



ANKARA ÜNİVERSİTESİ NÜKLEER BİLİMLER ENSTİTÜSÜ

101523-NÖTRON AKTİVASYON ANALİZİ VE ÖLÇÜMLERİ LABORATUVARI

Prof. Dr. Haluk YÜCEL

RADYOAKTİVASYON TEKNİKLERİYLE NÖTRON AKISI, NÖTRON AKI ORANI VE SPEKTRUMLARININ BELİRLENMESİ

1. Sayım Düzenegi

Nötronların etkisiyle meydana gelen reaksiyondaki, radyoaktif ürün çekirdeğin parçalanma hızının belirlenmesi için çeşitli ölçüm cihazları kullanılmaktadır. Bu cihazlar, sintilasyon sayaçları, iyonizasyon odaları, orantılı sayaçlar, Geiger tüpleri ve katı hal dedektörlerini kapsar. Bu deneylerde yüksek çözme (ayırma) güçlü HPGe dedektörler kullanılacaktır.

2. Işınlama İşlemleri

Işınlama işlemleri, anlık akı hızı veya akının hangisinin belirleneceğine bağlı olarak iki genel tarzda gerçekleştirilmektedir. Akı hızının belirlenmesi için dedektör, çalışma güçlüklerinin ve zırlama gereksinimlerinin en aza indirildiği yeterince düşük reaktör güç seviyesinde, kısa süreli ışınlanır. Daha sonra, elde edilen akı hızı değeri, reaktörün tüm gücü için beklenen akı hızı değerine ekstrapole edilir. Bu teknik, bazen reaktörlerin akı dağılımının haritalanması (flux mapping) için kullanılır.

Akının belirlenmesi, sıkça malzemeler üzerine radyasyonun etkileriyle ilgili deneyler için gerekmektedir. Dedektörler, reaktörde deneyin yapıldığı konuma mümkün olduğunca yakın olacak şekilde ve deney süresiyle aynı süre içinde ışınlanır. Böylece, dedektörler, aynı akı değerinde işleme tabi olurlar veya ilgilenilen konumun akısı içine konulmuş olurlar. Uygulanması mümkün olduğunda, pasif (foil gibi) dedektörler, deney kapsülü içinde olacak şekilde yerleştirilir. Uzun süreli ışınlamaları, genelde kapsül içinde yapmak gerekir.

Nötron dedektörünün, tasarlanan zaman periyotunun tamamında ışınlanması ve ışınlamanın bittiğinde dedektör içinde ışınlamanın başlangıç periyodu esnasında üretilen aktivitenin ölçülebilir bir kısmının mevcut olması istenebilir, ancak gerekli değildir. Bu yüzden, reaksiyon ürününü etkin yarı ömrü, $(t'_{1/2} - 0.693/\lambda')$, ışınlama başlangıcından sonuna kadar (örneğin, ışınlama reaktörde yapılıyorsa, reaktörün son kapatılmasına kadar) geçen toplam süreden daha az olmamalıdır.

Kadmiyumla zırhlanan dedektörlerin, ölçülen aktiviteye termal ve epitermal nötronlardan ileri gelen katkılarının ayırt edilmesinde kullanılması uygundur. Ayrıca kadmiyum zırhlama, termal nötron soğurmayla aktiflenen çekirdeklerin kaybını ve safsızlıklar sonucu oluşan aktivitelerin azaltılmasında yararlıdır. Tavsiye edilen kadmiyum kalınlığı 1mm'dir. Çıplak ve kadmiyum kılıflı numuneler aynı ortama yerleştirildiğinde, kadmiyum kılıflı dedektörler (kadmiyum nedeniyle) çıplak kullanılan dedektörleri de kısmen zırhlaması tehlikesinin var olacağı ve bunun önleminin alınmasına önem verilmelidir.

3. Hesaplama

Işınlama süresi sonunda numunenin aktivitesi A, aşağıdaki gibi hesaplanır (Bkz. Bölüm 2.1 Aktivasyon eşitliğinin türetilmesi):

$$A = \frac{\lambda D}{(1 - \exp(-\lambda t_c)) \exp(-\lambda t_w)} \quad (1)$$

Burada,

λ : Radyoaktif çekirdeğin bozunma sabiti,

t_c : Sayım süresi,

t_w : Işınlamanın bitimi ile sayımın başlaması arasında geçen zaman,

D: t_c sayım süresi içinde parçalanmaların sayısıdır (doğal fon, rasgele(random) ve gerçek koinsidans kayıpları, sayım sisteminin verimi ve sayılan numunenin kesri için düzeltmelerin yapıldığı net sayıdır).

Genel durumda, sayım süresi radyoaktif çekirdeğin yarı ömrü ile $0.693/\lambda$ kıyaslandığında, kısa olursa, aşağıdaki yaklaşık ifade ile aktivite:

$$A \cong \frac{\lambda D}{t_c \cdot \exp(-\lambda t_w)} \quad (2)$$

Eşitliğinden hesaplanır.

4. Yöntemin Önemi ve Kullanımı

Bu foil aktivasyon yöntemi, deneycinin özel deney durumuna uygun olan ve istenen yeterli derecede nükleer ve aktivasyon özellikleri olan herhangi bir malzemenin kullanımını için genişletilebilir. Mutlak sayım tekniklerinin, nötron akı çökmesinin (fluence depression) ve kalın foillerin öz zırhlamasının (self-shielding) çok sayıdaki sorunlarının tümüyle burada açıklanmasına teşebbüs edilmemiştir. Deneycinin bu konularda var olan kaynaklara başvuracağı kabul edilmektedir.

Standart foil tekniği, şekli ve kütlesi mümkün olduğunca aynı olan foillerin bir setini kullanır. Foiller, tesir kesiti, termal enerji aralığında nötron hızıyla yaklaşık ters orantılı ($\sigma \propto 1/v$) olan ve tercihan yüksek tesir kesitli, (n,γ) reaksiyonuyla aktiflenebilir herhangi bir malzemedan imal edilebilir. Çizelge-1 her bir dedektör malzemesinin kullanışlı olduğu nötron-akı aralıklarının göstermektedir.

Çizelge-1 Foil Malzemesinin Kullanışlı Olduğu Belirli Bir Periyot Üzerinden Nötron Akısı Aralıkları

Foil Malzemesi	Şekli	Yaklaşık Kullanım Aralığı (nötron/cm ²)
İndiyum(In)	Saf veya alüminyum alaşımlı	10 ³ - 10 ¹²
Altın(Au)	Saf veya alüminyum alaşımlı	10 ⁷ - 10 ¹⁴
Dizprozyum(Dy)	Saf veya alüminyum alaşımlı	10 ³ - 10 ¹⁰
Kobalt(Co)	Saf veya alüminyum alaşımlı	10 ¹⁴ - 10 ²⁰

Foillerin aktivitesi, radyasyon ölçen kararlı bir alet üzerinde sabit bir geometride sayılır. Foillerde nötron etkisiyle meydana gelen reaksiyon hızı, sayım verilerinden hesaplanır ve bilinen nötron akısının, hesaplanmış reaksiyon hızına oranı belirlenir. Herhangi bir foil için, nötron enerji spektrumu, sayım düzeneği ve bilinen nötron akısının/hesaplanmış nötron akısına oranı sabittir. Birbirinin aynısı foil setinin diğer foilleri, bilinmeyen bir nötron alanına da maruz bırakılarak ışınlanabilir. Bilinmeyen nötron alanındaki akının büyüklüğü, bilinen ve referans nötron alanlarından alınan sayım verilerinden, iki nötron alanı arasındaki spektral farklılıklar için uygun düzeltmeleri hesaba katılarak, belirlenecek reaksiyon hızlarının karşılaştırılmasıyla elde edilir. Bu tekniğin önemli bir özelliği, mutlak sayım tekniğine olan gereksinimi gidermesidir.

5. Teori

1/v Hıza Bağımlı Tesir Kesitleri: Nötron yoğunluğunun termal ve epitermal bileşenlerinin her ikisinin de spektrum şekilleri üzerinde bazı kabuller yapılmaksızın, radyoaktivasyon teknikleri kullanılarak gerçek termal nötron akısının belirlenmesi mümkün değildir. Farklı amaçlar için, nötron alanında ışınlamaya maruz bırakılan çeşitli malzemelerin reaksiyon hızlarının ve aktivasyon hesaplarının yapılması için yeterli bilginin olması gerekir. Tesir kesitinin nötron hızıyla ters orantılı ($\sigma \propto 1/v$) olarak değiştiği reaksiyonlar için, reaksiyon hızları toplam nötron yoğunluğuyla orantılıdır ve spektrumun şekline bağımlı değildir. Radyoaktivasyon dedektörlerinin

çoğu, termal enerji aralığında $1/v$ -tesir kesitlerine($1/v$ dedektörleri) sahiptirler. Tesir kesitinin $1/v$ şeklinden ayrılmaları, düzeltme faktörleri vasıtasıyla hesaba katılabilmektedir.

Akı İle İlgili Konvansiyonlar(Anlaşmaya Dayalı Gösterimler):

Akı (Fluence)” konvansiyonunun(daha önceleri “flux konvansiyonu” olarak adlandırılan) amacı, reaksiyon hızlarını hesaplamak için uygun şekilde kullanılabilen birkaç parametreyle bir nötron alanını tanımlamaktır. Termal nötron alanlarıyla ilgili olarak en fazla bilinen akı konvansiyonları, Westcott konvansiyonu ve Stoughton-Halperin konvansiyonudur. Bu iki konvansiyon, eşdeğer 2200 m/s akı hızı kavramında biraraya getirilerek, yani; nötron akısı($n v_0$), nötron yoğunluğu(n) ile karakteristik sıcaklıktaki (293,4 °K) Maxwellian termal nötronlarının en muhtemel hızı olan 2200 m/s’lik standart v_0 ’ın çarpımına eşittir. Westcott konvansiyonunda, “Westcott akısı”, toplam nötron yoğunluğu(termal+epitermal) v_0 hızıyla çarpılarak oluşturulur. Ancak Stoughton-Halperin (S-H) konvansiyonunda tanımlanan konvansiyonel nötron akısı, Maxwellian termal nötron yoğunluğu ile standart nötron hızı v_0 ’ın çarpımına eşittir. Bu metotta, Stoughton-Halperin (S-H) konvansiyonu takip edilmektedir:

$$\phi_0 = n_{th} v_0 \quad (1)$$

Burada, ϕ_0 : eşdeğer 2200 m/s termal akı hızı ve n_{th} :termal nötronlara maruz bırakılan $1/v$ dedektöründe atom başına reaksiyon hızıyla orantılı olan termal nötron yoğunluğunu temsil etmektedir. Reaksiyon hızı ise:

$$(R_s)_0 = n_{th} \sigma_0 v_0 = \sigma_0 \phi_0 \quad (2)$$

eşitliği ile tanımlanır.

$(R_s)_0$, sadece Maxwellian spektrum şekline sahip termal nötronlarla meydana getirilen reaksiyon hızı kısmını temsil etmektedir. σ_0 ise 2200 m/s tesir kesitidir. $1/v$ davranışı göstermeyen dedektör için, Eşitlik (2) aşağıdaki şekilde değiştirilmesi gerekir:

$$(R_s)_0 = n_{th} g \sigma_0 v_0 = g \sigma_0 \phi_0 \quad (3)$$

Burada, g:termal enerji aralığında 1/v dedektör tesir kesitinden olan ayrılımları hesaba katan bir düzeltme faktörüdür. Aynı düzeltme faktörü, Westcott konvansiyonunda, da vardır ve genelde Westcott-g faktörü olarak adlandırılır. g faktörü, nötron sıcaklığı T'ye bağımlıdır ve aşağıdaki gibi tanımlanır:

$$g = \frac{1}{v_0 \sigma_0} \int_0^{\infty} \frac{4}{\pi^{1/2}} \left(\frac{v}{v_0} \right)^3 \left(\frac{T_0}{T} \right)^{3/2} \cdot \exp \left[- \left(\frac{v}{v_0} \right)^2 \left(\frac{T_0}{T} \right) \right] \sigma(v) dv \quad (4)$$

Termal nötron spektrumu, tam olarak Maxwell dağılımını izlerse ve nötron sıcaklığı biliniyorsa, gerçek termal nötron akısı:

$$\frac{\bar{v}}{v_0} = \left(\frac{4T}{\pi T_0} \right)^{1/2} \quad (5)$$

çarpanı ile eşdeğer 2200 m/s termal nötron akısının(ϕ_0) çarpılarak hesaplanması mümkündür. Burada, \bar{v} :Nötron sıcaklığı T için Maxwell dağılımındaki ortalama nötron hızı, v_0 : 2200 m/s değeri ise $T_0=293,4$ °K standart sıcaklıkta Maxwell dağılımına uyan nötronların en muhtemel hızıdır. Ancak, bu dönüştürme, birçok durumda gereksizdir ve nötron sıcaklığı T bilinemediğinden, genelde yapılmaz. Doğal olarak, sonuçlar rapor edilirken, acaba “gerçek termal akı” veya “eşdeğer 2200 m/s akısı” ya da “eşdeğer 2200 m/s toplam(Westcott) akı” mı kullanıldığı kesinlikle açıklanmış olması esastır. Gerçek termal akı kullanılırsa, o zaman bu akının değeri, ona eşlik eden sıcaklık değeriyle birleştirilmelidir. Bu işlem, Eşitlik 5’ de verilen sıcaklık faktörü ile “eşdeğer 2200 m/s termal akının çarpımından hesaplanır.