

## Física de Radiaciones II (2025)

### Práctico 4

1. ¿Cómo debe ser la relación entre la energía cinética de un protón y de un deuterón para que puedan transferir idéntica energía máxima a un electrón atómico?
2. En general, el poder de frenado para una partícula cargada es la suma del poder de frenado colisional y el poder de frenado por radiación. Sin embargo, para las partículas cargadas pesadas la componente radiativa es despreciable, comparada con la componente de colisión.
  - a) Calcule el poder de frenado másico del agua para un protón de energía cinética  $T = 100$  MeV. Ignore las correcciones de capa y densidad. El potencial de ionización/excitación atómica del agua,  $I$ , es 75 eV.
  - b) Para protones de 1 MeV y 10 MeV en agua, repita el apartado a.
  - c) Calcule la energía cinética del deuterón para que el poder de frenado del agua sea el mismo que el del protón en a.
  - d) Calcule el poder de frenado del agua para una partícula  $\alpha$  que tiene la misma velocidad que el protón de la parte a.
  - e) Compare los resultados obtenidos en a y b y en d con los 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)).
3.
  - a) Calcule las componentes blanda y dura del poder de frenado másico de colisión para el tritón ( $M = 2808,95$  MeV,  $Z = 1$ ) en cobre si su energía cinética es igual a 800 MeV (suponga  $H = 100$  eV). Halle el poder de frenado total de colisión.
  - b) Halle el poder de frenado másico de colisión en cobre para una partícula  $\alpha$  con la misma velocidad que la partícula de la parte a.
4. Un ciclotrón es capaz de acelerar protones hasta 100 MeV de energía.
  - a) ¿Cuáles serían las máximas energías cinéticas para deuterones y partículas  $\alpha$ ?
  - b) Calcule el poder de frenado másico de colisión en agua y en plata para las correspondientes partículas  $\alpha$ . ¿En qué porcentaje aproximadamente cambia estos valores si se consideran las correcciones de capas?
5. Halle la máxima energía que puede ser transferida a un electrón en una colisión frontal por las siguientes partículas con una energía es de 25 MeV:
  - a) electrones
  - b) positrones
  - c) protones
  - d) partícula  $\alpha$
6. Rehaga el problema 5 para el caso en que cada una de las partículas tenga la misma velocidad que un protón de 25 MeV.
7. Calcule los poderes de frenado másicos de colisión para un electrón y un positrón con una energía

cinética de 50 MeV en aluminio. Incluya las correcciones correspondientes y determine el valor de la constante,  $n$ , que relaciona el poder de frenado de colisión con el poder de frenado radiativo para dichos electrones.

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

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

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

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

b) ¿En hueso cortical?

c) ¿En PMMA?

11. 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 que atraviesa un medio es proporcional al poder de frenado,  $s$ , y la constante de proporcionalidad (al menos para gases) es  $\bar{W}$ , es decir, la energía media requerida para que se 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 33,97 eV/ip; para protones es 35 eV/ip y para partículas alfa es 36 eV/ip. Determine la ionización específica resultante del paso de un protón de 10 MeV través de aire estándar ( $T = 0^\circ$  y  $P = 101,3$  kPa).

Datos: Densidad de aire estándar  $1,293 \cdot 10^{-3}$  g/cm<sup>3</sup>; el potencial medio de ionización/excitación del aire es 86 eV. Composición del aire: nitrógeno 75,8%, oxígeno 22,6%, argón 0,93% y dióxido de carbono 0,03 % ( $\tilde{M}_{\text{CO}_2} = 44$  g/mol).

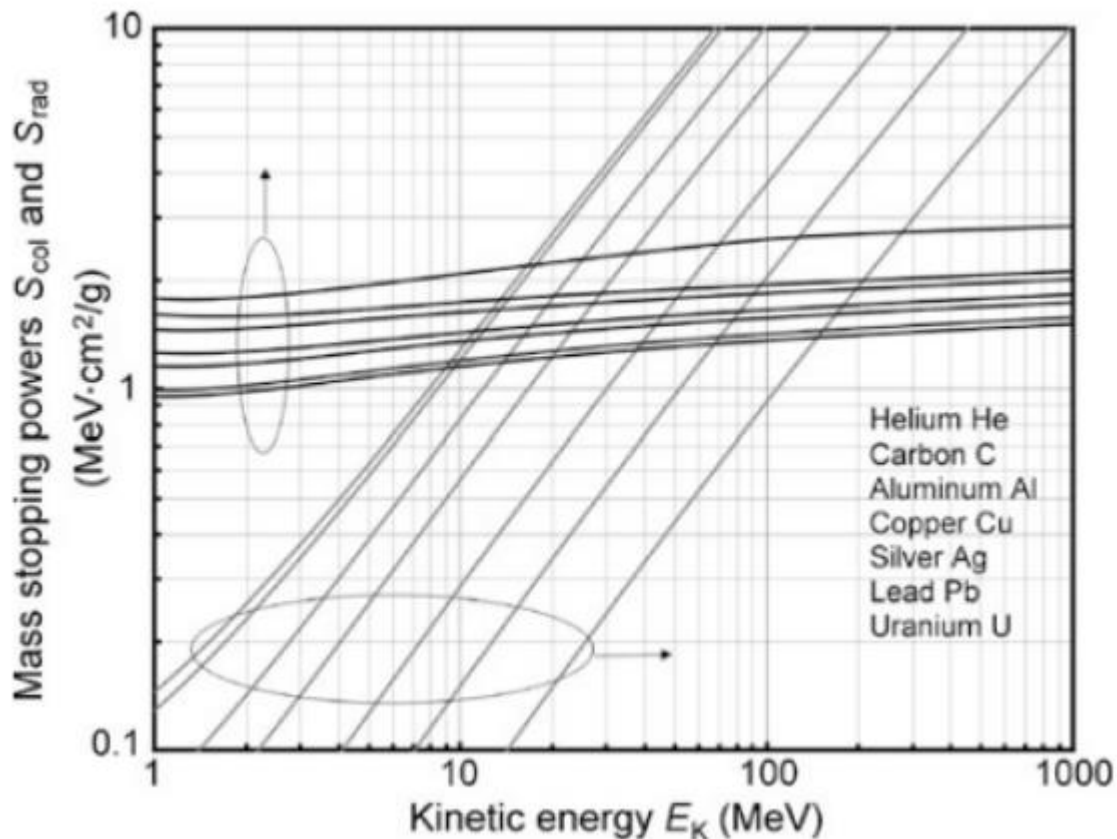
12. Para un medio con un número atómico  $Z$ , la energía cinética de una partícula cargada liviana para la cual ambas componentes del poder de frenado son iguales ( $S_{\text{col}}(T_{\text{crit}}) = S_{\text{rad}}(T_{\text{crit}}) = \frac{1}{2} S_{\text{total}}(T_{\text{crit}})$ ) se llama energía cinética crítica  $T_{\text{crit}}$ . La literatura sugiere que  $T_{\text{crit}}$  para un 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 varios elementos (helio, carbono, aluminio, cobre, plata, plomo y uranio) en función de la energía cinética  $T$  de las partículas livianas. Los datos están extraídos del NIST.

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

b) Construya 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.



13. Una fuente pequeña de  $^{90}\text{Y}$  de  $3,7 \cdot 10^8$  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 MeV y energía media 0,94 MeV).

- Estime la tasa de energía que es irradiada como bremsstrahlung y la tasa de fluencia de fotones a 1 metro de distancia de la fuente.
- ¿Cómo cambiarían los valores calculados en a si el blindaje fuese de aluminio?

14. a) Calcule 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) Muestre que  $\beta^2 = T(T + 2Mc^2)/(T + mc^2)^2$ .

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

16. Un electrón de 1 GeV en aire recorre una longitud de radiación. Calcule la energía "perdida" en dicho trayecto.

- Calcule la energía que irradia un electrón de 4 MeV en un blanco de tungsteno lo suficientemente grueso para detenerlo.
- Estime el cociente entre la tasa de pérdida de energía radiativa y la colisional para electrones de 1 MeV y 10 MeV en un blanco de tungsteno.