



ANKARA ÜNİVERSİTESİ
NÜKLEER BİLİMLER ENSTİTÜSÜ

**REAKTÖR FİZİĞİ KAVRAMININ
İNCELENMESİ**

İLERİ NÖTRON VE REAKTÖR FİZİĞİ
PROF. DR. HALUK YÜCEL

1. Parçacık Emisyonu

- Fisyon parçacıkları (fission fragments)
- Ani-öncü (prompt) nötronlar
- Gecikmiş (delayed) nötronlar
- Nötrinolar, β -parçacıkları ve γ ışınları

2. Enerji Açığa Çıkması (Release)

- Fisyon parçacıklarının enerjisi (~ 168 MeV)
- Fisyon nötronlarının kinetik enerjisi (~ 5 MeV)
- β ve γ ışınlarının enerjisi-decay heat

Ani ve geç safhada çıkan γ ışınlarının enerjisi 3-12 MeV arasında değişir ve ortalama olarak 7 MeV'dir. Fisyon parçacıklarının radyoaktif bozunmasından açığa çıkan β 'ların enerjisi ise 8 MeV'dir.

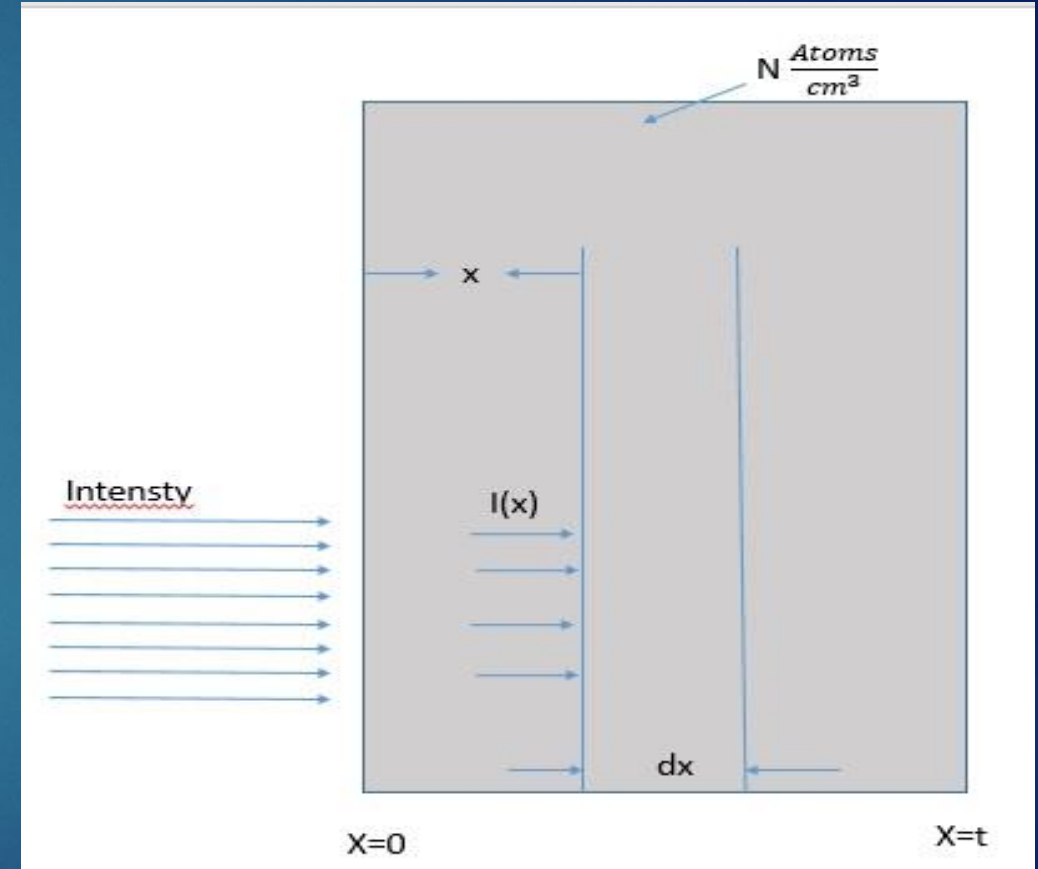
Nötrinoların enerjisi (~ 12 MeV)

Nötrinoların malzemeler ile etkileşimleri ihmal edilebilir derecede küçük olduğundan, bu enerji reaktör dışına kaçar.

Nükleer Tesir Kesiti

Nötronların etkileşme ihtimalinin bir ölçüsünü veren tesir kesitinin tarif edilmesinde Şekil-1 ile temsil edilen t kalınlığında bir malzemenin, eşit enerjili I_0 şiddetinde nötronlar ile bombardıman edildiği kabul edilirse;

i- Hedef malzemenin x mesafesinde, dx kalınlığında bir azalma gösterecek ve $I(x)$ gibi bir değere düşecektir.



Şekil 1- Nötron Tesir Kesiti

Nükleer Tesir Kesiti

ii- Hedef malzemenin t-kalınlığındaki çekirdeklerinin sayısı Ndx dir.

iii- Nötronların sayısındaki azalma, matematik bir ifade ile

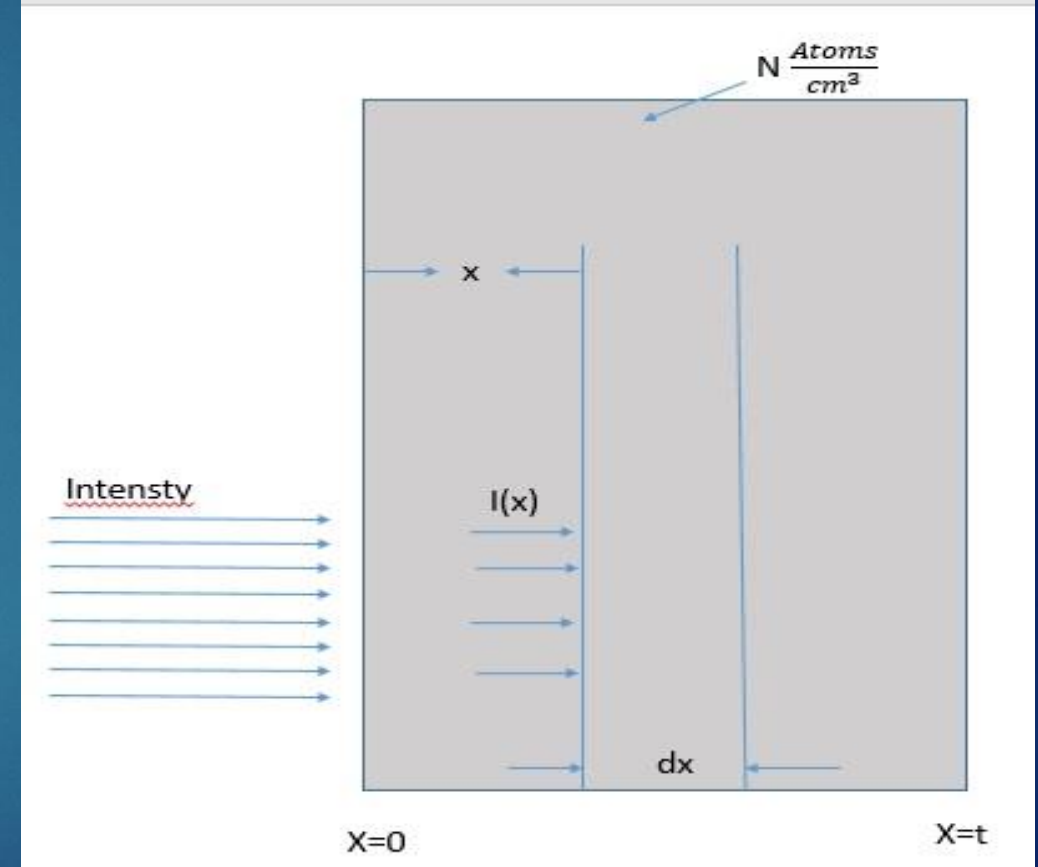
$$dI \propto INdx$$

$$dI = -\sigma INdx$$

Buradaki (σ , orantı katsayısı "mikroskobik tesir kesiti" olarak tarif edilir.

iv- Yukarıdaki basit eşitliğin çözümü,

$$\begin{aligned} \frac{dI}{I} &= -\sigma Ndx \text{ veya } I(x) \\ &= I_0 \exp(-\sigma Nx) \end{aligned}$$



Şekil 1- Nötron Tesir Kesiti

Nötronların malzeme kalınlığına bağımlı olarak azaldığını gösterir. mikroskobik tesir kesitinin birimi cm^2 dir. Yaygın olarak 1 barn = 10^{-24} cm^2 kullanılır. σ 'nın fiziki anlamı: Hedef atoma çarpan nötron başına nötron etkileşme ihtimalini verir.

$$\sigma = \left(- \frac{dI}{I(Ndx)} \right)$$

$$\sigma = \text{Etkileşme sayısı} / (\text{nötron şiddeti})(\text{hedef atom sayısı})$$

Tesir kesiti, kısaca nötronun etkileşme ihtimalini temsil eder ve fiziksel olarak ölçülebilen bir niceliktir. Yukarıda tarifi verilen toplam mikroskobik tesir kesitidir, yani saçılma ve absorpsiyon mikroskobik tesir kesitlerinin bir toplamıdır. ($\sigma = \sigma_s + \sigma_a$) Makroskobik tesir kesiti Σ , birim hacimde atom veya molekül sayısı N (atom/cm³) ile σ 'nın çarpımıdır.

$$\Sigma(\text{cm}^{-1}) = \sigma \cdot N$$

Yukarıda verilen (σ tarifinde, bütün nötronların aynı hıza sahip, dolayısıyla etkileşme ihtimallerinin hep eşit olduğu kabul edilmiştir. Gerçekte ise; σ nötronların hızına (veya enerjisine) bağımlı olarak değişir. Çeşitli malzemelere özgü mikroskobik saçılma (σ_s) ve soğurma (σ_a) tesir kesitleri, enerjinin bir fonksiyonu olarak BNL-325 numaralı raporda ve termal nötron tesir kesitleri tablo halinde ANL-5800 numaralı raporda verildiği bilinmektedir. Reaktör dizaynı hesaplarında mikroskobik tesir kesitlerinin kullanılması zorunludur.

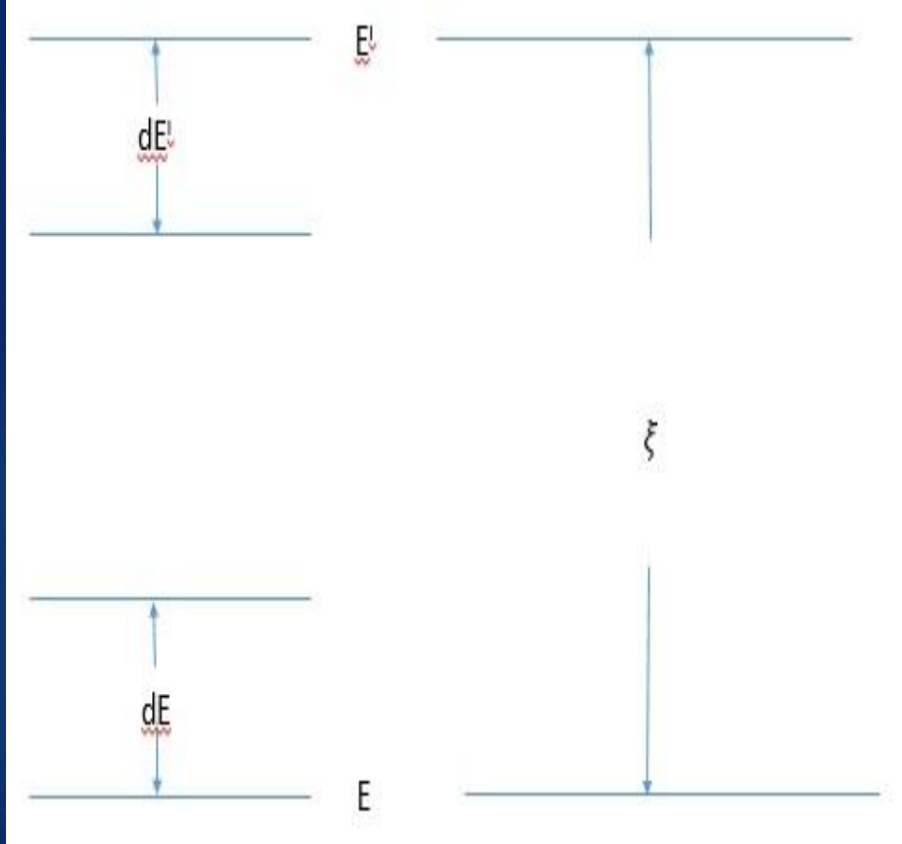
Nötronların Yavaşlama Yoğunluğu (Slowing Down Density), Nötron Akışı :

Fisyon sonucu çıkan nötronların yavaşlatılması işlemi elastik ve in elastik saçılma prosesleri ile gerçekleşir. Yavaşlama mekanizmasını anlamak için; $q(E)$, herhangi bir enerjideki yavaşlama yoğunluğu tarif edilir.

$q(E)$ = Birim hacimden bir saniyede E enerjisine intikal eden nötronların sayısıdır.

Nötronların Yavaşlama Yoğunluğu (Slowing Down Density), Nötron Akışı :

$q(E)$ Yavaşlama yoğunluğu, nötron absorpsiyonun ve aynı zamanda ortamdan dışarı nötron sızıntısının olmadığı bir sistemde sabit, bir sayıdır ve bu değer kaynak enerjisindeki nötronların sayısına eşit olacaktır. Şekil-2'de temsil edildiği gibi E' enerjisine sahip bir nötronun E enerjisine saçıldığında (absorpsiyon ve kaçak söz konusu değil), nötronun ortalama logaritmik enerji azalması $\xi = \ln(E'/E)$ şeklinde olacaktır.

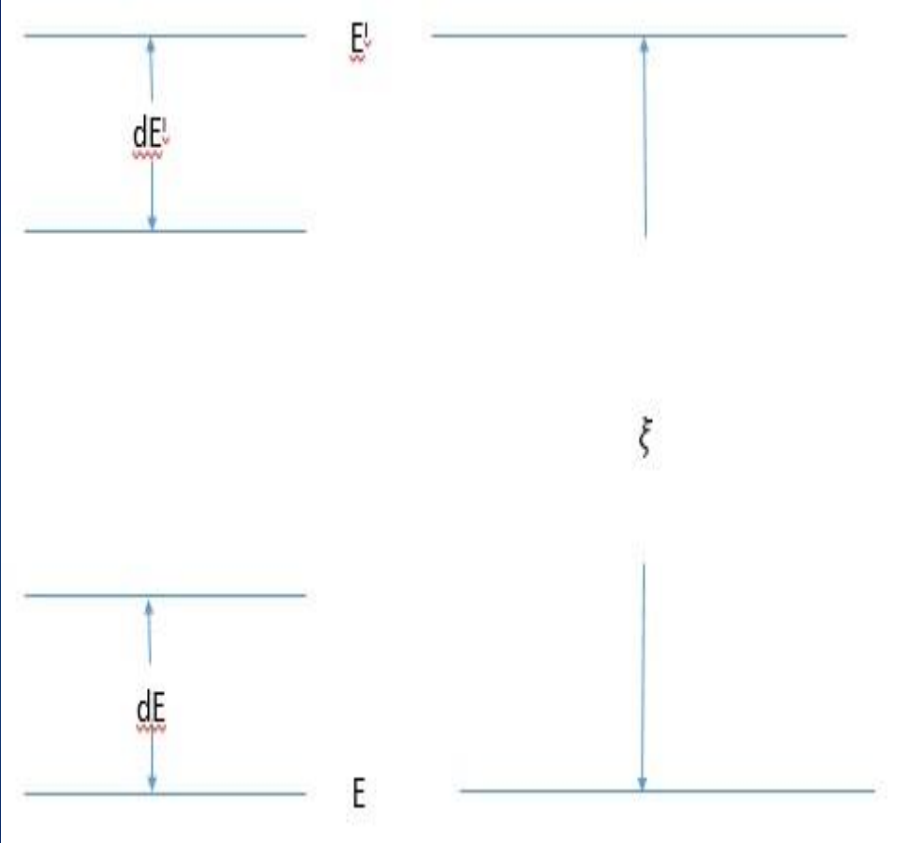


Şekil-2 Nötronların Yavaşlaması

E' ve $E'-dE'$ enerji aralığında saçılan bir nötronun ihtimali,

$$\ln E' - \frac{\ln(E' - dE')}{\xi} = \frac{dE'}{\xi E'} \text{ dir} \dots\dots\dots (1)$$

Birim zamanda birim hacimden E' enerjisi ile geçen nötronların toplam sayısı $q(E')$ dir ve bu nötronların E ve $E-dE$ enerji aralığına saçılma ihtimali,



Şekil-2 Nötronların Yavaşlaması

$$q(E^1) \cdot dE^1 / \xi E^1 \dots\dots\dots (2)$$

Sistem içinde, nötron absorpsiyonu ve kaçak söz konusu edilmediği için saçılma ihtimali nötronların sayısı E' ve $E'-dE'$ enerji aralığında saçılanlara da eşit olacaktır. Diğer taraftan reaksiyon oranı $\Phi(E^1)\Sigma_s(E^1)dE^1$ olup saçılma ihtimali $q(E^1)dE^1/\xi E^1$ büyüklüğüne eşit olacaktır.

$$q(E^1) \cdot dE^1 / \xi E^1 = \Phi(E^1) \Sigma_s(E^1) \dots\dots\dots (3)$$

Burada E^1 ve E keyfidir ve aynı zamanda ξ değeri, nötronun ilk enerjisinden bağımsızdır. (3) eşitliği herhangi bir enerjide nötronun akışını verir.

$$\Phi(E) = q(E) / \xi \cdot \Sigma_s(E) \cdot E \dots\dots\dots (4)$$

Şayet sistem içinde nötronların absorpsiyonu da göz önüne alındığında, Σ_s yerine $\Sigma_s + \Sigma_a$ toplam tesir kesitini yazmak yeterli olacaktır.

Sonuçta yavaşlama yoğunluğu $q(E)$, logaritmik enerji azalması ξ ve makroskobik saçılma tesir kesiti Σ_s sabit sayılar olduğundan yavaşlama sürecinde, nötron akışı sadece $1/E$ enerjisinin bir fonksiyonu olacaktır.

$$\Phi(E) = \frac{\text{sabit}}{E} \propto \frac{1}{E} \dots\dots\dots (5)$$

Şekil-3'de temsil edilen bir reaktör nötron spekturumunda; fisyon nötronlarının spektrumu, $1/E$ 'ye bağımlı nötronların yavaşlama bölgesi ve termal bölgeye ait dağılımları görülmektedir.

REFERANSLAR

1. Henry, Allan F., Nuclear Reactor Analysis, MIT, 1975, USA.
2. Ram, K.S., B.Nuclear Engineering, Indian Institute of Technology, 1977, Kanpur, Indian.
3. Lamarsh, J.R., Introduction to Nuclear Reactor Theory, New York University, 1972, USA.
4. Leonard E.Link, Reactor Technology-Selected Reviews, 1965, USAEC, USA.
5. Gerasimow V.and A.Monakhov, Nuclear Engineering Materials, Mir Publishers, 1983, Moscow, USSR.
6. Olander, R.D., Fundamental Aspects of Nuclear Reactor Fuel Elements, California University, 1976, Berkeley, USA.
7. Profio, A.E., Experimental Reactor Physics, California University, 1976, John Wiley and Sons, Inc., USA.
8. Duderstadt, J.J and Hamilton, L.J., Nuclear Reactor Analysis, The Univ. of Michigan, John Wiley & Sons, Inc., 1976, USA.