



Bolilla I : RESUMEN DE CONCEPTOS BASICOS. 1979

Energía de enlace. Estabilidad nuclear. Radioactividad. Reacciones neutrónicas. El proceso de fisión. Energía de fisión. Masa crítica. Características generales de los reactores nucleares. Tipos de reactores. Ciclo del combustible nuclear.

Bolilla II : INTERACCION DE ONDAS Y PARTICULAS CON LA MATERIA.

Repaso de conceptos sobre radioactividad. Interacción de partículas alfa y beta con la materia. Interacción de rayos gamma con la materia. Interacción de neutrones con la materia.

Bolilla III: SECCIONES EFICACES.

Secciones eficaces de las reacciones neutrónicas: sección eficaz macroscópica, determinación por el método transmisión, velocidades de reacción neutrónicas, determinación de secciones eficaces por el método de activación, camino libre medio, sistemas neutrónicas polienergéticos. Variación de las secciones eficaces con la energía neutrónica resultados experimentales, interpretación teórica, secciones eficaces de dispersión, secciones eficaces para neutrones de alta energía y para neutrones térmicos. Mecanismo de la fisión nuclear. Secciones eficaces de fisión. Velocidad de fisión y potencia de un reactor. Neutrones retardados. Productos de fisión. Radioactividad y desintegración de los productos de fisión. Acumulación de productos de fisión.

Bolilla IV : DIFUSION Y MODERACION DE NEUTRONES.

Nociones generales sobre: Difusión de neutrones. Moderación de neutrones. Moderación en un medio infinito. Distribución espacial de neutrones moderados.

Bolilla V : TEORIA DE REACTORES.

Condiciones de criticidad. Reactores con reflector. Sistemas reactores homogéneos. Sistemas reactores heterogéneos. Sistemas reticulares ligeramente enriquecidos, moderados por agua. Reactores rápidos. Determinación experimental del tamaño crítico.

Bolilla VI : CONTROL DE REACTORES.

Nociones sobre: Cinética de reactores. Efecto de la temperatura sobre la reactividad. Envenenamiento por productos de fisión. Características generales del control de reactores. Diseño del sistema de control. Análisis de sistemas de reactores.

UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS



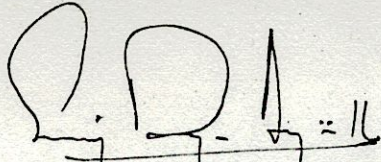
Bolilla VII: PROTECCION RADIOLOGICA Y SEGURIDAD.

Nociones sobre:

Riesgos de irradiación y física sanitaria. Efectos biológicos de las radiaciones. Unidades de dosis de radiaciones. Patrones de protección radiológica. Protección del personal. Seguridad de reactores.

BIBLIOGRAFIA:

- GLASSTONE, S. y SESONSKE, A., Ingeniería de Reactores Nucleares, editorial Reverté (1975).
- LAMARSH, J., Introduction to Nuclear Reactor Theory, U.S.A.: Addison-Wesley Publishing (1966).

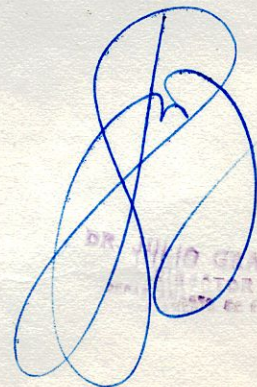


Lic. Luis R. ARGUELLO

Dr. Máximo ABBATE



Ing. Hugo DURAN



DR. MÁXIMO ABBATE
FACULTAD DE CIENCIAS

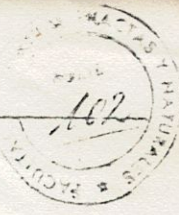
REACTORES NUCLEARES I

PLANIFICACION 1978

SEMANA	BOLILLA	TIEMPO	T E M A	IMPARTE
21 al 25 Ago	I	2 hs	RESUMEN DE CONCEPTOS BASICOS. Energía de enlace. Estabilidad nuclear. Radioactividad. Reacciones neutrónicas. El proceso de fisión. Energía de fisión. Masa crítica. Características generales de los reactores nucleares. Tipos de reactores. Ciclo del combustible nuclear.	Ing. Arguello
	II	2 hs	INTERACCION DE ONDAS Y PARTICULAS CON LA MATERIA. Repaso de conceptos sobre radioactividad. Interacción de partículas alfa y beta con la materia. Interacción de rayos gamma con la materia. Interacción de neutrones con la materia.	Ing. Arguello
28 Ago al 1 Set	III	2 hs	SECCIONES EFICACES. Secciones eficaces de las reacciones neutrónicas: sección eficaz macroscópica, determinación por el método transmisión, velocidades de reacción neutrónicas, determinación de secciones eficaces por el método de activación, camino libre medio, sistemas neutrónicos polienergéticos.	Dr. Abbate
	III	2 hs	Variación de las secciones eficaces con la energía neutrónica: resultados experimentales, interpretación teórica, secciones eficaces de dispersión, secciones eficaces para neutrones de alta energía y para neutrones térmicos.	Dr. Abbate
4 al 8 Set	III	2 hs	Mecanismo de la fisión nuclear. Secciones eficaces de fisión. Velocidad de fisión y potencia de un reactor. Neutrones retardados. Productos de fisión. Radioactividad y desintegración de los productos de fisión. Acumulación de productos de fisión.	Dr. Abbate

DR. JULIO GRATTON
DIRECTOR
DEPARTAMENTO DE FISICA

Aprobado por Resolución DT 490/79



SEMANA	BOLILLA	TIEMPO	TEMA	INPARTE
			./.	
			- hoja 2 -	
11 al 15 Set	III	2 hs	Problemas	Dr. Abbate
	IV	2 hs	DIFUSION Y MODERACION DE NEUTRONES. Difusión de neutrones.	Ing. Arguello
18 al 22 Set	IV	2 hs	Moderación de neutrones. Moderación en un medio infinito.	Ing. Arguello
	IV	2 hs	Distribución espacial de neutrones moderados.	Ing. Arguello
	IV	2 hs	Problemas.	Ing. Arguello
25 al 29 Set	V	4 hs	TEORIA DE REACTORES. Condición de criticidad.	Ing. Arguello
2 al 6 Oct	V	2 hs	Reactores con reflector.	Ing. Durán
	V	2 hs	Sistemas reactores homogéneos.	Ing. Durán
9 al 13 Oct	V	4 hs	Sistemas reactores heterogéneos.	Ing. Durán
16 al 20 Oct	V	2 hs	Sistemas reticulares ligeramente enriquecidos, moderados por agua.	Ing. Durán
	V	2 hs	Reactores rápidos.	Ing. Durán
23 al 27 Oct	V	2 hs	Determinación experimental del tamaño crítico.	Ing. Durán
	V	2 hs	Problemas.	Ing. Durán
30 Oct al 3 Nov	V	2 hs	Problemas.	Ing. Durán
	VI	2 hs	CONTROL DE REACTORES. Cinética de reactores. Efecto de la temperatura sobre la reactividad.	Ing. Durán

DR. JULIO BRATTON
DIRECTOR
DEPARTAMENTO DE FÍSICA



SEMANA	BOLLILLA	TIEMPO	TEMA	IMPARTE
6 al 10 Nov	VI	2 hs	Envenenamiento por productos de fisión. Características generales del control de reactores.	Ing. Durán
	VI	2 hs	Diseño del sistema de control. Análisis de sistemas reactores.	Ing. Durán
13 al 17 Nov	VII	2 hs	PROTECCION RADIOLOGICA Y SEGURIDAD. Nociones sobre: Riesgos de irradiación y física sanitaria. Efectos biológicos de las radiaciones. Unidades de dosis de radiaciones. Protección del personal. Seguridad de reactores.	Ing. Durán
		2 hs	Visita a un reactor nuclear.	Ing. Durán e Ing. Arguello

3.1 La sección eficaz diferencial elástica del oxígeno para 0,95 Mev en el centro de masa del sistema puede ser expresada por

$$\sigma_s(\mu) = 0,212 (1 + 2,45 \mu^2) \text{ barns/esterradián}$$

donde μ es el coseno del ángulo de dispersión

- Hallar la sección eficaz elástica total para esta energía
- Calcular y dibujar la función distribución de dispersión $P(E \rightarrow E')$ para el oxígeno a esta energía
- Hallar la energía media de los neutrones dispersados

3.2 Mostrar por integración directa que para dispersión elástica

$$\int_{\alpha E}^E P(E \rightarrow E') dE' = 1$$

3.3 Mostrar que para dispersión isotrópica en el centro de masa de un sistema la función de probabilidad $P(u \rightarrow u')$ para dispersión elástica entre letargías u y u' está dado por la expresión:

$$P(u \rightarrow u') = \begin{cases} \frac{1}{1-\alpha} e^{-(u-u')} & \text{para } u < u' < u + \ln(1/\alpha) \\ 0 & \text{en otra parte} \end{cases}$$

4.1 Fuentes de neutrones rápidos monoenergéticos están distribuidas en una placa infinita de moderador de acuerdo a la función $s(x) = S(x) \cos\left(\frac{\pi x}{a}\right)$, donde $S(x)$ es una constante y a es el espesor de la placa.

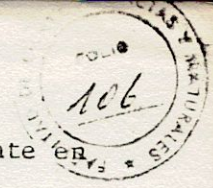
Utilizando la teoría de la edad, calcular la densidad de moderación de neutrones de edad \bar{c}

4.2 Mostrar que

$$a) \lim_{\beta \rightarrow \infty} J(\xi, \beta) = \frac{\pi}{2\sqrt{\beta(1+\beta)}}$$

$$b) \lim_{\beta \rightarrow \infty} J(\xi, \beta) = \frac{\pi}{2\beta}$$

DR. JULIO GRATTON
DIRECTOR
DEPARTAMENTO DE FÍSICA



4.3 Si son frenados neutrones en un medio infinito consistente en una mezcla de hidrógeno y U^{238} con $N_H = N_U$ para $0^\circ K$

- a) Cuál es la probabilidad de que un neutrón sea absorbido en la resonancia de $E_1 = 6,68$ ev, para energías fuera del intervalo $E_1 \pm \Gamma$ donde Γ es el ancho natural de la resonancia
- b) Cuál es la probabilidad que un neutrón sea absorbido fuera del intervalo $E_1 \pm \Gamma_p$, donde Γ_p es el ancho práctico de la resonancia.

5.1 Un reactor homogéneo utiliza como combustible una solución de sulfato de Uranilo ($U^{235}O_2SO_4$). No hay barras de control, (luego $\bar{\Lambda} = 1$), de modo que para mantener la criticidad se retira continuamente del reactor el 1% en peso de la solución, por día, que se sustituye por solución fresca de sulfato de uranilo.

Calcular la cantidad de U^{235} (átomo-gramo/día) en la solución de alimentación sabiendo que el reactor opera con un flujo medio de 10^{12} neutrones / cm^2 seg y que la masa crítica, ya teniendo en cuenta el envenenamiento por Xe y Sn, es de 10 Kg de U^{235}

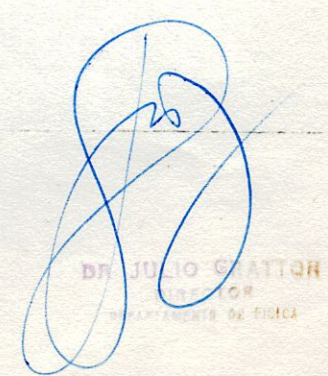
Datos:

$\sigma_{25} = 450$ b	$\sigma_F = 80$ b	
$\eta_{25} = 2,08$	$\sigma_{26} = 6$ b	$\epsilon = \rho = 1$
$\alpha_{25} = 0,184$	$P_F = 0,8$	

5.2 Mostrar que el factor de desventaja térmica para un reactor heterogéneo está dado por la fórmula

$$\xi = F + \frac{\Sigma_a F}{\Sigma_a M} \frac{V_F}{V_M} (E - 1)$$

donde F y E son las funciones de red.





5.3 a) Considerando una barra de combustible como una fuente lineal de neutrones rápidos, mostrar que la densidad de moderación para cualquier punto dentro de una red infinita, cuadrada, de barras cilíndricas está dada por

$$q(x, y) = \frac{Q}{4\pi\zeta} \sum_{m,n=-\infty}^{\infty} e^{-[(x-ms)^2 + (y-ns)^2] / 4\zeta}$$

donde Q es una constante, s es el espaciado de la red y x e y son medidas desde el eje de una barra.

b) Utilizando la identidad

$$\sum_{m=-\infty}^{\infty} e^{-(x-ms)^2 / 4\zeta} = \frac{\sqrt{4\pi\zeta}}{s} \sum_{m=-\infty}^{\infty} e^{-4\pi^2 m^2 \zeta / s^2} \cos\left(\frac{2\pi mx}{s}\right)$$

mostrar que q(x, y) se reduce a

$$q(x, y) = \frac{Q}{s^2} \sum_{m,n=-\infty}^{\infty} e^{-4\pi^2 (m^2 + n^2) \zeta / s^2} \cos\left(\frac{2\pi mx}{s}\right) \cos\left(\frac{2\pi ny}{s}\right)$$

c) Utilizando el resultado de b), mostrar que la razón de la densidad de moderación en el borde de una celda al centro de la misma es del orden de $1 - 8 e^{-\frac{4\pi^2 \zeta}{s^2}}$ y por lo tanto mostrar que un criterio para la validez de la hipótesis de que q es constante sobre la celda es $e^{4\pi^2 \zeta / s^2} \gg 8$

5.4 Un reactor utiliza como combustible una mezcla de U^{235} y boro natural para servir como veneno variable.

El reactor debe tener una reactividad en exceso igual a cero en el comienzo y después de haber consumido el 20% de U^{235} .

¿Cuál es la relación entre el boro y el U^{235} en la carga inicial?

Datos:

$$\sigma_{25} = 687 \text{ b}$$

$$\alpha_{25} = 0,182$$

$$\eta_{25} = 2,08$$

Boro natural $\left\{ \begin{array}{l} 18,8\% \text{ de } B_{10} \\ 81,2\% \text{ de } B_{11} \end{array} \right.$

$$\sigma_{10} = 3990 \text{ b}$$

$$\sigma_{11} = 0$$



$$\sigma_{26} = 6 \text{ b}$$

$$\epsilon = p = P_F = 1$$

$$\sigma_F = 87 \text{ b}$$

5.5 Determinar el factor de multiplicación infinito de una mezcla uniforme de U^{235} y óxido de berilio, cuya relación atómica es de 1 a 10.000.

Para el óxido de berilo $\sigma_a = 0,010\text{b}$.

La probabilidad de escape a la resonancia y el factor de fisión rápida pueden considerarse iguales a la unidad.

5.6 El factor de multiplicación infinito correspondiente a un sistema reticular heterogéneo, de uranio natural y agua pesada vale 1,28.

El valor de L^2 , para neutrones térmicos, es 175 cm^2 y el de $\bar{\sigma}$, 120 cm^2 . Determinar el laplaciano crítico utilizando:

a) La ecuación de criticidad para un grupo(térmico)

b) La ecuación
$$\frac{k_{\infty}}{1 + M^2 B_c^2} = 1$$

correspondiente a un reactor de gran tamaño

c) La ecuación de difusión-edad

d) La ecuación
$$\frac{k_{\infty}}{(1 + \bar{\sigma} B_c^2)(1 + L^2 B_c^2)} = 1$$

que es una aproximación de la ecuación de difusión-edad para reactores grandes.