

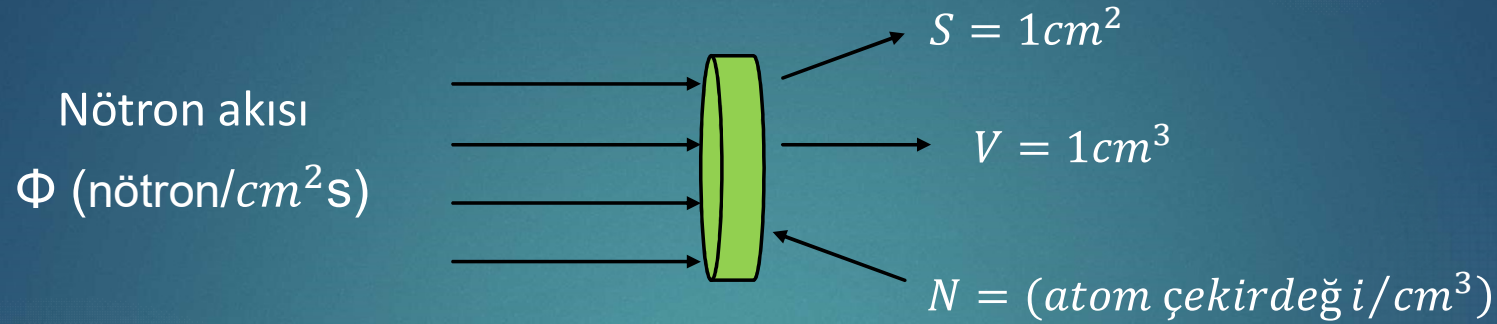


ANKARA ÜNİVERSİTESİ
NÜKLEER BİLİMLER ENSTİTÜSÜ

**ÖZET- REAKTÖR MALZEMESİ
ÖRNEK PROBLEM ÇÖZÜMÜ**

NÖTRON VE REAKTÖR FİZİĞİNE GİRİŞ
PROF. DR. HALUK YÜCEL

Nötronlarla gerçekleştirilen nükleer tepkimelerin temelleri:



$$1 = \pi r^2$$

$$r^2 = \frac{1}{\pi} = 0,318cm^2$$

$$S_K = 4\pi \cdot \frac{1}{\pi} = 4cm^2$$

$$V_K = \frac{4}{3}\pi r^3 = \frac{4}{3}\pi \cdot \frac{1}{\pi} \cdot \frac{1}{\sqrt{\pi}} \cong 0.75cm^3$$

- Nötron akımı;

$$J \left(\frac{\text{nötron}}{\text{cm}^3 \cdot \text{s}} \right) = \phi \sigma N \left(\frac{\text{nötron}}{\text{cm}^2 \cdot \text{s}} \right) (\text{cm}^2) \left(\frac{\text{nüklit}}{\text{cm}^3} \right)$$

- Nötron akısı;

$\phi = 1 \text{cm}^2$ 'lik yüzeye dik gelen ve saniyede geçen nötronların sayısı

- Etkileşme tesir kesiti;

σ_s, σ_a : Kısmi (partial) tesir kesitleri

$$\sigma_t = \sigma_s + \sigma_a$$

Saçılma Soğurma

- Makroskopik tesir kesiti, $\Sigma(cm^{-1}) = \sigma N(cm^2) \left(\frac{\text{nüklit}}{cm^3} \right)$

$$\text{Atomların sayısı, } N = \frac{\text{Yoğunluk}}{\text{Atom ağırlığı}} \times \text{Avogadro sayısı, } N = \rho \frac{N_A}{A}$$

$$\text{Grafit için; } \rho = 1.6g/cm^3$$

$$N = \frac{1.6}{12} 6.02 \times 10^{23} \cong 8.02 \times 10^{23}$$

- Compound:

Madde, farklı atomlardan oluşan moleküllerden oluştuğunda;

$$J = \Phi \cdot (\sigma_{molekül}) \times N_{molekül}$$

$$= \Phi \cdot (\sum n_i \sigma_i) \times N_{molekül}$$

$$N_{molekül} = \frac{\text{Yoğunluk}}{\text{Molekül ağırlığı}} \text{Avogadro sayısı}$$

$N_{molekül}$: $1cm^3$ madde içindeki molekül sayısı

n_i : i nci tür atomların sayısı

σ_i : Molekül içindeki i nci tür atomların tesir kesiti

Ortalama Serbest Yol:

- Δx mesafesinde bir atomla çarpışma yapma olasılığı,
$$p = \Sigma \Delta x$$

- Çarpışmasız geçme olasılığı,

$$1 - p = 1 - \Sigma \Delta x$$

- n tane Δx mesafesini çarpışma yapmadan geçme olasılığı,

$$(1 - p)^n = (1 - \Sigma \Delta x)^n = (1 - \Sigma \Delta x)^{\frac{x}{\Delta x}} = (1 - \Sigma \Delta x)^{\frac{\Sigma x}{\Delta x}}$$

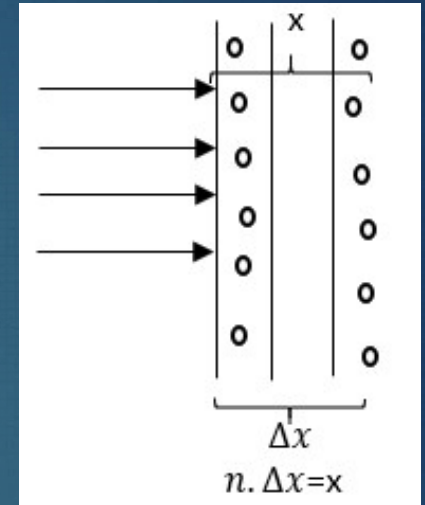
- Δx , mesafesini sıfıra götürürsek, x kalınlığı sabit kalacağından

$$\Delta x \rightarrow 0, n = \frac{x}{\Delta x} \text{ bu yüzden } n \rightarrow \infty$$

- Dolayısıyla nötronun x mesafesine çarpışma olmaksızın enine geçmesi, çarpışma yapmama olasılığı,

$$(1 - p) \rightarrow \lim_{\Delta x \rightarrow 0} (1 - \Sigma \Delta x)^{\frac{\Sigma x}{\Delta x}} = e^{-\Sigma x} \text{ olur.}$$

$\Delta x = dx$ diferansiyel mesafe



- X mesafesini kat ettikten sonra, dx mesafesi için çarpışma yapma olasılığı ise,

$$p = e^{-\Sigma x} \Sigma \cdot dx$$
- Bu olasılık, herhangi bir keyfi yol boyunca (path length) nötronun çarpışması için $\int_0^{\infty} e^{-\Sigma x} \Sigma \Delta x = 1$ olur.
- Bir nötronun sonsuz bir intervalde gerçekten çarpışma yaptığından emin olmak istediğinizde, ancak nötron atomla çarpıştıktan sonra ne kadar ortalama aralıkta yol aldığını bilmek istiyorsak;

Bu ortalama yol (average path), bir çarpışma olasılığını tüm yollar için, bunların meydana gelme olasılıklarını birlikte çarpar sonrada onların toplam sayısına bölersek bulabiliriz. Yani,

Bir çarpışma içi “ortalama” ulaşma uzunluğu,

$$MFP = \lambda_{mfp} = \frac{\int_0^{\infty} x e^{-\Sigma x} \Sigma \Delta x}{\int_0^{\infty} e^{-\Sigma x} \Sigma \Delta x} = \int_0^{\infty} x e^{-\Sigma x} \Sigma \Delta x = \frac{1}{\Sigma}$$

MFP (ortalama serbest yol), makroskopik tesir kesitinin tersidir.

$$MFP = \lambda_{mfp} = \frac{1}{\Sigma} = \frac{1}{\sigma N}$$

$$\text{Saçılma için, } \lambda_s = \frac{1}{\Sigma_s} = \frac{1}{\sigma_s N}$$

$$\text{Soğurulma için, } \lambda_a = \frac{1}{\Sigma_a} = \frac{1}{\sigma_a N}$$

$$\text{Toplam etkileşme için, } \frac{1}{\lambda_{mfp}} = \Sigma_t = \frac{1}{\lambda_a} + \frac{1}{\lambda_s}$$

- Çarpışmalar arasında geçen zaman (Meantime between two collisions)

Madde içinde, nötronun sabit bir v hızıyla hareket ederse,

$$\bar{\tau} = \frac{\lambda_{mfp}}{v}$$

Birim zamanda meydana gelecek çarpışmaların sayısı,

$$\frac{1}{\tau} = \frac{v}{\lambda_{mfp}} = v\Sigma$$

Maddenin 1 cm^3 ' ü boyunca v hızında n tane nötron bulursa, maddenin cm^3 hacminde saniyede meydana gelecek etkileşme sayısı,

$$J = \frac{n}{\bar{\tau}} = \frac{[\text{nötron}/\text{cm}^3]}{[\text{s}]} = nv\Sigma \text{ olur.}$$

Örnek problem:

Atom ağırlığı 91.224g/atom ve yoğunluğu 6.506g/cm³ olan Zirkonyum (₄₀Zr) atomunda nötron ortalama serbest yolu (λ_{mfp}) ve makroskopik tesir kesitini (Σ) hesaplayınız. (Mikroskopik soğurma tesir kesiti $\sigma_a = 0.18b$ ve saçılma tesir kesiti $\sigma_s = 8b$)

Cevap:

$$N = \frac{6.506 \times 6.022 \times 10^{23}}{91.224} = 4.295 \times 10^{22} \text{ atom/cm}^3$$

$$\sigma_a = 0.18 \times 10^{-24}, \sigma_s = 8 \times 10^{-24}$$

$$\Sigma_a = \sigma_a N = 0.18 \times 10^{-24} \times 4.295 \times 10^{22} = 7.73 \times 10^{-3} \text{ cm}^{-1}$$

$$\Sigma_s = \sigma_s N = 8 \times 10^{-24} \times 4.295 \times 10^{22} = 0.3436 \text{ cm}^{-1}$$

$$\Sigma_t = (\sigma_a + \sigma_s) N = 0.3513 \text{ cm}^{-1}$$

$$\lambda_a = \frac{1}{\Sigma_a} = \frac{1}{7.73 \times 10^{-3} \text{ cm}^{-1}} = 129.366 \text{ cm}$$

$$\lambda_s = \frac{1}{\Sigma_s} = \frac{1}{0.3436 \text{ cm}^{-1}} = 2.91 \text{ cm}$$

$$\lambda_{toplam} = \frac{1}{\Sigma} = \frac{1}{0.3513 \text{ cm}^{-1}} \cong 2.85 \text{ cm}$$

Not: Karışımlar için,
 $\Sigma_{karisim}$
 $= \Sigma_1 + \Sigma_2 + \Sigma_i$
 $= \sigma_1 N_1 + \sigma_2 N_2 + \sigma_i N_i$

Logaritmik Enerji Azalması (Slowing Down) (Letarji)

$$\xi = \ln \left(\frac{E}{E'} \right) = \int_E \ln \left(\frac{E}{E'} \right) P(E \rightarrow E') dE'$$

$$\xi = \ln \left(\frac{E}{E'} \right) = \int_{\alpha E}^E \ln \left(\frac{E}{E'} \right) \frac{1}{(1 - \alpha)E} dE'$$

$$\xi = 1 + \frac{\alpha}{(1 - \alpha)} \ln \alpha$$

$$A = 1 \Rightarrow \xi = 1$$

$$A > 1 \Rightarrow \xi = \frac{2}{A + 2/3}$$

$$\bar{\xi} = \frac{\xi_1 \sigma_{s1} + \xi_2 \sigma_{s2} + \dots + \xi_n \sigma_{sn}}{\sigma_{s1} + \sigma_{s2} + \dots + \sigma_{sn}}$$

(1) Moderasyon oranı gücü: $\frac{\bar{\xi} \Sigma_s}{\Sigma_a}$

(2) Yavaşlatma oranı gücü: $\bar{\xi} \Sigma_s$

Ortalama Logaritmik Enerji Azalması

$$u = \ln\left(\frac{E^*}{E}\right)$$

$$\Delta u = \ln\left(\frac{E^*}{E}\right) - \ln\left(\frac{E^*}{E}\right)$$

$$= \ln\left[\frac{1}{2}(1 + \alpha) - (1 - \alpha)\cos\theta\right]^{-1}$$

$$E' = E \frac{1}{2} \xi (1 + \alpha) - (1 - \alpha)\cos\theta$$

$$\xi = \int_{E_0}^E \ln\left(\frac{E_0}{E}\right) P_0(E_0 \rightarrow E') dE'$$

$$P_0(E_0 \rightarrow E') dE' = \frac{dE'}{E_0(1 + \alpha)} \Rightarrow$$

$$\xi = \int_{E_0}^{\alpha E_0} \ln\left(\frac{E_0}{E}\right) \frac{dE'}{E_0(1 + \alpha)}$$

$$\xi = \frac{1}{1 - \alpha} \int_1^\alpha \ln \alpha dx$$

$$\alpha = \left(\frac{A - 1}{A + 1}\right)^2, x = \frac{E'}{E}$$

$$\xi = 1 + \frac{\alpha}{1 - \alpha} \ln \alpha$$

$$A > 10 \text{ için } \xi \cong \frac{2}{A+2/3}$$

$$A < 10 \text{ için } \xi = 1 - \frac{(A-1)}{2A} \ln \frac{(A+1)}{(A-1)}$$

Nükleer Yakıt Malzemeleri

Nükleer Yakıt	Yoğunluk ($\frac{g}{cm^3}$)	N(atom/ cm^3) $\times 10^{24}$	$\sigma_f(b)$	$\sigma_a(b)$	$\sigma_s(b)$	$\Sigma_a(cm^{-1})$	$\Sigma_s(cm^{-1})$	$\Sigma_f(cm^{-1})$
Uranyum	18.9	0.04774	4.2	7.54	13.81	0.3602	0.659	0.203
UO ₂	10.54	0.0223	-	7.7	16.7	0.17	0.372	
U-233			525	573	13.0			
U-235			577	678	15.0			
U-238			~0	2.73	13.8			
Pu-239			741	1014	10.0			

Reaktör Kontrol Malzemesi

Reaktör Kontrol Malzemesi	Yoğunluk ($\frac{g}{cm^3}$)	$N(atom/cm^3) \times 10^{24}$	$\sigma_f(b)$	$\sigma_a(b)$	$\sigma_s(b)$	$\Sigma_a(cm^{-1})$	$\Sigma_s(cm^{-1})$	$\Sigma_f(cm^{-1})$
Cd	8.65	0.04635	-	2450	7.0	113.6	0.3245	-
B	2.30	0.1281	-	759	4.0	97.23	0.5124	-
Hf	13.36	0.04508	-	105	8.0	4.733	0.3600	-

Nötron Moderatörü

Nötron Moderatörü	Yoğunluk ($\frac{g}{cm^3}$)	$N(atom/cm^3) \times 10^{24}$	$\sigma_f(b)$	$\sigma_a(b)$	$\sigma_s(b)$	$\Sigma_a(cm^{-1})$	$\Sigma_s(cm^{-1})$	$\Sigma_f(cm^{-1})$
Hafif su(H_2O)	1.00	0.003343	-	0.664	103	0.0220	3.443	-
Ağır su(D_2O)	1.10	0.03320	-	0.003	13.6	4.42×10^{-5}	0.450	-
Grafit (C)	1.60	0.0823	-	0.0039	4.8	2.72×10^4	0.3851	-
Berilyum (Be)	1.85	0.1236	-	0.095	7.0	1.174×10^{-3}	0.8652	-

Yapısal Malzemeler

Yapısal Malzemeler	Yoğunluk ($\frac{g}{cm^3}$)	N(atom/ cm^3) $\times 10^{24}$	$\sigma_f(b)$	$\sigma_a(b)$	$\sigma_s(b)$	$\Sigma_a(cm^{-1})$	$\Sigma_s(cm^{-1})$	$\Sigma_f(cm^{-1})$
Zr	6.5	0.04291	-	0.18	8.0	0.00724	0.3423	-
Demir	7.87	0.08487	-	2.53	11.0	0.2147	0.9336	-
Aluminyum	2.791	0.06024	-	0.235	1.4	0.11410	0.0843	-

Soru:

- a) Doğal uranyum oksit içinde atom yoğunluklarını
- b) %2 ^{235}U ca zenginleştirilmiş uranyum oksit içindeki atom yoğunluklarını bulun. (Her iki durumda $\rho(\text{UO}_2) = 10.54\text{g/cm}^3$ $M(\text{O})=15.9994\text{g/atom}$, $M(\text{U})=238.028\text{g/atom}$)
- c) Doğal uranyum metalinde (yoğunluğu $\rho(\text{U}) = 18.9\text{g/cm}^3$) toplam ortalama serbest yolu hesaplayınız. (Veriler $\sigma_f = 4.2\text{b}$, $\sigma_a = 7.54\text{b}$, $\sigma_s = 13.81\text{b}$)