética  $T = 100\text{MeV}$ . Ignora las correcciones de capa y densidad. El potencial de ionización / excitación atómica del agua,  $I$ , es 75 eV.

b) Para protones de  $1\text{MeV}$  y  $10\text{MeV}$  en agua repetir lo calculado en a)

c) Calcular la energía cinética del deuterón para que el poder de frenado del agua sea el mismo que el del protón en (a).

d) Calcular el poder de frenado del agua para una partícula  $\alpha$  que tiene la misma velocidad que el protón de la parte (a).

e) Comparar los resultados obtenidos en (a) y (b) para los protones y en (d) para las partículas  $\alpha$  con datos disponibles del NIST para los poderes de frenado del agua para protones y partículas  $\alpha$ , respectivamente. [www.nist.gov/pml/data/star/index.cfm](http://www.nist.gov/pml/data/star/index.cfm).

**41.** a) Calcula cuáles son las componentes blandas y duras del poder de frenado másico de colisión para tritón ( $M = 2808,95\text{MeV}$ ,  $Z = 1$ ) en cobre si su energía cinética es igual a  $800\text{MeV}$  (Supón  $H = 10^2\text{eV}$ ). Halla el poder de frenado total de colisión.

b) Halla el poder de frenado másico de colisión en cobre para una partícula  $\alpha$  con la misma velocidad que la partícula de la parte a).

**42.** Un ciclotrón es capaz de acelerar protones hasta  $100\text{MeV}$  de energía.

a) ¿Cuáles serían las máximas energías cinéticas para deuterones y partículas  $\alpha$ ?

b) Calcula el poder de frenado másico de colisión en agua y en plata para las correspondientes partículas  $\alpha$ . ¿En qué porcentaje aproximadamente cambia el último valor hallado si se consideran las correcciones de capas? ¿y para el caso del agua?

**43.** Halla cuál es la máxima energía que puede ser transferida a un electrón en una colisión frontal por las siguientes partículas, cuya energía es de  $25\text{MeV}$ :

a) electrones,

b) positrones,

c) protones,

d) partícula  $\alpha$ .

**44.** Rehacer el problema 43, para el caso en que cada una de las partículas tenga la misma velocidad que un protón de  $25\text{MeV}$ .

45. Calcula los poderes de frenado másicos de colisión para un electrón y un positrón con una energía cinética de  $50\text{MeV}$  en aluminio. (Incluye las correcciones correspondientes) y determina el valor de la constante,  $n$ , que relaciona el poder de frenado de colisión con el poder de frenado radiativo para dichos electrones.

46. ¿Cuánta energía será emitida en forma de bremsstrahlung por  $10^{15}$  electrones que ingresan con  $10\text{MeV}$  a una lámina de Sn y salen de ella con una energía promedio de  $7\text{MeV}$ ?

47. ¿Cuál es el rango de un ion  ${}^3\text{He}^{2+}$  de  $15\text{MeV}$  en agua líquida?

48. El  ${}^{239}\text{Pu}$  emite partículas  $\alpha$  de  $5,16\text{MeV}$

a) ¿Cuál es su rango, en cm, en agua líquida?

b) ¿En hueso cortical?

c) ¿En PMMA?

49. La ionización específica,  $j$ , se define como el número de pares de iones primarios y secundarios, producidos por unidad de longitud de la trayectoria trazada por una partícula cargada (CP) que atraviesa un medio dado. Normalmente se expresa en pares de iones por milímetro (ip/mm) y aumenta con la carga de la partícula. La ionización específica producida por una partícula cargada, con una energía cinética dada, que atraviesa un medio, es proporcional al poder de frenado,  $s$ , en el medio y la constante de proporcionalidad (al menos para gases) es  $\bar{W}$ , es decir, la energía media requerida para que una partícula de energía cinética dada produzca un par de iones en el medio. Para gases,  $\bar{W}$  es prácticamente independiente de la energía de la partícula incidente y solo depende ligeramente del tipo de partícula cargada. Su valor en aire, para electrones y rayos X, es  $\bar{W}_{\text{air}} = 33,97\text{eV/ip}$ , para protones es  $35\text{eV/ip}$  y para partículas alfa es  $36\text{eV/ip}$ . Determinar la ionización específica resultante del paso de un protón de  $10\text{MeV}$  través de aire estándar ( $T = 0^\circ\text{C}$  y  $P = 101,3\text{kPa}$ ).

Datos: Densidad de aire estándar  $1,293 \times 10^{-3}\text{g/cm}^3$ ; el potencial medio de ionización / excitación del aire es  $I_{\text{air}} = 86\text{eV}$ . Composición del aire: Nitrógeno 75.8 %, Oxígeno 22.6 %, Argón 0.93 %, y dióxido de carbono 0.03 % ( $\bar{M}_{\text{CO}_2} = 44\text{g/mol}$ ).

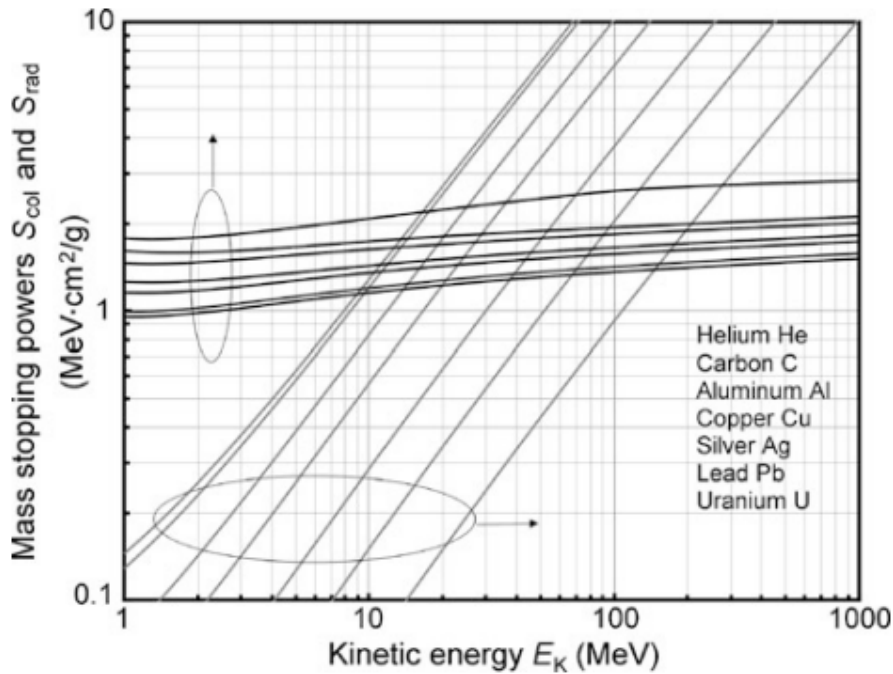
50. Para un medio con un dado número atómico  $Z$ , la energía cinética,  $T$ , de una partícula cargada liviana para la cual ambas componentes del poder de frenado son iguales ( $S_{\text{col}}(T_{\text{Crit}}) = S_{\text{rad}}(T_{\text{Crit}}) = \frac{1}{2}S_{\text{total}}(T_{\text{Crit}})$ ) es llamada energía cinética crítica  $T_{\text{Crit}}$ . La literatura sugiere que  $T_{\text{Crit}}$  para un dado material  $Z$  puede ser estimada con la siguiente expresión empírica:

$$T_{\text{Crit}} \approx \frac{800\text{MeV}}{Z}$$

En la figura se grafica el poder de frenado radiativo y de colisión de los elementos: Helio, Carbono, Aluminio, Cobre, Plata, Plomo y Uranio, en función de la energía cinética  $T$  de las partículas livianas. Los datos son extraídos de NIST y las gráficas son para  $T$  en la vecindad de  $T_{\text{Crit}}$ .

a) Identifica las curvas de  $S_{\text{col}}$  y  $S_{\text{rad}}$  para los 7 materiales.

b) Construye un gráfico de  $T_{\text{Crit}}$  en función de  $Z$  a partir de los datos de la gráfica y otro a partir de los valores de la ecuación y compáralos.



51. Una fuente pequeña de  $^{90}\text{Y}$  de  $3,7 \times 10^8 \text{ Bq}$  es colocada dentro de un contenedor blindado con plomo tal que su espesor absorbe las partículas  $\beta$  emitidas por la misma (de energía máxima  $2,28 \text{ MeV}$  y energía media  $0,94 \text{ MeV}$ ).

a) Estima la tasa de energía que es irradiada como bremsstrahlung y la tasa de fluencia de fotones a 1 metro de distancia de la fuente.

b) ¿Cómo cambiarían los valores calculados en a) si el blindaje fuese de aluminio?

52. a) Calcula la energía cinética máxima que una partícula de masa  $M$  le puede transferir a otra de masa  $m$  en una colisión. Obtén las expresiones usadas en clase y la forma en el caso  $M \gg \gamma m$ .

b) Muestra que  $\beta^2 = T(T + 2Mc^2)/(T + mc^2)^2$ .

53. Calcula el poder de frenado másico restringido electrónico en aluminio para electrones y positrones con energía cinética de  $50 \text{ MeV}$  con un "cut off"  $\Delta = 15 \text{ keV}$ .

54. Un electrón de  $1 \text{ GeV}$  en aire recorre una longitud de radiación. Calcula la energía "perdida" en dicho trayecto.

55. a) Calcula la energía que irradia un electrón de  $4 \text{ MeV}$  en un blanco de tungsteno lo suficientemente grueso para detenerlo. b) Estima el cociente entre la tasa de pérdida de energía radiativa y la colisional para electrones de  $10 \text{ MeV}$  y  $1 \text{ MeV}$  en un blanco de tungsteno.