



ANKARA ÜNİVERSİTESİ NÜKLEER BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
101523-NÖTRON AKTİVASYON ANALİZİ LABORATUVARI FÖYÜ

Prof. Dr. Haluk YÜCEL

Deney 3: Termal Nötron Akı Ölçümü

GENEL BİLGİ

Nötron akısını keyfi olarak enerji grupları bakımından

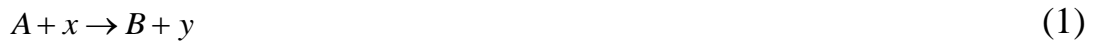
1. Ortalama nötron enerjisi 0,025 eV olan (bu enerji, nötronların Maxwell hız dağılımında ortalama nötron hızı $v_0=2200$ m/s'ye karşılık gelir) ve tesir kesiti nötronların hızıyla $\sigma \sim 1/v$ şeklinde değişim gösterdiği termal nötron akısı, Φ_{th} ($2200 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$)'dir. Bundan sonra kısaca “termal akı” olarak adlandırılacak

2. Termal üstü (epitermal) nötron akısı, nötronların enerjisi kadmiyum keme enerjisi $E_{Cd-cutoff}=0,55$ eV üstünde olan ve enerjileri 100 keV'e kadar rezonans piklerinin de yer aldığı ve $\Phi_{epi}(E) \sim 1/E^{1+\alpha}$ biçiminde enerjiye bağımlı değişen nötronların sayısını ifade eder. Burada, α :epitermal spektrumun şekil parametresidir.

3. Hızlı (fast) nötron akı ise, enerjisi 0,1 MeV'den 10-15 MeV'kadar nötronlar için tanımlanır. Ancak bu deneyde sadece termal nötron akısı ölçülecektir.

Aktivasyon Eşitliğinin Türetilmesi:

Durgun bir hedef üzerine bombardıman eden parçacıkların olduğu düşünüldüğünde meydana gelebilecek en basit nükleer tepkime:



şeklinde ifade edilir. Burada giren parçacık nötron $x=n$ ve yayınlan foton $y=\gamma$ temsil edilerek bu nötron yakalama tepkimesi $A(n,\gamma)B$ şeklinde de ifade edilebilir. Bir tepkimenin meydana gelme olasılığı tepkimenin tesir kesiti, σ ile ifade edilir. A harfi ile gösterilen hedef çekirdekten, B harfi ile gösterilen ürün çekirdeğinin üretim hızı:

$$\frac{dN_B}{dt} = \sigma\Phi N_0 \quad (2)$$

Burada, N_0 : hedef çekirdeklerin sayısı ve numune içindeki herhangi ilgilenilen hedef izotop için tepkime hızı (reaction rate), R_s (tepkime/atom/s)

$$R_s = \int \sigma(E) \cdot \Phi(E) \cdot dE \quad (3)$$

$\Phi(E)$: E ile E+dE enerji aralığındaki nötron akı yoğunluğu (nötron.cm⁻².s⁻¹) ve

$\sigma(E)$:E enerjili nötronlar için ilgilenilen izotopun tesir kesitidir(cm²).

Eşitlik (2)'de üretilen B nüklitlerinin aynı zamanda bozunacağı düşünülürse, bunun bozunma hızı:

$$-\frac{dN_B}{dt} = \lambda N_B \quad (4)$$

Üretilen ve bozunan nüklitlerin tümü hesaba katıldığında, B nüklitinin net üretim hızı:

$$\frac{dN_B}{dt} = \sigma N_0 \Phi - \lambda N_B \quad (5)$$

Eşitlik (5') teki diferansiyel denklemin basit çözümü için Φ akı yoğunluğunun hedef içinde sabit kaldığı ve N_0 : hedef atomlarının zaman içinde önemsenecek derecede değişmeyeceği varsayılmıştır. Buna göre Eşitlik (5) içi, t=0 ışınlama başlangıç anında, B- nüklitleri hiç olmadığından dolayı $N_B=0$ sınır koşulu uygulandığında, basit integral alınarak:

$$N_B = \frac{\sigma N_0 \Phi}{\lambda} \cdot (1 - e^{-\lambda t}) \quad (6)$$

Eşitlik (6)'dan numune t süre ile ışınlandıktan sonra üretilen B nüklitlerinin sayısını verir. O halde oluşan B nüklitlerinin aktivitesi:

$$A(Bq) = -\frac{dN_B}{dt} = \lambda N_B = \sigma N_0 \Phi \cdot (1 - e^{-\lambda t}) \quad (7)$$

Burada, A harfi ile gösterilen N_0 hedef izotoplarının sayısı:

$$N_0 = \frac{w \theta N_{Av}}{M} \quad (8)$$

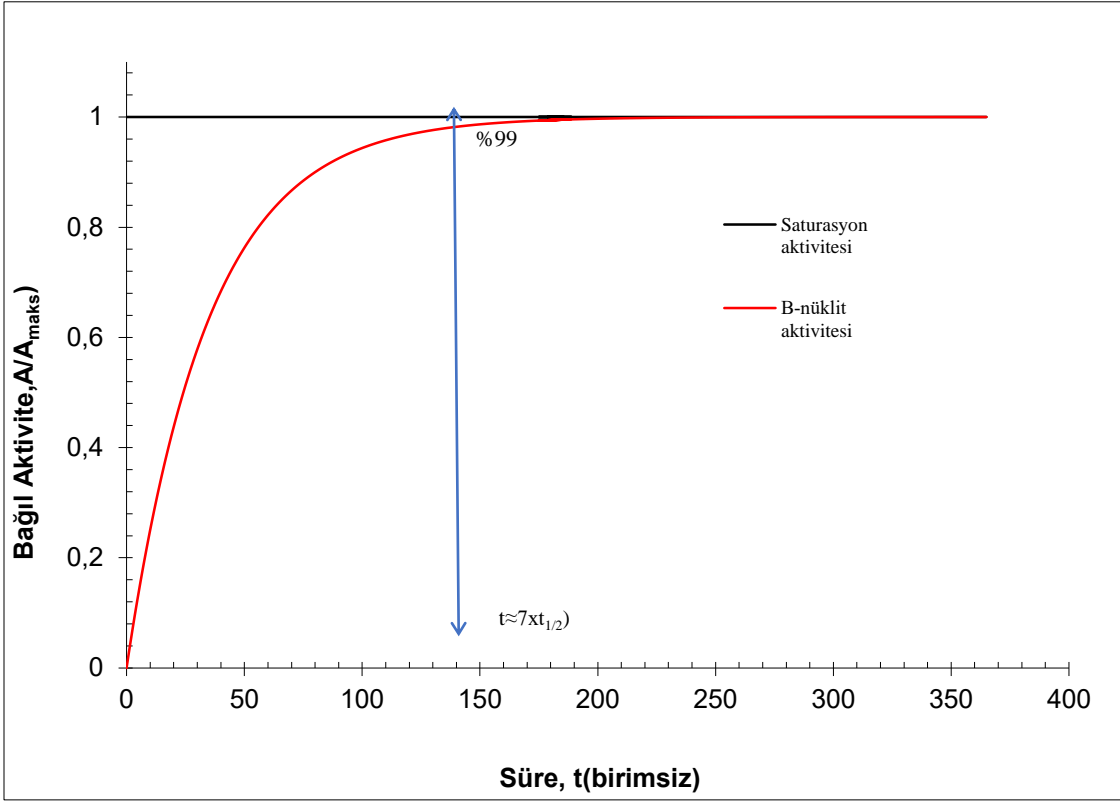
Eşitlik (8)'de, θ : Hedef izotop bolluğu, w: ışınlanan elementin ağırlığı (g), M: ışınlanan elementin atom kütlesi (g/atom), Avogadro sayısı, $N_{Av}=6,022 \times 10^{23}$ ve tesir kesiti σ barn biriminde ($1b=10^{-24} \text{cm}^2$) üretilecek aktivite:

$$A(Bq) = 0,6022 \cdot \sigma(b) \cdot \Phi \cdot \frac{w \cdot \theta}{M} (1 - e^{-\lambda t}) \quad (9)$$

ifade edilebilir. Aynı nicelik, yani $t=t_i$ numunenin ışınlama süresi sonundaki ilgilenilen B çekirdeklerinin sayısı ile doğru orantılı olan aktiviteyi, A(Bq) aynı zamanda tepkime hızı R_s (Eşitlik 3'de verilen) ve hedef atomlarının sayısı N_0 (Eşitlik 8'de verilen) cinsinden de ifade edilebilir:

$$A(Bq) = N_0 \cdot R_s \cdot (1 - e^{-\lambda t_i}) \quad (10)$$

Eşitlik (9) veya (10) ile ifade edilen aktivite, Şekil-5'de zamanın fonksiyonu olarak çizilmiştir. Bu temsili grafikten görüleceği üzere, yedi kat yarılanma süresi ($7 \times t_{1/2}$) uzunluğunda bir ışınlama sonunda maksimum elde edilebilecek aktivitenin (A_{maks}) yaklaşık olarak %99'una ulaşılabilir. Yani, yaklaşık doyum (saturasyon) aktivitesine erişilir. Ancak pratik nedenlerden dolayı her nüklit için numunenin kaynak veya reaktör hücresinde ışınlama süreleri, diğer parametreler de dikkate alınarak yapılacak bir optimizasyonla mümkün olduğunca kısa tutulur.



Şekil-5. Işınlama zamanının bir fonksiyonu olarak aktivitenin değişimi

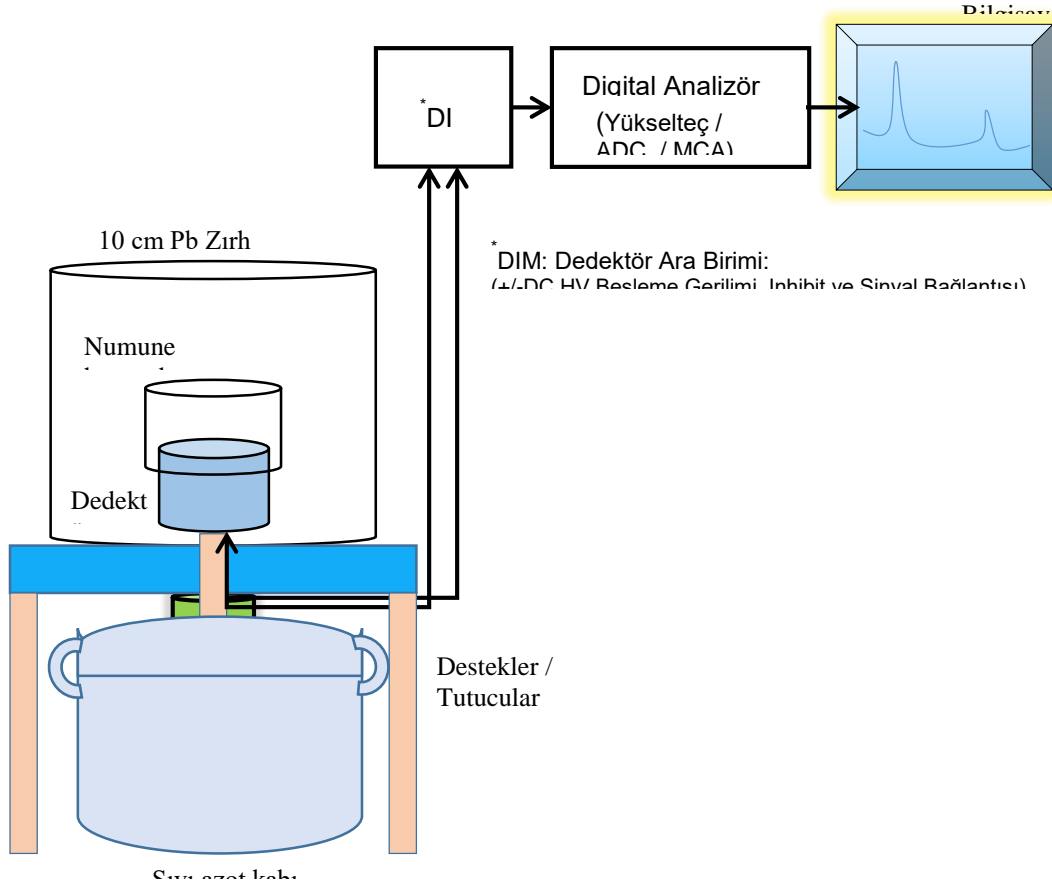
2. Deneyin amacı

Bu deneyin amacı, yavaş nötronlarla aktivasyon tekniği uygulanarak element tanımlanması ve nicel analizlerinin yapılmasındaki temel prensipler gösterilecektir. Deneyin birinci kısmında, ışınlama hücresindeki **belirli bir konumda** izotropik (yönden bağımsız) termal akı yoğunluğu ölçülecek.

3. Deneyin yapılışı

1. Laboratuvarda mevcut kurulu bir n-tipi HPGe dedektörlü gama sayım sistemini çalışır duruma getiriniz (Şekil-6).

Not: Bu ayarlar daha önceden yapılmış ise ön bilgi alınız.



Şekil-6. Bir HPGe dedektörlü gama spektroskopi sisteminin şematik görünümü

2. Yükselteç kazancını Ortec Gamma Vision Yazılımından MCB properties menüsünden ADC alt menüsünden ADC conversion=4096 kanal, LLD=20 kanal, ULD=4095 kanal, Amplifier alt menüsünden Coarse=2, Fine=0.8 Gate=off, Amplifier 2 alt menüsünden rise time=12, flattop width=0,80 optimizasyondan sonra tilt=-0,37500 ve P/Z ayarından sonra pole zero=2810 kanala ayarlanır.
3. Dijital osiloskopu gözlemleyerek ve belirli bir mesafede yerleştirilen bir Co-60 kaynağı ile optimizasyon ve P/Z ayarı sırasında, sistemin ölü zamanını %6-8'i geçmeyecek şekilde kaynağı yaklaştırmak ve sayım sisteminin kutup (P/Z) ayarını yapınız.
4. HV menüsünden Polarite =**Negatif**, dedektör=**ORTEC** seçilmiş olduğundan emin olunuz.

Not 1: Bu ayarlar daha önceden yapılmış ise değiştirmeyiniz.

Çalışma gerilimini, bu dedektöre **NEGATİF (-) 4000 Volt (4kV DC gerilim)** otomatik olarak yazılımdan MCB properties/HV settings menüden ON/OFF seçilerek –ancak dedektör soğuk iken- uygulanır.

ÖNEMLİ UYARI: Sadece bu kullanılan ORTEC dedektör için geçerli olan çalışma gerilimini, yani **NEGATİF (-) 4000 Volt kesinlikle aşmayınız!** Aksi halde dedektör onarılamaz derecede zarar görebilir.

Not 2: Kesinlikle sistemde enerji var iken, Bias, Shutdown ve HV kablolarını ayırmayınız. Siyah renkli DIM ara modülünü, masa üzerindeki DESPC j.r 2.0 dijital analizörüne söküp, takmayınız!

Not-3: Gerektiğinde, HV geriliminin kesinlikle öncelikle sıfırlanması ve kontrolü sağlayan dijital analizörün OFF durumuna getirilmesi çok önemlidir, aksi takdirde kullandığınız bu pahalı dedektör ciddi derecede hasar görebilir.

Not-4: Dedektör soğuk olması koşulu için sıvı azot doldurma talimatına bakınız.

Not-5: Dedektör penceresi Berilyum oldukça kırılmandır, ani fiziksel temas/darbe alması patlayıp parçalanmasına neden olabilir. Özellikle Be parçacıkları bu esnada gözü kör edebilir. Bu nedenle, kullanımında azami özeni gösteriniz.

5. Uygun nokta kalibrasyon kaynakları kullanılarak sistemin enerji kalibrasyonunu 0-2 MeV enerji aralığında yapınız. Enerji kalibrasyonu eğrisini çiziniz.

6. Size verilecek küçük bir deney tüpüne %99,99 saflıkta indiyum oksit (In_2O_3) doldurarak hazırlayınız. Net ağırlığını belirleyiniz. Alternatif olarak, çapı 0,5 inç (12,7 mm) ve kalınlığı 0,005 inç (0,127 mm) olan incelikte indiyum (In) foil'in ağırlığını ve saflık derecesini kaydediniz. Terazide ölçerek sertifika ağırlığı ile karşılaştırınız. Foil saflık derecesini dikkate alınız.

Not-6: Eşitlik (9)'dan $\Phi_{th}=10^3-10^4$ nötron/cm²/s mertebesindeki termal akı değeri için üretilebilecek tahmini aktivite değerini hesaplayarak, foil veya deney tüpünde İndiyum Oksitin ışınlamasının hangisinin uygun olduğuna karar veriniz.

Not-7: İndiyum foil son derece yumuşak bir malzeme olduğu için yırtılmaması için azami özen gösteriniz.

Not-8:Verim kalibrasyonu yapılmış Ge dedektörün, ışınlamadan önce hazır duruma getirilmesi çok önemlidir.

7. Deneş tüpündeki indiyum oksit veya polietilen(veya teflon NAA tüpü) kap içine konulan indiyum foili uygun şekilde nötron kaynak ışınlama ünitesine transfer ediniz. **En az 1 saat süreyle** indiyum numunesini (toz veya metalik foil şeklinde) ışınlayınız ve derhal laboratuvara transfer ederek dedektördeki ölçme konumuna getiriniz. Işınlama (t_i), aradaki bekleme (t_d) ve ölçme sürelerini (t_m) kaydediniz. Ölçme süresini 1 saat veya daha fazla seçebilirsiniz. Ancak bekleme süresi mümkün olduğunca 3-5 dakikayı geçmeyecek şekilde uygulayınız.

Çizelge-1: Kadmiyum Kılıf içinde yapılan ışınlamada $^{115}\text{In}(n,\gamma)^{116m1}\text{In}$ tepkimesi için elde edilen deneşsel veriler

Gama ışının Enerjisi (keV)	Gama Yayınlanma olasılığı, $P_\gamma(\%)$	Deneşsel verim ϵ_{foil}	Net Pik sayısı *, N_p	Kadmiyum Kılıf var iken hesaplanan Özgöl aktivite**, A_{sp} (sayım/s/g) (Eşitlik 11)	Kadmiyum Kılıf var iken hesaplanan Reaksiyon Hızı**, R_s (tepkime sayısı/atom/s) (Eşitlik 13)
416,86	27,7 (12)				
818,7	11,5 (4)				
1097,3	56,2 (11)				
1293,54	84,4 (17)				
1507,4	9,96 (34)				
1753,8	2,45 (9)				
2112,1	15,5 (4)				
					$\langle R_s \rangle =$

*: Ortam doğal fon sayımı çıkarıldıktan sonra elde edilen değer.

** : Pik sayım istatistiği %1'den daha kötü olan pik sayım değerleri veren fotopikleri ağırlıklı ortalama değerlerine dâhil etmeyiniz.

8. MCA spektrumunu yeterli sayım istatistiği elde edilinceye kadar biriktiriniz. Örneğin en az 60 dakika süreyle sayım alınız. Gerçek zamanı (saat zamanı) ve MCA aktif ölçme süresin (live time) kaydediniz.

9. ^{116m}In ($t_{1/2} = 54,29$ dk) bozunma ürünün gama piklerindeki net sayımlarını N_p belirleyiniz ve Çizelge 1' kaydediniz. Foil çıplak iken ışınladığında elde edilen özgül aktiviteleri A_{sp} (sayım/s/g) ve bunlara bağlı tepkime hızlarını R_s (tepkime sayısı/atom/s) ve belirsizliklerini hesaplayınız.

10. Foil'i dedektör ortamından uzaklaştırınız ve aynı pikler için sayım süresinin en az iki katı doğal fon sayımı alınız.

11. In-^{116m} 'in yarılanma süresi 54,29 dakika olduğu için 9-10 saat süre içinde tüm aktivitesi bozunur. Bu nedenle, deneyi aynı foil ile bu defa Cd-kılıf içinde tekrar etmek için en az bir gece (14-15 saat) bekleyin. Yeterli deney zamanınız yoksa, bu bekleme süresinden kaçınmak için foil seti içinden yedek bir özdeş In-foili seçerek kullanınız. Ancak bu foilin ağırlığının farklı olabileceğine dikkat ediniz. Sertifikasındaki ağırlığı ölçerek kontrol ediniz ve saflık derecesini hesaplarınızda dikkate alınız. Bu amaçla, In_2O_3 ışınlamanız söz konusu ise, benzer şekilde **ikinci bir küçük NAA deney tüpünü** In_2O_3 ile doldurarak hazır duruma getiriniz.

12. Epitermal nötron etkilerini elemine etmek için Foili Cd- kılıf içine konularak tekrar ışınlayın ve Madde 8-11 arasındaki işlemleri tekrar ediniz. Sonuçları Çizelge 2'ye kaydediniz. Kadmiyum kılıf içinde ışınlan foil özgül aktivitelerini A_{sp}^{Cd} ve bunlara bağlı tepkime hızlarını R_{sp}^{Cd} ve belirsizliklerini hesaplayınız.

Çizelge-2: Kadmiyum Kılıf var iken yapılan ışınlamadan $^{115}\text{In}(n,\gamma)^{116\text{m}}\text{In}$ tepkimesi için elde edilen deneysel veriler

Enerji (keV)	Yayınlanma olasılığı P_γ (%)	Deneysel verim ϵ_{foil}	Net Pik sayımı*, N_p	Kadmiyum Kılıf yok iken Hesaplanan Özgül aktivite**, A_{sp}^{Cd} (sayım/s/g) (Eşitlik 12)	Kadmiyum Kılıf yok iken Hesaplanan Reaksiyon Hızı**, R_{sp}^{Cd} (tepkiye sayısı/atom/s) (Eşitlik 14)
416,86	27,7 (12)				
818,7	11,5 (4)				
1097,3	56,2 (11)				
1293,54	84,4 (17)				
1507,4	9,96 (34)				
1753,8	2,45 (9)				
2112,1	15,5 (4)				
<p>*: Ortam doğal fon sayımı çıkarıldıktan sonra elde edilen değer. **: Pik sayım istatistiği %1'den daha kötü olan pik sayım değerleri veren fotopikleri ağırlıklı ortalama değerlerine dahil etmeyiniz.</p>					$\langle R_{sp}^{Cd} \rangle =$

13. Termal nötron akısını belirlemeden önce, sayım sitemindeki ölçme konumunuzda dedektör fotopik verimini (full-energy peak efficiency=FEP) nokta kaynaklar için belirleyiniz. Verim ölçme yöntemi Deney 7'de açıklanmıştır ve verim belirsizlik hesabı da ayrıntılı olarak verilmiştir. Nokta kaynak verimini foil geometrisine dönüştürmek için nokta kaynaklar yapılan ölçümlere gerekli olan geometrik düzeltmeyi uygulayınız. Kaynak-dedektör mesafesi $d=30$ mm, foil yarıçapı, $r_s=12,7$ mm seçilirse ve mevcut Ortec n-tipi Ge dedektör kristalinin çapı, $R_D=34,95$ mm olduğu varsayıldığında deneysel olarak belirlenecek $\epsilon_p(30\text{mm})$ verim

değerleri $F_{\text{foil}}=0,848$ faktörüyle çarpılarak yaklaşık foil geometrisi için verimler $\varepsilon_{\text{foil}}(30\text{mm})$ hesaplanır. Böylelikle enerjiye bağımlı foil geometrisi için FEP eğrisini çizin ve bunu termal akı hesaplanmasında kullanmanız gerekecektir. Küçük silindirik deney tüpünü ölçümlerinizde kullanırsanız, önceden belirlediğiniz kaynak-dedektör mesafesinde $d=30$ mm, $\varepsilon_{\text{tüp}}(30\text{mm})$ verimini çok nüklitli ölçümleme kaynağı kullanarak belirleyiniz

Not-9: Deney 7’de $\varepsilon_{\text{tüp}}(30\text{mm})$ verimini belirlediyseniz, verim eğrisinden elde ettiğiniz verileri kullanınız.

14. Eşitlik (16)’yı kullanarak $\Phi_0=2200$ m/s termal akıyı ölçtüğünüz konum için belirleyiniz. Akı hesabındaki tüm belirsizlikleri hesaba katınız ve toplam belirsizliği hesaplayınız. Ortalama termal nötron akısının, $\Phi_{\text{th}} = 1,128 \times \Phi_0$ eşitliğinden, $\Phi_0=2200$ m/s Westcott termal akısından %12,8 daha yüksek olduğunu not ediniz.

1. Özgül aktivitenin belirlenmesi

Özgül aktivite, herhangi bir numunenin nötron kaynağında veya reaktörde ya da hızlandırıcıda nötronlarla bombardımanı sonucu oluşan tepkimenin türüne göre, t_i ışınlama, t_d bekleme ve t_m sayım siteminde ölçmede geçen sürenin (saat zamanı) hesaba katılmasıyla birlikte gama spektrometresinde elde edilen gama spektrumunun analizinden alınan net sayım değerlerinden hesaplanabilir. Bunun için numune içerisindeki ilgilenilen elementin oluşan nüklitlerinin karakteristik gama ışınlarının öncelikle bilinmesi gerekir. Bunun için bozunma veri tabanlarından yararlanılır. Ek-3’de bazı tepkimeler için nükleer veriler verilmiştir. Daha sonra ilgilenilen elementin birim kütlesi başına gama spektrumunun verdiği net sayımdan aşağıdaki gibi basitçe hesaplanır:

a) Numune çıplak olarak ışımlandığında: $A_{sp} = \left[\frac{N_p/t_c}{wSDC} \right]$ (11)

Veya

b) Numune kadmiyum kılıf içinde ışımlandığında: $A_{sp}^{Cd} = \left[\frac{N_p/t_c}{wSDC} \right]$ (12)

Burada,

A_{sp} = Numune çıplak ışınlandığında elde edilecek özgül aktivite (sayım/s/g)

A_{sp}^{cd} = Numune kadmiyum kılıf içinde ışınlandığında elde edilecek özgül aktivite (sayım/s/g)

t_c = sayım süresi (s)

w =ışınlanan elementin miktarı (g)

N_p = Gama spektrumunda fotopikin altındaki Compton sürekliliği (Compton continuum background) ve varsa ayrıca pik bölgesindeki ortam doğal fon etkisinin (peaked-background) çıkarıldığı net sayım

S =Doyum (saturasyon) faktörü, seçilen t_i ışınlama süresinde Şekil-2’de gösterildiği gibi, doyum aktivitesinin, yani elde edilebilecek maksimum aktivitenin yüzde kaçına ulaşıldığını gösteren ışınlamayla ilgili bir düzeltme katsayısıdır ve $S = 1 - e^{-\lambda t_i}$ ifadesinden hesaplanır.

D = Bozunma (decay) faktörü, ışınlamadan sonra numunenin dedektörde sayılıncaya kadar geçen t_d bekleme süresindeki kayıpları düzelten bir katsayıdır ve $D = e^{-\lambda t_d}$ ifadesinden hesaplanır.

C =Ölçme faktörü, sayım süresince radyoaktif bozunmaya uğrayan radyonüklitlerin kaybını hesaba katan bir düzeltme katsayısıdır ve $S = \frac{1 - e^{-\lambda t_m}}{\lambda t_m}$ ifadesinden hesaplanır.

2. Atom başına tepkime hızının belirlenmesi

Eşitlik (10)’dan bozunma başına gama yayınlanma olasılığı, P_γ (foton/bozunma) ve ilgilenilen gama enerjisi için dedektörün numune geometrisindeki (bu deneyde foil geometrisi için ϵ_{foil} alınacak) hesaba katıldığı dedeksiyon verimi, ϵ_p dikkate alınarak:

$$\text{Çıplak ışınlanan numune için } R_s = \frac{A_{sp} M}{\theta N_{Av} P_\gamma \epsilon_p} \quad (13)$$

Veya

$$\text{Kadmiyum kılıf içinde ışınlanan numune için } R_s^{Cd} = \frac{A_{sp}^{Cd} M}{\theta N_{Av} P_\gamma \varepsilon_p} \quad (14)$$

Eşitliğinden hesaplanır. Atom başına reaksiyon hızı, numune içindeki elementin bir veya birden fazla sayıda bulunabilecek izotopları için farklı değerlere sahip olacaktır.

3. Termal nötron akısının belirlenmesi

Herhangi bir izotop için atom başına tepkime hızı (reaction rate), hem termal hem de epitermal nötronlardan gelen katkının toplamıdır. Bu atom başına tepkime oranı hesabı, Høgdahl kabulüne (convention) göre (Høgdahl,1965):

$$R_s = G_{th} \cdot \Phi_0 \cdot g_T \cdot \sigma_0 + G_{epi} \cdot \Phi_{epi} \cdot I_0(\alpha) \quad (15)$$

Şeklinde tanımlanır. Burada, Φ_0 : $v_0=2200$ m/s hıza (yani 0,025eV enerjili) sahip nötronların Westcott termal akısı, Φ_{epi} : Birim enerji başına epitermal nötron akısı, σ_0^{th} :2200 m/s hıza (yani 0,025eV enerjili) sahip nötronlar için tesir kesiti g_T =Westcott faktörü (nispeten nötron sıcaklığına da bağlı ve nüklitlere göre değişebilen tesir kesinin termal bölgede $1/v$ davranışından sapmasının derecesi) ve $I_0(\alpha)$: Spektrumun biçimine(α -şekil parametresi ayrıca belirlenir) bağımlı rezonans bölgesindeki epitermal nötronların integral tesir kesitidir ve $I_0(\alpha) = (1\text{eV})^\alpha \times \int_{0,55\text{eV}}^{\infty} \sigma(E) dE / E^{1+\alpha}$ şeklinde tanımlıdır. G_{th} ve G_{epi} : Sırasıyla numune içinde termal ve epitermal nötron öz soğurulma faktörleridir. Eşitlik 15'deki, termal akı,

$\Phi_{th} = v_0 \cdot \int_0^{E_{Cd}=0,55\text{eV}} n'(E) dE$ Şeklinde tanımlanır. Burada, $n'(E)$: birim enerji aralığı başına nötron yoğunluğudur.

Aynı ışınlama ve ölçüm koşullarında, yani daima aynı numune-kaynak geometrisinde, bu kez foil kadmiyum kılıf içine konularak ışınlandığında, genellikle 1 mm kalınlığındaki kadmiyum 0,55 eV'ın altında kalan termal nötronları soğuracağından numune sadece epitermal nötronlar tarafından ışınlanacaktır. Buna göre, kadmiyum kılıf içerisinde ışınlanan elementin izotopu için reaksiyon hızı:

$R_s^{Cd} = \frac{\Phi_{epi} \cdot I_0(\alpha)}{F_{Cd}}$ Olacaktır. Burada, F_{Cd} : Epitermal nötronlar için kadmiyumun transmisyona katsayısıdır. Yukarıda verilen eşitlikler, yeterince veya birim hacimdeki atom sayısı 10^{18} cm^{-3} düzeyinde seyreltilmiş veya $\Sigma_a t < 0,1$ (Σ_a =Makroskobik soğurma tesir kesiti (cm^{-1}), ve t =foil kalınlığı (cm) koşulunu sağlayan numuneler için yüksek bir doğrulukla geçerlidir. Bu nedenle G_{th} ve G_{epi} faktörleri Ek-4 ve Ek-5'deki gibi hesaplanabilir. Ancak bu deneylerde mertebelerinin tahmin edilmesi için hesaba katılması beklenecektir. Yukarıdaki eşitlikler düzenlenirse, $v_0=2200 \text{ m/s}$ hızına eşdeğer termal akı:

$$\Phi_0 = \frac{1}{G_{th} g_T \sigma_0} [R_s - G_{epi} R_s^{Cd} F_{Cd}] \quad (16)$$

Eşitliğinden belirlenir. Ancak termal akı

$$\Phi_{th} = \int_0^{\infty} n(v) \cdot v \cdot dv = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \cdot n v_0 = 1,128 \cdot \Phi_0 \quad (17)$$

Tanımı gereği (ASTM E261,1998) $\Phi_0=2200 \text{ m/s}$ termal akısından %12,8 daha yüksek olarak hesaplayınız.

Bu amaçla, 10^3 - 10^{14} nötron/ cm^2/s akı yoğunlukları aralığında uygun bir monitör (In, Au, Mn) seçilir ve monitör element kadmiyumuz (R_s) ve kadmiyum kılıflı (R_s^{Cd}) atom başına tepkime hızları ölçülür. Buradaki F_{Cd} , G_{th} ve G_{epi} nötron öz soğurma faktörlerinin hesabında kullanılan yöntemlerden G_{th} hesabı için Ek-4'de kısa ve öz bilgiler verilmiştir. Ayrıntılı bilgi için literatüre başvurabilirsiniz.

Deney-3, için 21 gün içinde kendi özgün verilerinize, açıklamalarınıza ve yorumlarınıza dayalı **kişisel bir rapor** hazırlayınız.