

# **NÖTRON FİZİĞİ**

**Doç. Dr. Turan OLĞAR**

Ankara Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi,  
Fizik Mühendisliği Bölümü

# Nötron Fiziği

- **Nötron Dedektörleri**

Nötronların kendileri iyonlaşma olayları meydana getirmediklerinden, nötron dedektörleri  $(n,p)$ ,  $(n,\alpha)$ ,  $(n,\gamma)$  veya  $(n,\text{fisyon})$  gibi veya yüklü hafif pararçacıkların nükleer saçılmaları gibi nükleer reaksiyonlar tarafından oluşturulan ikincil olayların ölçülmesine dayanır.

Yavaş ve termal nötronlar durumunda  $(n,p)$ ,  $(n,\alpha)$  reaksiyonlarına dayanan dedektörler, reaksiyon sonucunda açığa çıkan yüksek enerjili proton veya alfanın neden olduğu sinyaller yardımıyla nötronların direk gözlenmesine olanak sağlarlar.

# Nötron Fiziği

## • Yavaş Nötron Dedektörleri

Yavaş nötronları dedekte etmek için kullanılan tüm reaksiyonlarda ağır yüklü parçacıklar çıkar.

Mümkün olan reaksiyonlar ;

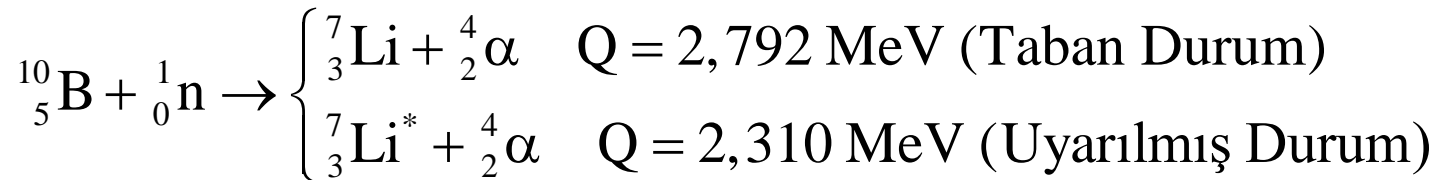
Hedef çekirdek + nötron  $\left\{ \begin{array}{l} \text{geritepen çekirdek} \\ \text{proton} \\ \text{Alfa parçacığı} \\ \text{fisyon parçaları} \end{array} \right.$

(Bknz: Radiation Detection and Measurement 3. Baskı, Glenn F Knoll)

# Nötron Fiziği

- **Yavaş Nötron Dedektörleri**

$^{10}\text{B}$  izotopu genellikle, bir iyon odası veya içi  $\text{BF}_3$  gazı ile dolu veya iç yüzeyi bor metalı veya bor bileşeni ile kaplı bir orantılı sayaç yapımında kullanılır. Yavaş nötronu direkt dedekte edilebilen yüklü parçacığa dönüştüren en yaygın bilinen reaksiyon  $^{10}\text{B}(\text{n},\alpha)$  reaksiyonudur.



(Bknz: Radiation Detection and Measurement 3. Baskı, Glenn F Knoll)

# Nötron Fiziği

## • Yavaş Nötron Dedektörleri

0.025 eV enerjili termal nötronların sebep olduğu reaksiyonların % 94'ü uyarılmış seviyeye, % 6'sı ise taban seviyeye gerçekleşir. Gelen nötron enerjisi çok düşük olduğundan başlangıç momentumu hemen hemen sıfırdır. Dolayısıyla momentum korunumu gereği, ürün çekirdek ve alfa hemen hemen zıt yönlerde yayınlanır. Momentum ve enerjinin korunumundan uyarılmış seviyeye neden olan reaksiyon için,

$$E_{Li} + E_{\alpha} = Q = 2,31 \text{ MeV}$$

$$m_{Li} v_{Li} = m_{\alpha} v_{\alpha}$$

$$\sqrt{2m_{Li}E_{Li}} = \sqrt{2m_{\alpha}E_{\alpha}}$$

$$E_{Li} = 0,84 \text{ MeV} \quad \text{ve} \quad E_{\alpha} = 1,47 \text{ MeV}$$

# Nötron Fiziği

## • Yavaş Nötron Dedektörleri

$^{10}\text{B}(n,\alpha)$  reaksiyonu için termal nötron tesir kesiti 3840 barn'dır. Artan nötron enerjisi ile tesir kesiti hızlıca azalır ve enerjinin büyük bir bölgesi için tesir kesiti  $1/v$  ile orantılıdır.

Doğal bor % 19.8 oranında  $^{10}\text{B}$  izotopu içerir. Zenginleştirilmiş  $^{10}\text{B}$  kullanılması dedektör verimini artırır. İzotropik bir akıya sahip bir nötron demeti için dedektörde sayma hızı;

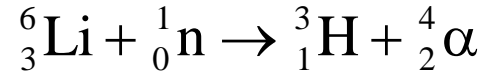
$$R = NCn$$

Burada  $n$  birim hacimdeki nötron sayısı,  $C = \sigma v$  çarpımına eşit bir sabittir.  $\sigma$  reaksiyon tesir kesiti ve  $N$  de bor çekirdeklerinin sayısını vermektedir.

# Nötron Fiziği

## • Yavaş Nötron Dedektörleri

Yavaş nötron dedeksiyonunda kullanılan diğer bir reaksiyon  ${}^6\text{Li}(n,\alpha)$  reaksiyonudur. Bu reaksiyonun Q değeri 2.31 MeV dir. Reaksiyon ürün çekirdeğin taban durumuna gerçekleşir.



İhmal edilebilir nötron geliş enerjilerinde ürünlerin enerjileri,

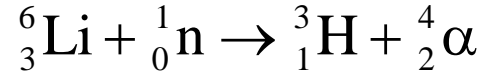
$$E_{{}^3_1\text{H}} = 2,73$$

ve

$$E_{\alpha} = 2,05 \text{ MeV}$$

# Nötron Fiziği

- **Yavaş Nötron Dedektörleri**



Reaksiyonu için termal nötron tesir kesiti 940 barndır. Tesir kesitinin,  ${}^{10}\text{B}$  reaksiyonunun tesir kesitine göre düşük olması bu reaksiyonun dezavantajıdır. Fakat Q değerinin yüksek olması, reaksiyon ürünlerine verilen enerjinin yüksek olmasına neden olmaktadır.

Reaksiyon sonucunda alfa parçacığı ve triton, termal nötron enerjisinin çok düşük olmasından dolayı hemen hemen zıt yönlerde yayınlanırlar.

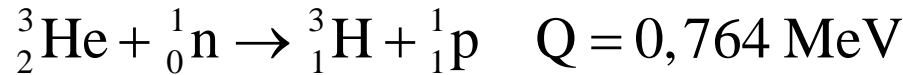
(Bknz: Radiation Detection and Measurement 3. Baskı, Glenn F Knoll)



# Nötron Fiziği

- **Yavaş Nötron Dedektörleri**

Termal nötronların dedeksiyonunda kullanılan diğer bir reaksiyon  ${}^3\text{He}(n,p)$  reaksiyonudur. Bu  ${}^3\text{He}$  gazındaki reaksiyon,



$$E_{3\text{H}} = 0,191 \text{ MeV}$$

ve

$$E_{\text{p}} = 0,573 \text{ MeV}$$

Daha önceki reaksiyonlara benzer şekilde triton ve proton zıt yönlerde yayınlanır. Bu reaksiyon için termal nötron tesir kesiti 5330 barndır ve bor reaksiyonunun tesir kesitinden oldukça yüksektir.

# Nötron Fiziği

- **Yavaş Nötron Dedektörleri**

Nötron şiddetlerini ölçmenin diğer bir yolu, nötron yakalandıktan sonra radyoaktif hale gelen ve belli enerjiler için nötron yakalama tesir kesitleri bilinen bir maddenin nötronlarla bombardıman edilmesidir. Numune nötron akısından uzaklaştırıldıktan sonra meydana gelen radyoaktivite örneğin bir gamma dedektörü ile ölçülürse nötron şiddeti tespit edilir.

# Nötron Fiziği

- **Hızlı Nötron Dedektörleri**

Hızlı nötronların enerjilerinin ölçümü için en genel metot, nötron ile bir hafif hedef (H,  $^2\text{H}$ ,  $^3\text{He}$ ,  $^4\text{He}$  vb.) arasındaki elastik çarpışmayı izleyen geri tepme olayından yararlanmaktır. Saçılan nötronlar,

$$E' = E \quad \text{den} \quad \left( \frac{E'}{E} \right)_{\min} = \left( \frac{A-1}{A+1} \right)^2$$

ile verilen minimum değere kadar sürekli bir enerji dağılımına sahiptir.

# Nötron Fiziği

- **Hızlı Nötron Dedektörleri**

Çarpılan çekirdeğin geri tepme enerjisi  $E_G = E - E'$  olup sıfır ile

$$(E_G)_{\max} = E - (E')_{\min}$$

$$(E_G)_{\max} = E \frac{4A}{(A+1)^2}$$

bir maksimum değer arasında değişir.

Hidrojen için  $(E_G)_{\max} = E$

$^3\text{He}$  için  $(E_G)_{\max} = 0,75E$

# Nötron Fiziği

- **Hızlı Nötron Dedektörleri**

Protonun geri tepme sinyali, plastik yada organik sıvı gibi parıldama özelliğine sahip hidrojen zengin bir madde kullanılarak gözlenebilir. Dolayısıyla parıldama özelliğine sahip sintilatör hem nötron için proton hedef hem de geri tepen proton için dedektör görevi yapar.

Hızlı nötron spektroskopisinde büyük öneme sahip  ${}^3\text{He}(n,p)$  ve  ${}^6\text{Li}(n,\alpha)$  iki reaksiyon kullanılmaktadır. Bu reaksiyonların hızlı nötron enerjileri bölgesi için nötron enerjisine karşılık tesir kesiti eğrisi,

# Nötron Fiziği

## • Nötron Yakalaması

Nötron yakalanmasından sonra nötronun yeniden yayınlanması mümkün olsa da en muhtemel bozunma şekli  $\gamma$  yayınlanmasıdır. I' nün  $E_x$  uyarılma enerjisi, nötron ayrılma enerjisi ile gelen nötronun enerjisinin toplamıdır ( $S_n + E_n$ ). Düşük enerjili nötronlar için  $E_x$  5-10 MeV aralığındadır.

(n, $\gamma$ ) reaksiyonlarının başka bir uygulaması I' nün taban durumunun kendisinin de (veya uzun ömürlü bir izomerik durumu) radyoaktif olduğu zaman meydana gelir. Bu nedenle I' nün aktifliği ölçülür. Aktivlik birikimi

$$A = 0,602 \frac{m}{M_A} \sigma \frac{\phi}{3,7 \times 10^{10}} (1 - e^{-\lambda t})$$

# Nötron Fiziği

- **Nötron Yakalaması**

Burada  $A$  Curie cinsinden aktiflik,  $m/M_A$  hedefin kütlesi ile atomik kütlesi arasındaki boyutsuz oran,  $\sigma$  barn cinsinden termal nötronlar için yakalama tesir kesiti,  $\Phi$ , nötron/cm<sup>2</sup>s cinsinden nötron akısı ve  $t$  nötron bombardıman süresidir.

Bilinen bir tesir kesiti yardımıyla  $A$  nın ölçülmesi nötron akısını verir ve böylece nötron şiddeti ölçülebilir. Eğer akı ( $\Phi$ ) biliniyorsa, bilinmeyen tesir kesitleri belirlenebilir.

$\Phi$  ve  $\sigma$  kullanılarak  $m$ 'nin nitel analizi de yapılabilir.

# Nötron Fiziği

- **Nötron Yakalaması**

Bilinmeyen bir numune nötron bombardımanına tutularak , nötron yakalaması ile meydana gelen izotopların radyoaktiflikleri nedeniyle birçok radyasyon gözlemlenebilir.  $\gamma$  ışın spektrumunun ölçülmesi ile ışınlanan numunede hangi izotopların ne miktarda mevcut oldukları belirlenebilir. Bu tekniğe nötron aktivasyon analizi denir.