

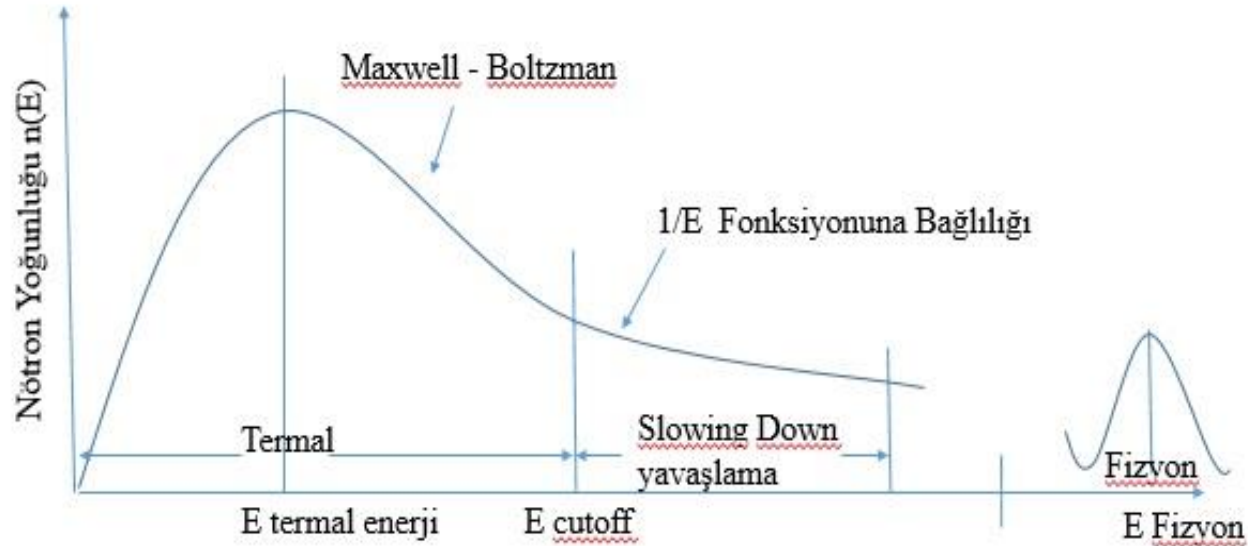


ANKARA ÜNİVERSİTESİ
NÜKLEER BİLİMLER ENSTİTÜSÜ

**REAKTÖR FİZİĞİ KAVRAMININ
İNCELENMESİ**

İLERİ NÖTRON VE REAKTÖR FİZİĞİ
PROF. DR. HALUK YÜCEL

Nötronların Rezonanstan Kaçma İhtimali:



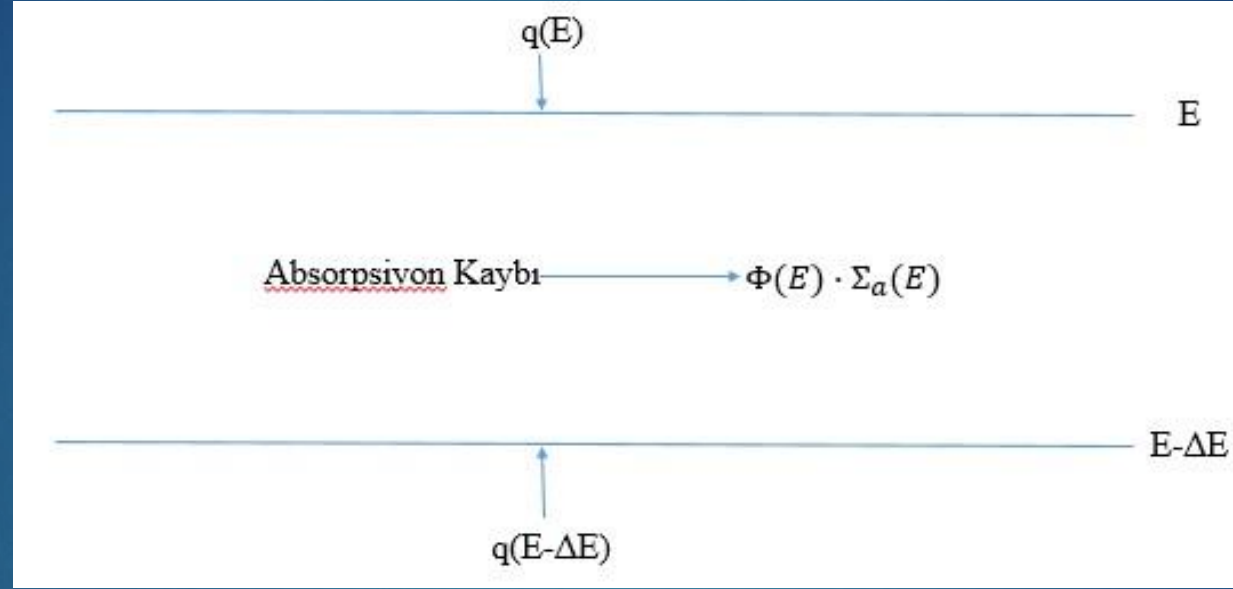
Şekil-3 Nötron Spekturumu

Spektrumda, $E_{cutoff} = \beta kT$ ($k =$ Boltzman Sabiti,

$T =$ Nötron sıcaklığı ve $\beta = 3$ ile 4 arasında değişen sayılar).

- Nötronların Rezonanstan Kaçma İhtimali:

Yanda $q(E)$ nötron yavaşlama yoğunluğunun tarif edilmesinde; nötronların absorpsiyonu ve sistem dışına kaçması hesaba katılmamıştır. Gerçekte, sistem içinde nötron soğurulmasının da olduğunu dikkate alırsak; E ve $E - \Delta E$ enerjileri arasında yavaşlama yoğunlukları arasındaki fark, nötron absorpsiyonlarının sayısına eşit olacaktır. (Şekil-4).



Şekil 4- Soğurma ile Birlikte Nötronların Yavaşlaması

Yavaşlama yoğunluğu farkı = Nötronların absorpsiyonla kayıpları

$$q(E) - q(E - \Delta E) = \Phi(E) \cdot \Sigma_a(E) dE \dots\dots\dots (6)$$

$$\partial q(E)/\partial E = \Phi(E) \cdot \Sigma_a(E) dE \dots\dots\dots (7)$$

Nötron akı ifadesi, $\Phi(E) = q(E)/\xi \cdot (\Sigma_s + \Sigma_a)(E) \cdot E$ yukarıdaki eşitlik içinde yerleştirilmek suretiyle

$$\partial q(E)/\partial E = \Phi(E) \cdot \Sigma_a(E) / \xi \cdot (\Sigma_s + \Sigma_a) E \dots\dots\dots (8)$$

$$\partial q(E)/q = (1/\xi) \Sigma_a / (\Sigma_s + \Sigma_a) (dE/E) \dots\dots\dots (9)$$

E_0 fisyon enerjisinden en düşük nötron enerji limiti E arasında (9) numaralı eşitliğin integrasyonu yapılır. E_0 ve E arasında bütün rezonans piklerinin var olduğu kabul edilmektedir. q_0 , fisyon enerjisindeki (E_0) nötronların yavaşlama yoğunluğudur.

$$\int \frac{dq}{q} = \left(\frac{1}{\xi}\right) \cdot \int_{E_0}^E \Sigma_a \cdot dE / (\Sigma_s + \Sigma_a) \cdot E$$

$$q = q_0 \cdot \exp(-1/\xi) \int_E^{E_0} \Sigma_a \cdot dE / (\Sigma_s + \Sigma_a) \cdot E \dots\dots\dots (10)$$

$$q = q_0 \cdot P \dots\dots\dots (11)$$

$$P = \exp(-1/\xi) \int_E^{E_0} \Sigma_a \cdot dE / (\Sigma_s + \Sigma_a) \cdot E$$

Burada p , nötronların rezonanstan kaçma ihtimalidir. U-238 gibi ağır elementlerin birçok sayıda rezonans soğurma piki vardır. Daha ziyade, yavaşlama bölgesinde rezonanstan kaçma ihtimali p , bu tür ağır izotoplar ile ilgilidir.

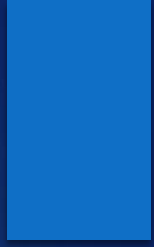
Reaktörlerde Nötronların Çoğalması (Multiplication)

Bu bölümde, dört çarpan formülü ($k_{\infty} = \eta \epsilon p f$), tabii uranyum yakıtlı ağır su moderatörlü Rajasthan reaktörünün (RAPP) verileri kullanılarak incelenmiştir.

Reaktörlerde Nötronların Çoğalması (Multiplication)

1. Ani (prompt) Nötronlar:

Bir termal nötron, yakıt tarafından soğurulduğu zaman yakalama (capture) veya fisyon reaksiyonu meydana gelir. Nötron yakalama reaksiyonunun sonucunda nötron kaybolur. Fisyon reaksiyonu vuku bulması halinde ise iki veya daha fazla nötron üretimiyle bir zincirleme reaksiyonuna götürür. Yakıt içinde yutulan her nötron başına üretilen ani nötronların sayısı η ile tanımlanır. Diğer bir ifadeyle; yakıtın eta η faktörü: bir termal nötron soğurulmasına mukabil yakıttan η adet hızlı nötron açığa çıktığını, üretildiğini tanımlar.



Her fisyon reaksiyonu başına üretilen nötronların sayısı olarak, daha kolay ölçülebilir nicelik, ν faktörü tanımlanır. Reaktör yakıtında nötron üretilmesi ile ilgili olarak;

$$\begin{aligned} & \left(\begin{array}{c} \text{Bir } cm^3 \text{ hacimde 1 saniyede nötron} \\ \text{absorpsiyonlarının sayısı} \end{array} \right) \times \left(\begin{array}{c} \text{Her absorpsiyon başına üretilen} \\ \text{nötronların sayısı} \end{array} \right) \\ & = \left(\begin{array}{c} \text{Bir } cm^3 \text{ hacimde 1 saniyede} \\ \text{meydana gelen fisyonların} \\ \text{sayısı} \end{array} \right) \times \left(\begin{array}{c} \text{Fizyon başına üretilen nötronların} \\ \text{sayısı} \end{array} \right) \end{aligned}$$

Matematik formül olarak;

$$\eta \cdot \Phi \cdot \Sigma_a^{yakıt} = \nu \cdot \Phi \cdot \Sigma_f^{yakıt} \dots\dots\dots (1)$$

$$\eta = \nu(\Sigma_f / \Sigma_a)^{yakıt}$$

$$\eta = \nu(\Sigma_f / (\Sigma_f + \Sigma_C))$$

$$\eta = \nu(1 / (1 + \alpha))$$

Burada $\alpha = \Sigma_C / \Sigma_f$ yakalama tesir kesitinin fisyon tesir kesitine oranı ve $\Sigma_a = (\Sigma_f + \Sigma_C)$ dir. Reaktörlerde en çok kullanılan yakıtlara ait η, ν ve α değerleri Tablo-4'deki gibidir.

Tablo: 4 Çeşitli Yakıtlar İçin Fisyon Üretilen Nötronların Sayısı

Yakıt	η	ν	α
U-233	2,28 (2,35)	2,497 (2,550)	0,0926 (0,08550)
U-235	2,078 (2,290)	2,426 (2,510)	0,175 (0,200)
Pu-239	2,116 (2,530)	2,892 (2,970)	0,370 (0,180)
Doğal Uranyum	1,31	2,50	0,910

Parantez içindeki değerler hızlı nötronların fisyon parametrelerini, diğerleri termal nötronlara ait değerleri temsil eder.

Tablo-4’de verileni) , fisyon reaksiyonu başına nötronların sayısı, gerçekte termal enerjideki değerinden biraz daha büyüktür ve genellikle enerjiye lineer bağımlı olarak artar.

$$\nu E = \nu_0 + a \cdot E \dots\dots\dots(2)$$

Burada; ν_0 : Fisyon başına üretilen nötronların termal enerjideki değeri.

E: Nötron enerjisi (MeV) ve maksimum 1 MeV.

a: Sabit bir sayı

Yakıt	a
U-233	0,075
U-235	0,065
Pu-239	0,148

Bir fisyon reaksiyonunda ani olarak salınan nötronların (η ve ν ile tariflenen öncü (prompt) nötronlar) dışında, reaktörde; fisyon parçacıklarının radyoaktif bozunması (decay) sonucu gecikmiş (delayed) nötronlarda çıkar Bu gecikmiş nötronlar, reaktörün zamana bağlı davranışını yönetirler.

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.