



ANKARA ÜNİVERSİTESİ NÜKLEER BİLİMLER ENSTİTÜSÜ

101523-NÖTRON AKTİVASYON ANALİZİ VE ÖLÇÜMLERİ LABORATUVARI

Prof. Dr. Haluk YÜCEL

AKTİVASYON YÖNTEMLERİ

1. Aktivasyon Yöntemleri

1.1 Kobalt Yöntemi

10^{14} - 10^{18} n/cm² aralığındaki termal nötron akıların izlenmesi için, 0,127 mm (0,005 inç) çapında saf kobalt teli uygundur. Aynı çapta kobalt-alüminyum alaşımı (kobalt ağırlıkça %0,5 veya daha az) tel, daha yüksek akıların ölçülmesi için kullanılabilir. Hedef malzemenin yanmayla azalması (burn-up) hususunu, 10^{20} n/cm² üzerindeki akılarda göz önünde bulundurmak gerekmektedir. İlgili olan nötron reaksiyonu ise, $^{59}\text{Co}(n,\gamma)^{60}\text{Co}$ 'dir. Radyoaktif ^{60}Co her parçalanmasında, 1,17 MeV ve 1,33 MeV'lik enerjilerde gamma ışınları kaskat tarzda (bir bozunma anında peş peşe basamak şeklinde olan uyarılmış seviyelerden) yayınlanır. ^{60}Co 'ın yarı ömrü 1925,5 gündür. Reaksiyonda, aynı zamanda $^{60\text{m}}\text{Co}$ çekirdeği de meydana gelir. Ancak, bu izomerik durum 10,467 dakikalık yarı-ömürle ve tek bir gamma (59 keV) yayınlarak ^{60}Co radyoaktif çekirdeğe dönüşür. İnce bir kobalt numunesi ışındığında, numunede meydana gelen eşdeğer 2200 m/s termal nötron akısı, aşağıdaki şekilde hesaplanabilir:

$$\phi_0 = \frac{R_s}{g\sigma_0} \quad (15)$$

Burada,

R_s : Hedef atom başına reaksiyon hızı, g : ideal 1/v- dedektör tesir kesitinden termal enerji aralığındaki ayrılmaları hesaba katmak için düzeltme faktörü ve σ_0 : 2200 m/s tesir kesitidir.

Reaksiyon hızı R_s ise, aşağıdaki ifade ile verilir.

$$R_s = \frac{C \cdot \exp(\lambda t_w)}{\epsilon N_0 (1 - \exp(-\lambda t_i))} \quad (16)$$

Burada,

C: ölçme anındaki numunedeki ^{60}Co 'ın net sayım hızı (doğal fon düzeltilmesi yapılmış olan),

λ : ^{60}Co 'ın 1925.5 gün yarı ömrüne karşılık gelen parçalanma sabiti ($\lambda=4.170 \times 10^{-9} \text{ s}^{-1}$),

N_0 : Aktif hale getirilecek atom çekirdeklerinin başlangıçtaki sayısı (^{59}Co 'ın m gram ağırlığı ile Avogadro sayısı ve izotop bolluğunun (%100) çarpımının kobalt atom ağırlığına ($W=58,9332 \text{ g}$) bölünmesiyle bulunur. Yani, $N_0=m \cdot N_{av}/58,9332$ şeklinde hesaplanır),

ϵ : Belirli bir sayım geometrisinde ^{60}Co radyasyonu için dedektör verimi,

t_w : Işınlama bitiminden sayım anına kadar geçen bekleme zamanı ve

t_i : Işınlama zamanıdır.

Işınlama zamanı, t_i , ^{60}Co 'ın 1925,5 gün olan yarı-ömrü ile karşılaştırıldığında daha kısa olursa, ki genelde ışınlama kısa süreli olur; o zaman aşağıdaki yaklaşım yapılabilir:

$$1 - \exp(-\lambda t_i) \approx \lambda t_i \quad (17)$$

Bu yaklaşıma göre, Eşitlik (15) tekrar yazılırsa:

$$\phi_0 = \frac{R_s}{g \sigma_0} = \frac{C \cdot e^{\lambda t_w}}{\lambda t_i \epsilon N_0 \sigma_0} \quad (18)$$

olur.

Işınlama periyodu üzerinden akı ise,

$$\Phi = \phi_0 t_i = \frac{C \cdot e^{\lambda t_w}}{\lambda \epsilon N_0 \sigma_0} \quad (19)$$

olur.

Kobalt numunesi, tamamen termalize edilmemiş bir nötron spektrumunda radyoaktif hale getirildiğinde, o zaman reaksiyon hızı, epitermal nötron aktivasyonu için düzeltilmelidir. Bu işlem, 1 mm kalınlıklı (0,040 inç) kadmiyumla zırhlanan benzer bir kobalt numunesiyle ışınlanarak yapılır ve ışınlama periyodu üzerinden akı için Eşitlik 13 kullanılarak aşağıdaki ifade elde edilir:

$$\Phi = \frac{1}{G_{th}} \left(C_B - C_{Cd} \left(1 + \frac{g \sigma_0 f_1}{G_{res} I_0} + \frac{\sigma_0 w'}{G_{res} I_0} \right) \right) \cdot \frac{e^{\lambda t_w}}{\lambda N_0 g \sigma_0 \epsilon} \quad (20)$$

Burada, C_B : ^{60}Co 'ın çıplak numunesinin sayım hızı ve C_{Cd} : kadmiyum kılıflı ^{60}Co 'ın verdiği sayım hızıdır. Uygulamada, 0,127 mm'lik kobalt teli, ince bir numune olarak gözönüne alınamaz. Eşitlik 20'deki G_{th} ve G_{res} faktörleri (Çizelge 4 ve 5'e de bakınız) ile telin öz-soğurma etkileri

hesaba katılır. Kobalt-Alüminyum alaşımı (alaşımdaki kobalt ağırlığı %0,5 veya daha az) kullanılırsa, öz-zırhlama düzeltme faktörlerine gerek duyulmaz.

Numunedeki ^{60}Co 'ın mutlak parçalanma hızının elde edilmesi için yüksek çözme güçlü gamma dedektörlerle bağlantılı çok kanallı analizörlerin kullanıldığı *Gamma Spektroskopisi* tekniği kullanılır. ^{60}Co radyasyonu(1.17 MeV veya 1.33 MeV gamma ışınları) için dedektör verimi, izlenebilir ve aktivitesi sertifikalı olan bir ^{60}Co kaynak veya çok sayıda gamma-ışını yayan referans radyoaktif standart kaynak (^{60}Co radyoizotopu içeren) kullanılarak ölçülmelidir. Standart radyoaktif kaynak ve aktif hale getirilecek monitör numunesinin (Örneğin, kobalt teli) her ikisinin de şekli, konumlanması ve dış kılıfı, her durumda aynı dedeksiyon verimini sağladığı dikkatlice kontrol edilmelidir.

Kobalt aktivasyon yöntemiyle uzun dönemde nötron akısının izlenmesinde dikkat edilecek hususlar:

Yukarıda kobalt metodunda belirtildiği gibi, düşük konsantrasyonlu kobalt-alüminyum alaşımı tel, uzun dönemli termal akının izlenmesi için uygundur. İzlenmekte olan termal-nötron akısı, 10^{14} n.cm⁻².s⁻¹ değerini geçerse ve ışınlama zamanları da birkaç haftayı aşarsa, o zaman deneyci, monitör tel içindeki ^{59}Co hedef çekirdeklerinin mümkün yanmasını (burn-up) ve meydana gelecek ^{60}Co radyoizotopların da yanmayla olası azalmasının farkında olmalıdır. Ayrıca, monitör tel için eğer kadmiyum kılıf kullanılırsa, kadmiyum kılıf malzemesindeki ^{113}Cd çekirdeklerinin yanmayla azalmasını (burn-out) göz önünde bulundurmalıdır. Böyle bir durumda ^{59}Co ve ^{60}Co çekirdeklerinin yanmasının düzeltilmesi için ϕ akısı için aşağıdaki gibi çözülür:

$$A = (N_0 \sigma_1 \phi \lambda) \cdot \frac{[e^{-\phi \sigma_1 t_i} - e^{-(\phi \sigma_2 + \lambda) t_i}]}{[\phi(\sigma_2 - \sigma_1) + \lambda] \cdot e^{\lambda t_w}} \quad (21)$$

Burada:

A: ^{60}Co 'ın ölçülen aktivitesi, N_0 : ^{59}Co atomlarının başlangıçtaki sayısı(= $m \cdot N_{av}/58,9332$), σ_1 : ^{59}Co 'ın tesir kesiti=37,233 barn, σ_2 : ^{60}Co 'ın tesir kesiti=2 barn, λ : ^{60}Co 'ın parçalanma sabiti= $4,16647 \times 10^{-9}$ s⁻¹, t_i :ışınlama süresi(s) ve t_w :İşinlamanın bitiminden sonra geçen zamandır.