



ANKARA ÜNİVERSİTESİ

NÜKLEER BİLİMLER ENSTİTÜSÜ

# YAVAŞ NÖTRON DEDEKSİYON YÖNTEMLERİ

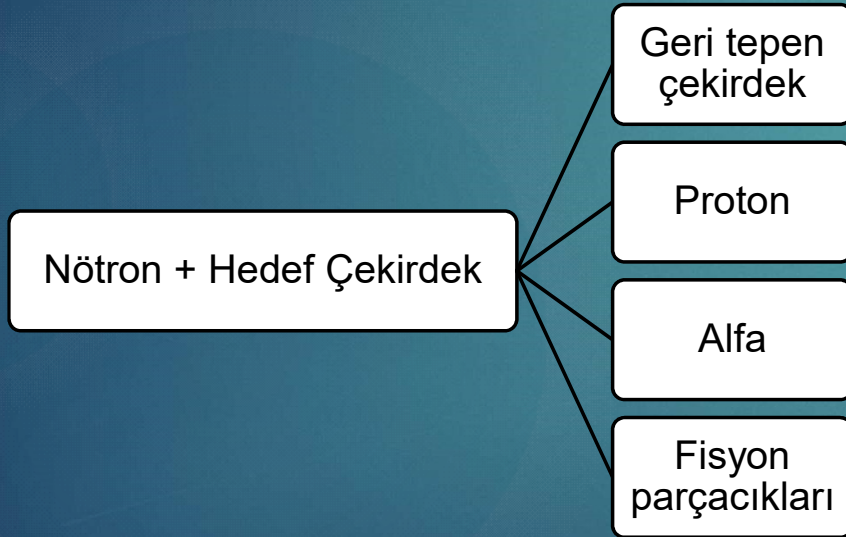
NÖTRON VE REAKTÖR FİZİĞİNE GİRİŞ  
PROF. DR. HALUK YÜCEL

101513 - Nötron ve Reaktör Fizikine Giriş -  
Prof.Dr.Haluk YÜCEL

21.03.2019

## Giriş

- Nötronlar, genellikle nükleer tepkimelerde anlık (promptly) olarak ortaya çıkan ve belirli bir enerjiye sahip proton (p), alfa ( $\alpha$ ), fisyon ürünleri (FP) v.b. yüklü parçacıklar dedekte edilerek ölçülürler. Bunlara tepkime ürünleri de denilir.



Bu nedenle, her türden nötron dedektörü, yukarıdaki nükleer tepkimeyle dönüşümü sağlayacak bir "hedef malzeme" ile birlikte alışılmış bir "radyasyon dedeksiyon dedektörü" mekanizmasını birlikte kapsar. Böylelikle P, $\alpha$ , F.P,vb. yüklü parçacıklarının dolaylı olarak meydana getireceği iyonlaşma ölçülecektir.

- Birçok malzeme nötron etkileşme tesir kesitleri enerjiye sıkı bir bağımlılık gösterdiğinden, nötronlar için farklı enerji bölgelerinde nötron dedeksiyonu yapılması için geliştirilmiş farklı teknikler vardır.
- Yavaş nötronlar, günümüzdeki termal reaktör akı ölçümlerinde ve enstrümantasyonda birincil öneme sahiptir. Yavaş nötronlar, kadmiyum kesme enerjisi ( $E_{Cd-cutoff} = 0.5ev$ ) altında enerjiye sahiptirler ve bu nötronların dedeksiyonu için uygun teknikler daha yaygınlaşmıştır. “yavaş nötron enerji bölgesi” geleneksel olarak “orta” ve “hızlı” nötron enerji bölgelerinden, Cd-kesme enerjisi ile ayırt edilir.
- Yavaş nötron dedeksiyon ölçüm yöntemlerinde, sadece nötronların varlığını dedekte etmek ve sayısını belirlemek ile ilgilenmekteyiz. Ancak nötronun sahip olduğu kinetik enerjiyi ölçmüyoruz. Bilindiği gibi yavaş nötron enerjilerinin ölçülmesinde “Kristal nötron spektrometreleri” veya “Mekanik monokromatörler” kullanılır. Bunlar, araştırmaya yönelik daha karmaşık nükleer enstrümantasyon sistemleridir.

# Nötron Dedeksiyonunda Kullanılan Nükleer Tepkimeler

- Nötron dedeksiyonu için kullanılan exotermik reaksiyonlar (ısı salan)

Reaksiyon	Üretilen Yüklü Parçacık	Q – değeri (MeV)	Nötron Tesir Kesiti $\sigma$ (b), $E_n=0.025\text{eV}$
$^{10}_5\text{B}(n, \alpha)^7_3\text{Li}$	$\alpha, ^7_3\text{Li}$	2.78	3840
$^6_3\text{Li}(n, \alpha)^3_1\text{H}$	$\alpha, ^3_1\text{H}$	4.78	937
$^3_2\text{He}(n, p)^3_1\text{H}$	$p, ^3_1\text{H}$	0.765	5400

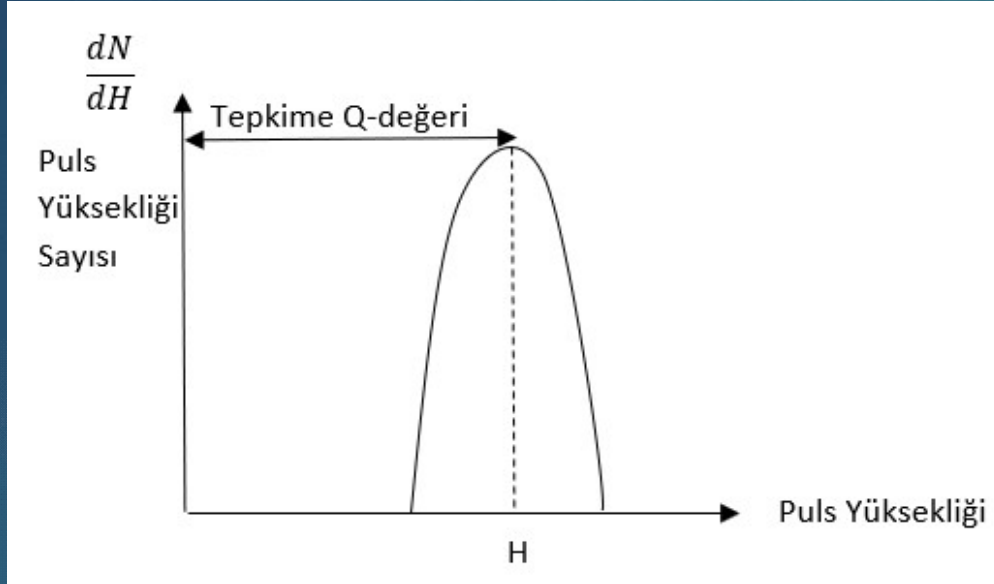
- Yukarıdaki herhangi bir reaksiyonda, yüklü parçacıklar gelen nötron enerjisiyle, reaksiyonun enerjisi Q'nun toplamına eşit  $Q+E_n$  enerjisi kendi aralarında paylaşırlar. Böylece yüksek Q-değerleri, çıkan ürünlerin (yüklü parçacıklar) dedeksiyonunun çok kolay olmasına imkân verir.

- Şayet Q artarsa dedeksiyon ihtimali de artar

$$E_n \rightarrow Puls\ yüksekliği \propto Q + E_n$$

- Nükleer tepkimelerin, nötron dedeksiyonu açısından araştırılıp incelenmesinde, birkaç temel faktör önemlidir.
  1. Tepkime tesir kesitinin ( $\sigma$ ) mümkün olduğunca yüksek olması istenir. Böylelikle daha küçük boyutlu olarak yeterli verime sahip nötron dedektörleri yapılır. Bu durum, özellikle hedef malzeme gaz formunda kullanıldığında çok önemli hale gelir.
  2. Aynı nedenle, hedef nükleit element içinde yüksek bollukta olmalı ya da bu ilgilenilen hedef nükleit, dedektör yapımı için ekonomik düzeyde yapay olarak zenginleştirilerek kullanılır.
  3. Birçok gerçek uygulamada, gama ışınları ve nötronlar birlikte bulunur. Bu durumda nötron dedeksiyonu için seçilen nükleer tepkime, dedeksiyon prosesinde gama ışınlarını ayırt edebilme yeteneğine sahip olmalıdır.
  4. Nötron yakalamasından sonra, nötron tepkimesinde açığa çıkan enerjiyi belirleyen tepkimenin Q-değeri önemlidir. Tepkimenin Q-değeri ne kadar yüksek ise tepkime ürünlerine verilecek enerji o kadar büyük olur. Böylelikle “basit genlik ayırma” tekniği ile bu ürünleri gama-ışınlarının neden olduğu puls genliklerinden ayırt edilir.

5. Yavaş nötron dedeksiyonunda, tepkimedeki ürün olarak oluşmalarının ardından gidebildikleri mesafede dedektör tasarımında önemli sonuçları vardır. Şayet tepkime sonucu oluşan ürünlerin kinetik enerjilerinin tümünü yakalayacak ve pulsa dönüştürecek bir dedektör tasarımı yapılsa, dedektörün aktif hacmi, bu ürün kinetik enerjilerini yeterli seviyede durduracak büyüklükte tasarlanmalıdır. Bunun için, dedektörün dedeksiyon için kullanılacak aktif ortamı, bir katıdan yapılırsa bu koşul kolayca başarılır, çünkü reaksiyon ürünlerinin ulaşma uzaklıkları (menzilleri), mm'nin 10'da birini ( $< 0.1\text{mm}$ ) geçmez. Ancak dedeksiyon ortamı gaz formunda ise reaksiyon ürünlerinin menzili santimetre mertebesinde olup, dedektör boyutu yanında önemlidir ve bazen bunların kinetik enerjilerinin tümü yakalanamayabilir.
- Yani yüklü parçacıkların tüm enerjisi (kinetik) dedeksiyon ortamına (gaz) tam aktarılamayabilir. Buna karşılık dedeksiyon ortamı (yani dedektör boyutları) büyük seçilirse kinetik enerjideki kayıplar ancak ihmal edilebilir dereceye gelebilir. İdealde, dedektörün tepkisi (response function) tek tüm enerji piki (single full energy peak) oluşturabilir.



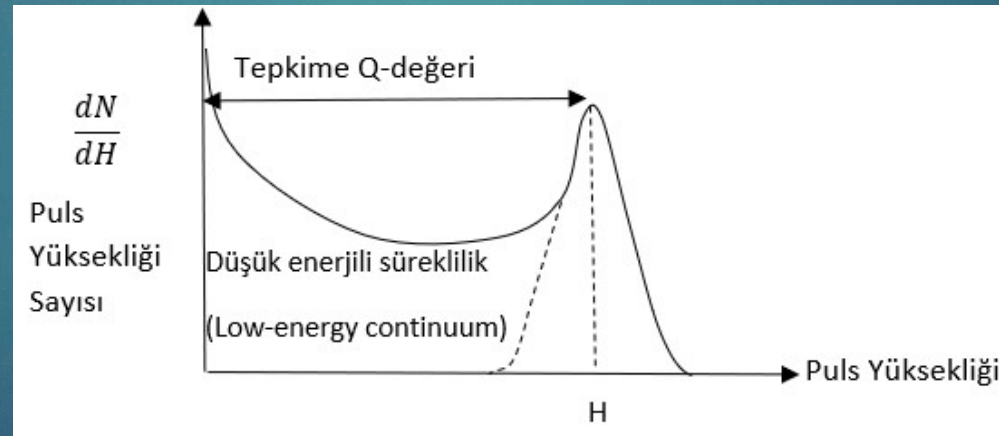
$$Q \propto H$$

$$\text{Enerji} \propto \text{Puls Yüksekliği}$$

Yukarıda temsili gösterimde, dedektör çok düz bir sayım platosu verecek ve daha düşük genlikli olan etkileşmelerden (örneğin,  $\gamma$ -ışınlarının meydana getirdiği etkileşmelerin neden olacağı pulslardan) ayırabilme yeteneği olacaktır.

## Not:

Yavaş nötron dedeksiyonunda, yukarıda verilen 5 temel koşul karşılanamaz ise, nötronların etkisiyle meydana gelen etkileşme olaylarının (neutron induced events) önemli bir kesrinin (sayısının) sahip olduğu tüm enerji (Q-value) dedeksiyon ortamına aktarılmaz ve daha düşük enerjili süreklilik bölgesi (low energy continuum) puls yüksekliği dağılımına ilave olacağından, dedektör performansı yukarıdaki kriterlere göre kıyaslandığında ciddi derecede etkilenecektir.







- Bu nedenle gelen nötronun kinetik enerjisi, reaksiyonun tepkime enerjisi altında kalır ve gelen nötron enerjisi hakkında herhangi bir bilgi sağlamaz. Sonuç olarak, iki ürün parçacık tam olarak zıt doğrultuda yayımlanırlar ve reaksiyon enerjisi (Q-değeri), bu iki ürün arasında paylaşılır. Enerji ve momentumun korunumuna göre, Lityum çekirdeği ve alfa parçacığının her birinin enerjisi hesaplanabilir.

Uyarılmış Seviye (%94 Branching ratio)

$$E_{Li} + E_{\alpha} = Q = 2.31 MeV \text{ (uyarılmış sev.)}$$

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

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

$$E_{Li} = \frac{m_{\alpha}}{m_{Li}} E_{\alpha} = 0.84 MeV$$

$$E_{\alpha} = 1.47 MeV$$

$$\begin{aligned} {}^{10}_5B &= 12.051 MeV, \\ {}^1_0n &= 8.07 MeV, \\ {}^7_3Li &= 14.908 MeV, \\ {}^4_2He &= 2.425 MeV \end{aligned}$$

Taban seviye (%6)

$$E_{Li} + E_{\alpha} = Q = 2.792 MeV \text{ (taban sev.)}$$

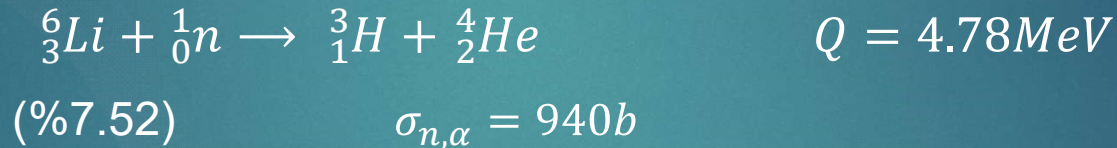
$$E_{Li} = \frac{4}{7} E_{\alpha}$$

$$E_{Li} = 1.777 MeV, E_{\alpha} = 1.015 MeV$$

- $^{10}_5B$  (n, $\alpha$ ) tepkimesinin termal nötron tesir kesiti, artan nötron enerjisiyle  $1/v$  ile orantılı olarak (nötronun hızının tersiyle) hızlı ve keskin bir şekilde azalır. Bu tepkimenin kullanışlılığı doğal bolluğun  $^{10}_5B = \%19.8$  olan bu izotopun,  $\%90-95$ 'e kadar zenginleştirilmesi durumunda daha da artar.

**b.  $^6_3Li$  (n, $\alpha$ ) Tepkimesi:**

- Yavaş nötronların dedeksiyonu için yaygın olan bu tepkime türünde, ürün çekirdeklerinden ( $^3_1H$ ) taban durumuna dönüşür.



$$\begin{array}{ll} ^6_3Li = 14.087MeV & E_{^3_1H} + E_{\alpha} = 4.78 MeV \\ ^1_0n = 8.07MeV & E_{^3_1H} = 2.73MeV \\ ^3_1H = 14.950 MeV & E_{\alpha} = 2.05MeV \end{array}$$

- Gelen nötronun enerjisi düşük olduğunda, bu tepkimede de trityum ve alfa zıt doğrultuda yayımlanırlar.

c.  ${}^3_2\text{He}$  (n,p) Tepkimesi:

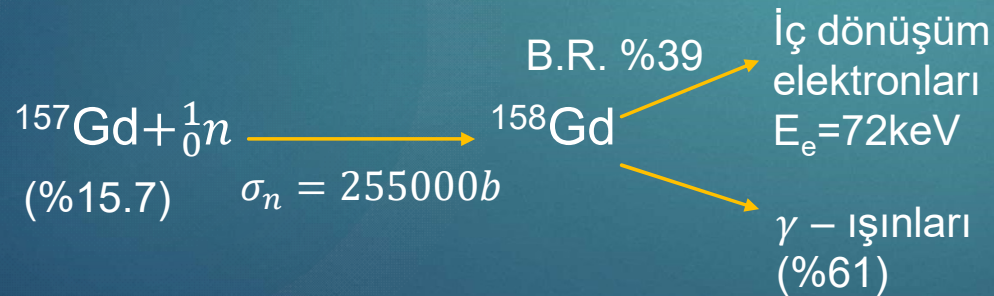
- ${}^3_2\text{He}$  gazı oldukça pahalı olmasına karşın  $\sigma_{n,p} = 5330b$  termal nötron tesir kesiti  $1/9$  ile hızlı şekilde azalır.



$$\begin{aligned} {}^3_2\text{He} &= 14.931 \text{ MeV} \\ {}^1_0n &= 8.07 \text{ MeV} \\ {}^3_1\text{H} &= 14.950 \text{ MeV} \\ {}^1_1p &= 6.778 \text{ MeV} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} E_{{}^3_1\text{H}} + E_p &= 0.764 \text{ MeV} \\ E_{{}^3_1\text{H}} &= 0.191 \text{ MeV} \\ E_p &= 0.573 \text{ MeV} \end{aligned}$$

d.  ${}^{157}\text{Gd}$  (n, $\gamma$ )  ${}^{158}\text{Gd}$  (ani gama) Tepkimesi:



$$\begin{aligned} {}^{157}\text{Gd} &= -70.831 \text{ MeV} \\ {}^{158}\text{Gd} &= -70.697 \text{ MeV} \\ {}^1_0n &= 8.07 \text{ MeV} \\ Q &= 7.937 \\ Q &> 0 \end{aligned}$$

- Açığa çıkan iç dönüşüm elektronları  $E_e=72\text{keV}$ , doğrudan iyonlaşmaya neden olduğu için gadolinyumu hem nötron dedeksiyonunda hem de “nötron görüntülemesi” uygulamalarında uygun bir malzeme yapar. Görüntülemede, fotografik filme geldiği konumu belirler.
- Gd kalınlığı  $\sim 20\mu\text{m}$ , nötronların hızlı iç dönüşüm elektronlarına çevrilmesine imkân verir.

$^{157}\text{Gd}(n,\gamma) \longrightarrow$  nötron elektron’a dönüşür. Verimi %30

$^6_3\text{Li}(n,\alpha) \longrightarrow$  nötron alfa’ya dönüşür. Verimi %1

$^{10}_5\text{B}(n,\alpha) \longrightarrow$  nötron alfa’ya dönüşür. Verimi %3-4

- Gd %0.5 derişimlerde sıvı sintilatörlerin içine katılarak da kullanılır böylelikle sintilatörler nötron dedeksiyonu açısından daha duyarlı hale gelirler.  $^{157}\text{Gd}(n,\gamma)$ , tepkime ürünleri “hızlı dönüşüm elektronları” ve gama ışınları olduğundan, hala gama ışınları bir background problemidir. Hızlı elektronların puls genliklerinin ayrılmasını gerektirir. Bu problem, “puls şekli ayırma” teknikleriyle çözülebilir. (Knoll, 2000)