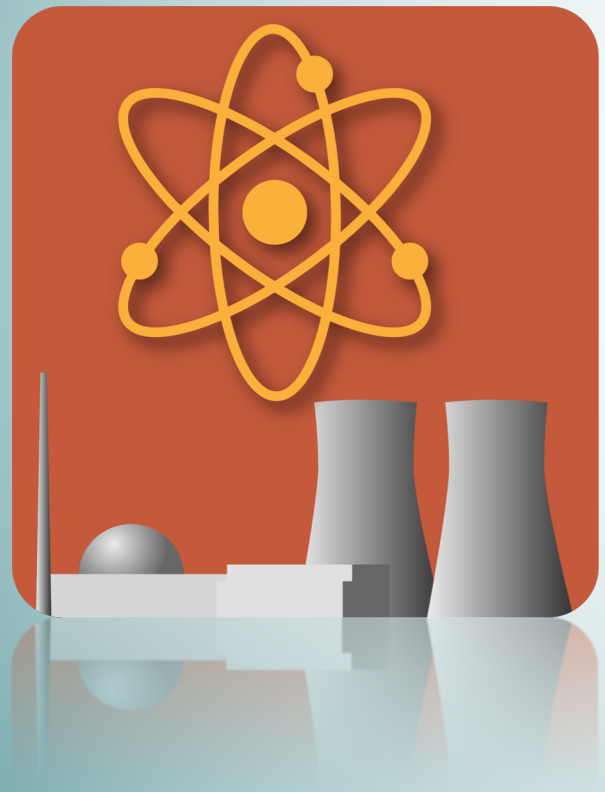
Ingeniería Nuclear

Bloque II. Reactores

Lección 6. Moderación neutrónica



Fernando Delgado San Román

Raquel Martínez Torre

Dpto. de INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ENERGÉTICA

Este tema se publica bajo Licencia:

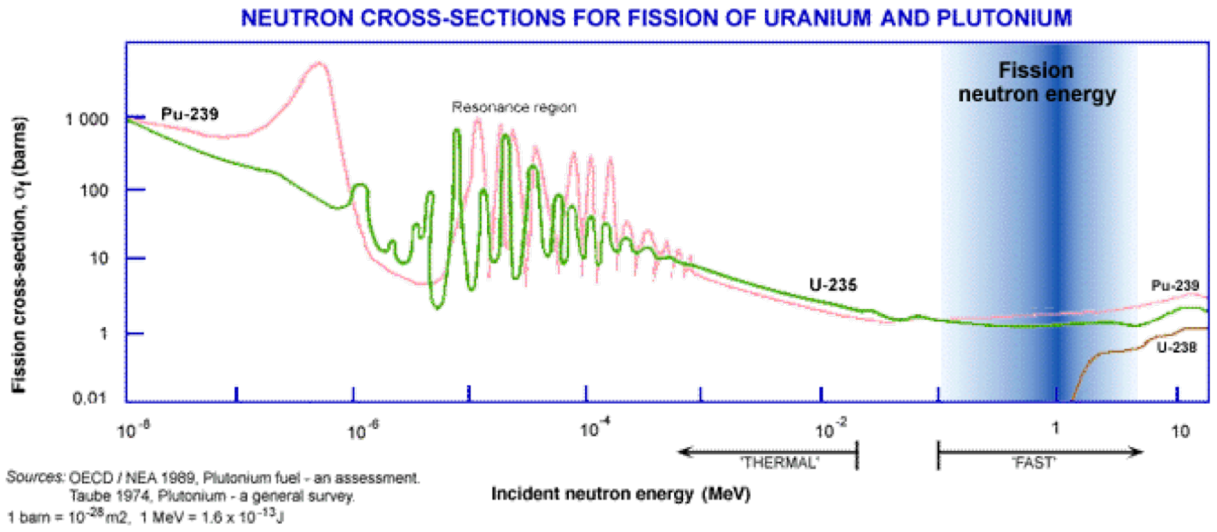
Creative Commons BY-NC-SA 4.0

Grado en Ingeniería de los Recursos Energéticos

MODERACIÓN NEUTRÓNICA

DESACELERACIÓN NEUTRÓNICA Y TERMALIZACIÓN

- Los neutrones de fisión se producen con un nivel de energía media de 2 MeV e, inmediatamente, comienzan a perder velocidad como resultado de las numerosas reacciones de dispersión que sufren contra los núcleos bombardeados.
- Después de una serie de colisiones con los núcleos, la velocidad de un neutrón se reduce hasta que alcanza, aproximadamente, la misma energía cinética media que los átomos (o moléculas) del medio en el que el neutrón está experimentando la dispersión elástica→ Esta energía (0,025 eV a 20 ºC), se denomina frecuentemente como **energía térmica**, ya que depende de la temperatura.
  - ✓ Los neutrones cuyas energías se han reducido a los valores en esta región (<1eV) se denominan **neutrones térmicos.**
  - ✓ **Termalización (desaceleración o moderación):** proceso de reducción de la energía de un neutrón por dispersión elástica hasta que alcanza la región térmica.

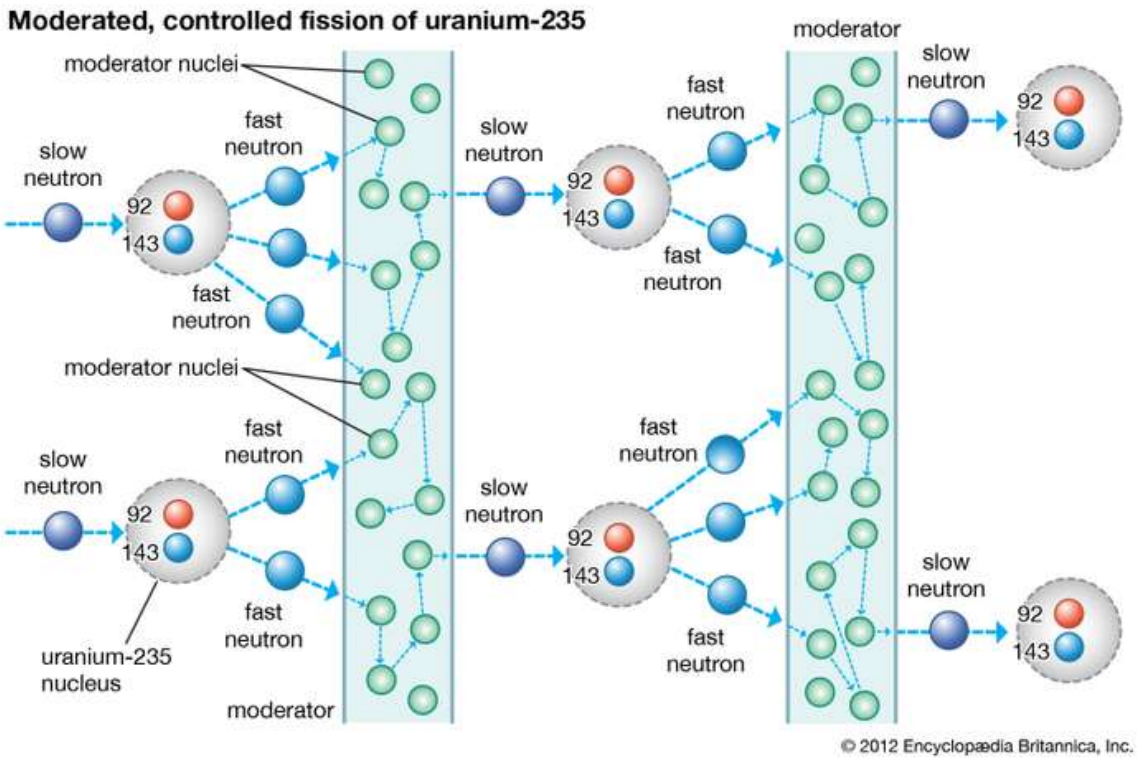


Fuente: Gordon McCabe, The Structure and Interpretation of the Standard Model

MODERACIÓN NEUTRÓNICA

DESACELERACIÓN NEUTRÓNICA Y TERMALIZACIÓN

- El material utilizado para «**termalizar**» los neutrones se denomina **moderador**.
- Un buen moderador reduce la velocidad de los neutrones con un **pequeño número de colisiones**, **sin absorberles** en la mayoría de ellas.
- ¿Por qué es deseable que el número de colisiones sea el menor posible?
  - ✓ Desacelerar los neutrones con el menor número posible de colisiones permite **reducir la fuga de neutrones del núcleo**, reduciendo además el número de absorciones por resonancia de los materiales no-combustibles.
- Propiedades de un buen moderador:
  - ✓ Gran sección eficaz de dispersión.
  - ✓ Pequeña sección eficaz de absorción.
  - ✓ Grandes pérdidas de energía en cada colisión.



Fuente: Encyclopædia Britannica, Inc

MODERACIÓN NEUTRÓNICA

DESACELERACIÓN NEUTRÓNICA Y TERMALIZACIÓN

- **Disminución media logarítmica de energía:** medida de la pérdida de energía por colisión.

$$\xi = \ln E_i - \ln E_f = \ln \frac{E_i}{E_f}$$

$\xi \equiv Disminución\ media\ logaritmica\ de\ energía$
$E_i \equiv Energía\ neutrónica\ inicial\ media$
$E_f \equiv Energía\ neutrónica\ final\ media$

- Los neutrones pierden, en promedio, una fracción fija de su energía en cada colisión de dispersión.
- Para un material dado, la fracción de energía retenida de un neutrón tras un choque elástico es constante; por lo tanto, ξ también es constante.
- Debido a que ξ es constante para cada tipo de material y no depende de la energía inicial de los neutrones, es un parámetro adecuado para evaluar la capacidad de un material moderador.
- El número total de colisiones (N) necesarias para que un neutrón pierda una cantidad determinada de energía se puede determinar utilizando ξ.

$$N = \frac{\ln E_{Alta} - \ln E_{Baja}}{\xi} = \frac{\ln\left(\frac{E_{Alta}}{E_{Baja}}\right)}{\xi}$$

MODERACIÓN NEUTRÓNICA

DESACELERACIÓN NEUTRÓNICA Y TERMALIZACIÓN

- A veces es conveniente, en base a la información conocida, trabajar con una pérdida de energía media porcentual por colisión en lugar de con una fracción media logarítmica.
- Si se sabe que el nivel de energía inicial de los neutrones y la pérdida de energía media porcentual por colisión, se puede calcular el nivel de energía final para un número dado de colisiones:

$$E_N = E_o(1-x)^N \quad \begin{cases} E_N \equiv Energía\ final\ del\ neutrón\ después\ de\ N\ colisiones \\ E_0 \equiv Energía\ inicial\ del\ neutrón \\ x \equiv Pérdida\ de\ energía\ media\ porcentual\ por\ colisión \\ N \equiv Número\ de\ colisiones \end{cases}$$

MODERACIÓN NEUTRÓNICA

POTENCIA DE DESACELERACIÓN MACROSCÓPICA

- A pesar de que la disminución media logarítmica de energía mide adecuadamente la capacidad de un material para decelerar neutrones, no mide todas las propiedades necesarias de un moderador.
- La potencia de desaceleración macroscópica (MSDP, en inglés) mide mejor la capacidad de un material para decelerar un neutrón.

$$MSDP = \xi \times \Sigma_d \quad \begin{cases} MSDP \equiv Poencia\ de\ desaceleración\ macroscópica \\ \xi \equiv Disminución\ media\ logarítmica\ de\ energía \\ \Sigma_d \equiv Sección\ eficaz\ macroscópica\ de\ dispersión\ para\ un\ determinado\ material \end{cases}$$

MODERACIÓN NEUTRÓNICA

RAZÓN DE MODERACIÓN

- El indice MSDP indica la velocidad con la que un neutrón se decelera en un determinado material, pero todavía no explica plenamente la eficacia del material como moderador.
  - ✓ Por ejemplo, el boro tiene una disminución media logarítmica de energía alto y una buena potencia de desaceleración, pero es un moderador pobre debido a su alta probabilidad de absorción de neutrones.
- La razón de moderación (MR, en inglés) es el índice más adecuado para medir la eficacia de un moderador. Es la relación entre la potencia de desaceleración macroscópica y la sección eficaz macroscópica de absorción.

$$MR = \frac{\xi \times \Sigma_d}{\Sigma_a}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} MR \equiv Razón\ de\ moderación \\ \xi \equiv Disminución\ media\ logarítmica\ de\ energía \\ \Sigma_d \equiv Sección\ eficaz\ macroscópica\ de\ dispersión\ para\ un\ determinado\ material \end{array} \right.$$

- Cuanto mayor es esta relación, mayor es la eficacia del material como moderador.

MODERACIÓN NEUTRÓNICA

RECURSOS

- Nuclear Physics and Reactor Theory, 1993 (Department of Energy United Stated of America).