

**Práctica 6: Interacción de la radiación con la materia**

**Resumen:** Hemos descubierto cuales son las partículas que se emiten en un proceso de desintegración radioactiva y como generar materiales activos, pero ¿Qué pasa luego con esas partículas? Abordaremos aquí el tema de interacción de la radiación con la materia, fundamental para comprender los métodos de diagnóstico y tratamiento basados en radioactividad que son utilizados en medicina. Además, estos conceptos permiten comprender métodos de detección de estas partículas y los principios de protección (radioprotección), fundamentales para los trabajadores que manipulan material radioactivo.

**Partículas**

1. El alcance de las partículas  $\alpha$  de 4 MeV en el aire es 2.5cm ( $\delta_{\text{aire}} = 1.29 \times 10^{-3} \text{ g/cm}^3$ ). Suponiendo que el producto entre el alcance R (partícula de energía E en un medio específico) y la densidad del medio es aproximadamente constante,  $R \delta \approx cte$ , a) hallar el alcance para las mismas partículas en agua ( $\delta = 1 \text{ g/cm}^3$ ) y Pb ( $\delta = 11.3 \text{ g/cm}^3$ ). B) Si el alcance para protones de 6 MeV en aire es de 45 cm, hallar el alcance aproximado en agua y Pb.

2. Calcular la pérdida de energía de una partícula  $\alpha$  de 10 MeV en Al, siendo  $I = 150 \text{ eV}$ . ¿Cuál sería la máxima penetración en el Al, asumiendo que la pérdida de energía por unidad de camino se mantiene constante? (desprecie las correcciones por densidad y capas).

Recordar que la pérdida de energía por unidad de camino de una partícula cargada pesada con velocidad v en un material de n átomos por unidad de volumen y número atómico Z se puede aproximar por:

$$-\left. \frac{dE}{dx} \right|_e = 0.1535 \text{ MeV cm}^2 \text{ g}^{-1} \rho \frac{Z z^2}{A \beta^2} \left[ \ln \left( \frac{2 m_e \gamma^2 v^2 W_{max}}{I^2} - 2\beta^2 - \delta - 2 \frac{C}{Z} \right) \right]$$

con  $\rho$ , Z A la densidad, numero atómico y peso atómico del material blanco, z la carga del proyectil,  $\beta = v/c$  (cociente entre la velocidad del proyectil y la velocidad de la luz),  $m_e$  la masas del electrón,  $\gamma = 1/(1-\beta^2)^{1/2}$ .  $W_{max} = 2 m_e C^2 \beta^2 \gamma^2$  es la máxima transferencia de energía por colisión simple e I es el potencial de excitación promedio del material blanco, que puede aproximarse con fórmulas empíricas.  $\delta$  y C son las correcciones por densidad y capas.

3. Utilizando la expresión anterior obtenga una gráfica de la perdida de energía de la partícula a medida que penetra el aluminio (curva de Bragg). Si es necesario utilice cálculos numéricos. A partir de la curva determine el rango de la partícula  $\alpha$  en el aluminio y la profundidad a la cual deposita la mayor cantidad de energía (pico de Bragg).

4. Calcular el número de pares de ión-electrón por milímetro de camino generados por protones de 2 MeV en gas nitrógeno bajo condiciones normales de presión y temperatura. Suponer  $I = 80 \text{ eV}$  y  $w = 35 \text{ eV}$ .

5. a) Demuestre que en un mismo medio material las partículas  $\alpha$  y los protones de la misma velocidad inicial tienen aproximadamente el mismo rango, independientemente del medio material considerado.

b) ¿Cuál es la velocidad y energía con la que un protón ingresa a un medio material si en dicho medio tiene aproximadamente el mismo rango que una partícula  $\alpha$  de 10 MeV?

- c) Un protón y una partícula  $\alpha$  que inicialmente tienen la misma energía ingresan en un medio material. Encuentre qué relación existe entre los rangos de ambas partículas para los casos en que  $E = 1 \text{ MeV}$  y  $E = 10 \text{ MeV}$ .
- d) Un protón tiene un rango de  $0.1 \text{ mm}$  en  $\text{Al}$ . Encuentre la velocidad de dicho protón al ingresar al  $\text{Al}$ .

6. Procediendo de la misma manera que en el ejercicio 2 es posible obtener la curva de Bragg para el caso de protones de  $10 \text{ MeV}$  incidiendo sobre agua ( $I = 75 \text{ eV}$ ). En la figura 1 se muestra tal curva y a la derecha, un detalle de esta por encima de los  $0.122 \text{ cm}$  de profundidad. Un tumor se encuentra a una profundidad de  $5 \text{ cm}$  dentro del cuerpo de un paciente. A partir de la dependencia del rango con la energía ( $R \sim T^{1.75}$ ), estimar qué energía deberían tener los protones incidentes para que la máxima transferencia de energía se produzca en el tumor.

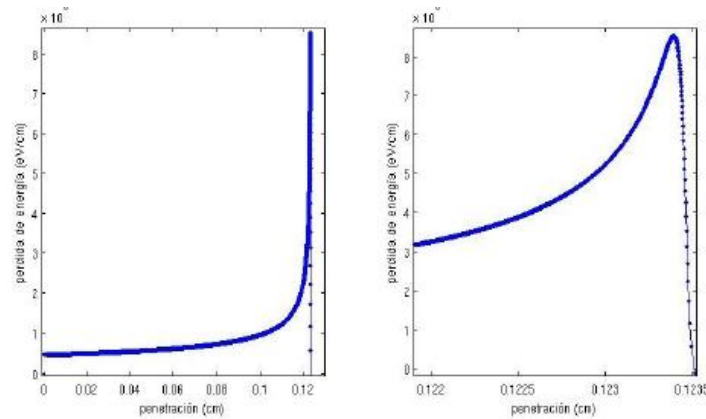


Figura 1. a) Curva de Bragg calculada a partir de la expresión del ejercicio 2 para protones de  $10 \text{ MeV}$  en agua. b) detalle de la misma curva en la región del pico de Bragg.

7. Considerar un electrón de  $1 \text{ MeV}$  incidiendo sobre aluminio. Calcular el poder de frenado del  $\text{Al}$  para este caso. ¿Cual sería la penetración en el aluminio si la tasa de pérdida de energía fuera constante en el tiempo? Teniendo en cuenta que el rango de los electrones es (aproximadamente) independiente del material cuando el mismo se expresa en  $\text{g/cm}^2$ , estimar el rango de los electrones de  $10 \text{ MeV}$  en el aluminio a partir de la curva del rango de electrones en agua (ver figura 2).

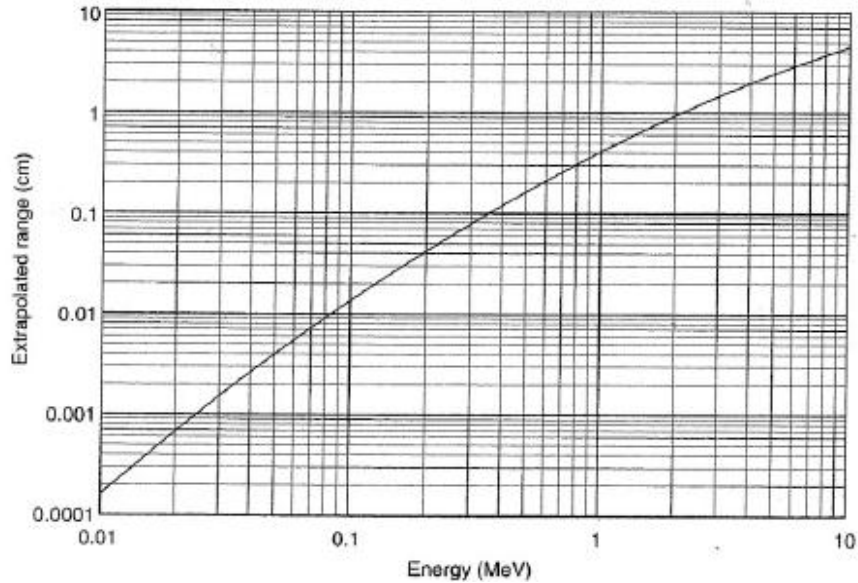


Figura 2. Rango extrapolado de electrones en agua.

## Fotones

8. Calcular el espesor de absorbente necesario (coeficiente de atenuación  $\mu(E)$ ) para que la intensidad de un haz de fotones colimados de energía  $E$  se reduzca a  $1/e$  de la intensidad inicial.
9. La sección eficaz de absorción total para rayos  $\gamma$  de 15 MeV en el Pb es aproximadamente 20 barns.
  - a) ¿Qué espesor de Pb reducirá la intensidad de los rayos gamma a  $1/e$ ?
  - b) ¿Qué espesor reducirá la intensidad en un factor 100?
10. Un haz de fotones colimados provenientes de una fuente de  $^{137}\text{Cs}$ , cuya energía es de 0.661 MeV, incide sobre tejido muscular. Calcular el porcentaje de fotones que emergen después de atravesar un espesor de 20 cm. Realizar el mismo cálculo para 20 cm de aire en condiciones normales.
11. Sea una fuente radioactiva que emite simultáneamente rayos gamma de 0.6 MeV y 1.7 MeV. Si se desea emplear los rayos gamma más energéticos, evitando la exposición a los gamma de 0.6 MeV, ¿qué espesor de Al será necesario interponer entre fuente y detector? ( $\mu(0.6)=0.077 \text{ cm}^2/\text{g}$ ,  $\mu(1.7)=0.046 \text{ cm}^2/\text{g}$ ). En qué porcentaje se reducirá la intensidad del haz de 1.33 MeV?.
12. Deducir utilizando conservación de la energía y de la cantidad de movimiento la expresión de la energía de un fotón dispersado por un electrón libre en función de la energía del fotón incidente y el ángulo del fotón dispersado, es decir, de un fotón que experimenta efecto Compton.
13. Calcular la máxima energía que puede entregarse a un electrón en una interacción Compton. ¿En qué dirección y con qué energía saldría dispersado el fotón en este caso?.
14. Un fotón de energía 10 keV interactúa con un absorbente por efecto Compton, resultando emitido un electrón a  $45^\circ$ . Calcular la energía del fotón secundario.