

ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ  
TIP FAKÜLTESİ YAYINLARI  
Supplementum No. 18

**NaI (TI) KRİSTALİNİN Am-241 RADYOİZOTOBUNUN 59,6 keV'lik  
GAMALARI İÇİN DİFFERANSİYEL TESİR KESİTİNİN İNCELENMESİ**



PROFESÖRLÜK TAKDİM TEZİ  
DR. CİHAN ÖZMUTLU  
1982

# NaI(Tl) KRİSTALİNİN Am-241 RADYOİZOTOBUNUN 59,6 keV'lik GAMALARI İÇİN DIFFERANSİYEL TESİR KESİTİNİN İNCELENMESİ

Dr. Cihan ÖZMUTLU\*

## ÖZET

Am-241 radyoizotobunun yayınladığı 59,6 keV enerjili gama ışınlarının, talyum aktive edilmiş sodyum iyodür kristali, alüminyum ve bakır, ortamlardan saçılması, saçılma açısının  $24^\circ$  ile  $144^\circ$  arasındaki değerleri için incelenmiştir. Differansiyel "Coherent" ve "Incoherent" saçılma tesir kesitlerinin bakır için değerleri "Form Faktörü" ve "Saçılma Fonksiyonu" yaklaşımları ile kuramsal olarak elde edilmiştir. Tesir kesit kuramsal değerlerinin denel verilerle karşılaştırılmasıyla, her bir saçılma açısı için denel tertip kalibre edilmiştir. Böylece, talyum aktive edilmiş sodyum iyodür kristalinin, differansiyel tesir kesiti, 59,6 keV enerjili gamalar ve on bir farklı saçılma açısı için mutlak olarak elde edilmiştir. Bileşik maddeler için differansiyel tesir kesitinin elde edilmesinde kullanılabilecek kuramsal bir model takdim edilmiş ve model denel değerlerle karşılaştırılmıştır.

## SUMMARY

### Determination of Differential Scattering Cross Section of NaI (Tl) Crystal for 59,6 keV Gamma Rays of Am-241

Scattering of 59,6 keV gamma rays of Am-241 radio active isotope by thallium activated sodium iodide crystal, aluminium and copper have been determined for scattering angles between  $24^\circ$  and  $144^\circ$ . Differential coherent plus incoherent scattering cross section values for copper have been obtained theoretically, by means of "form factor" and "scattering function" calculations. Comparing the experimental data with the theoretical cross section values for copper, the experimental arrangement has been calibrated for each scattering angle. So, absolute values of differential cross section of thallium activated sodium iodide crystal for 59,6 keV gamma rays for eleven scattering angles have been obtained. A theoretical model to calculate differential scattering cross section of compounds has been introduced and it has been compared with the experimental data.

\* Bursa Üniversitesi Tıp Fakültesi Medikal Fizik Doçenti.

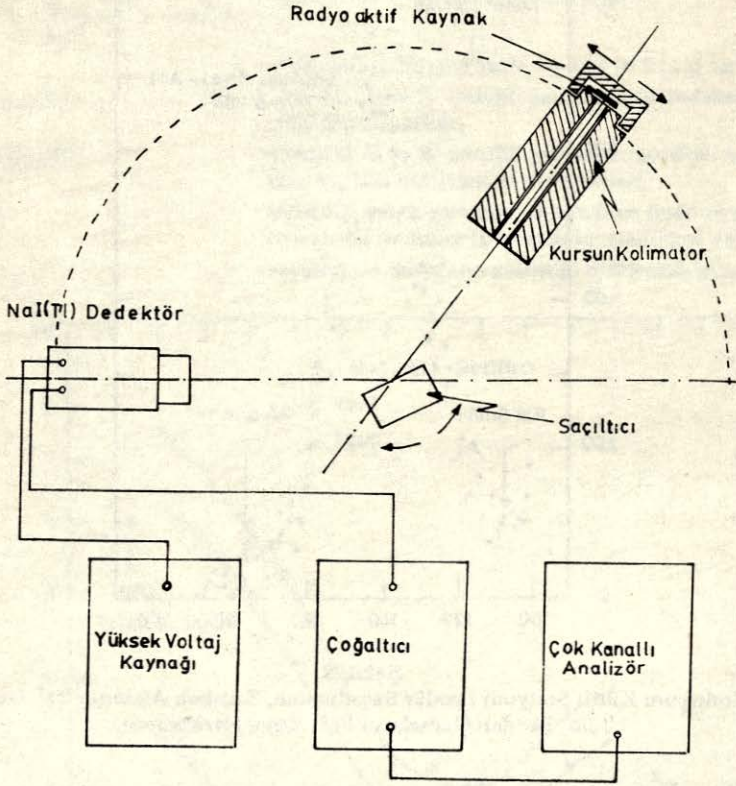
Gama ışınlarının madde ile etkileşmeleri arasında saçılma olayı, özellikle düşük enerjilerde büyük önem taşır. Atoma bağlı elektronlardan gamaların coherent ve incoherent saçılması pek çok araştırıcının ilgisini çekmiştir. Bu hususta pek çok çalışmaya rastlamak mümkündür<sup>1-6</sup>. Kuramsal çalışmalarda, çeşitli yaklaşımlarla gamaların, sadece element halindeki atoma bağlı elektronların saçılmaları incelenmektedir. Bileşik maddeler için bu tür çalışmalara rastlanmamaktadır. Element halindeki atomlara bağlı elektronlardan coherent ve incoherent saçılma tesir kesiti denel değerlerine yaygın olarak rastlandığı halde, bileşik maddelere ait bu tür denel veriler nadirdir.

Talyum aktive edilmiş sodyum iyodür kristalleri, gama ışınlarının dedeksiyonunda yaygın olarak kullanılırlar. Dedektörlerin gama cevap fonksiyonlarının elde edilmesinde, dedektör materyelinin gama tesir kesitlerinin, özellikle differansiyel tesir kesitinin bilinmesi büyük önem taşır. Bu çalışmada NaI(Tl) kristalinin, Am-241 radyoizotobunun 59,6 keV'lik gamaları için, 24°-144° saçılma açısı bölgesinde, coherent artı incoherent saçılma tesir kesiti incelenmiştir.

## MATERYAL ve METOD

1 mm alüminyum ile kaplı sodyum iyodür kristali (NaI + Al), bakır (Cu) ve alüminyum (Al) saçılıcı numuneler olarak seçilmiştir. (NaI + Al) ve (Cu) aynı silindirik geometriye sahiptirler. Silindirlerin çapları ve yükseklikleri 2 inç (5,08 cm) değerindedir. Alüminyum saçılıcı 1 mm kalınlığında ve 2 inç çapında disk geometriye sahiptir. Gama kaynağı, 10 mC. şiddetindeki Am-241 radyoizotobu, silindir şeklindeki bir kurşun şild dibine yerleştirilmiştir. Kurşun silindir şild, silindir eksenini boyunca kolimatör boşluğu içermektedir. Am-241 radyoizotobu, kurşun kolimatörü ile birlikte, yatay bir çubuk üzerine yerleştirilmiştir. Çubuk bir düşey eksen etrafında 360° dönebilecek şekilde mafsallanmıştır. Saçılıcı numune, bir tutucu yardımı ile, bu düşey eksen üzerine, düşey eksen saçılıcısının taban dairesinin ortasından geçecek şekilde yerleştirilmiştir. Saçılıcı numune de düşey eksen etrafında 360° dönebilecek şekilde mafsallanmıştır. 2x2 inç'lik NaI(Tl) kristalli bir dedektör gama sayıcısı olarak kullanılmıştır. Dedektör, yatay olarak, yerleştirilmiştir. Şekil-1 de denel tertip ile gama dedeksiyonunda kullanılan elektronik, şema halinde verilmiştir. Radyoaktif kaynak kolimatörü eksenini ile dedektör simetri eksenini saçılıcı tabanının ortasında kesişecek şekilde geometrik tertip ayarlanmış ve herbir deneyde, saçılıcının taban yüzey normali kaynak-saçılıcı-dedektör açısının açı ortayı konumu korunmuştur.

Radyoaktif kaynak, kolimatörü ile birlikte, düşey eksen etrafında 12° lik açı adımlarıyla, saçılıcı numune ise aynı düşey eksen etrafında 6° lik açı adımlarıyla döndürülmüştür. Böylece saçılma açısının 24°, 36°, 48°, 60°, 72°, 84°, 96°, 108°, 120°, 132° ve 144° değerleri için deney tekrarlanmıştır. Saçılan gamalar 2x2 inç'lik NaI(Tl) kristali içeren sintilasyon sayaçlı bir gama spektrometresi yardımı ile dedekte edilmiştir. Böylece, her bir saçılma açısı için saçılan gama spektrumu elde edilmiştir. Her bir spektrum 2.10<sup>3</sup> sn lik sayım sonucunda elde edilmiştir ve aynı süre için tabii fon sayımları spektrumlarından çıkartılmıştır. Böylece saçılmış gamaların net puls yüksekliği spektrumları, her bir numune için ve yukarıda anılan on bir

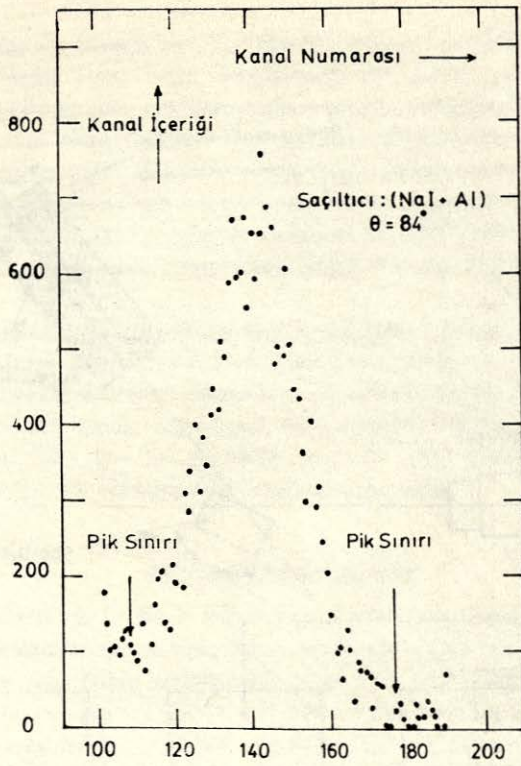


Şekil: 1  
Denel Tertibin Şematik Görünümü

saçılma açısı için elde edilmiştir. Saçılma açısının  $84^\circ$  değeri için (Na + Al) saçılıcıdan saçılan gamaların net puls yüksekliği spektrumu Şekil-2 de verilmiştir.

Coherent ve incoherent olarak saçılan gamaların spektrometre tarafından tespit edilen toplam adetleri, tüm foto peek'i içeren kanalların içeriklerinin toplamı olarak elde edilmiştir. Bu toplam sayımlar  $N(\theta)$ , her üç saçılıcı için (NaI + Al), (Cu) ve (Al), saçılma açısına bağlı olarak Şekil-3 de verilmiştir.

Şekil-4 de, dilim geometriye sahip bir saçılıcıdan gama saçılması şema halinde verilmiştir. Şekil-4'ün yardımı ile, spektrometrenin, coherent ve incoherent olarak saçılan gamalar nedeniyle biriktirdiği toplam sayma için aşağıdaki ifadeyi yazmamız mümkündür.



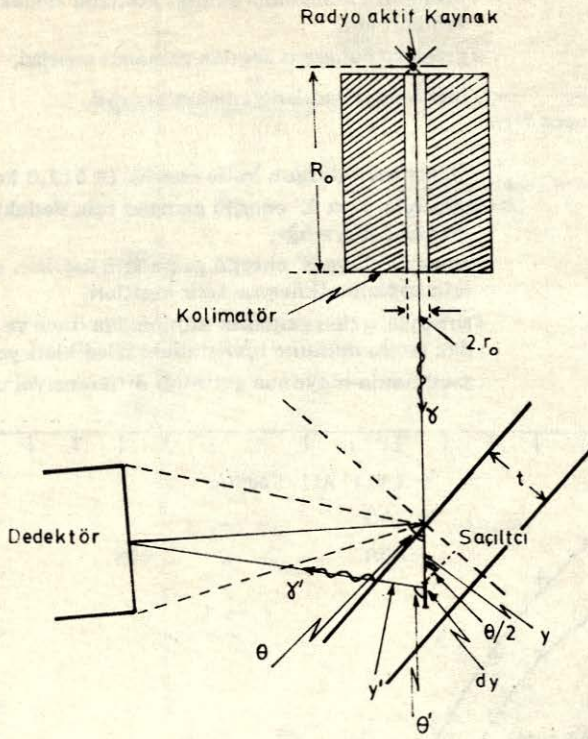
Şekil: 2  
Alüminyum Kılıflı Sodyum İyodür Saçılıcıdan, Saçılma Açısının 84° Değeri İçin, Saçılan Gamaların Puls Boyu Spektrumu.

$$N(\theta) = S \cdot \frac{r_0^2}{4 \cdot R_0^2} \cdot T \left\{ \int_0^{y_0} \frac{d\mu_c}{d\Omega} \cdot \Omega(\theta') \cdot \epsilon(E) \cdot \exp[-\mu(E) \cdot (y + y')] dy + \int_0^{y_0} \frac{d\mu_{inc}}{d\Omega} \cdot \Omega(\theta') \cdot \epsilon(E') \cdot \exp[-\mu(E) \cdot y + \mu(E') \cdot y'] dy \right\} \quad (1)$$

Burada,

S (par/Sn)	: radyoaktif kaynak şiddeti,
$r_0$ (cm)	: kalimatör yarıçapı,
$R_0$ (cm)	: kalimatör uzunluğu,
T (Sn)	: sayım süresi,
$y_0 = t/\sin(\theta/2)$	: dilimin çapraz kalınlığı,
t (cm)	: dilimin dik kalınlığı,
$\theta'$	: saçılma açısı,
$d\mu_c/d\Omega$ (1/cm.sr)	: birim katı açı başına, differansiyel coherent saçılma tesir kesiti,
$d\mu_{inc}/d\Omega$ (1/cm.sr)	: birim katı açı başına, differansiyel incoherent saçılma tesir kesiti,





Şekil: 4  
Dilim Geometriye Sahip bir Saçılıcıdan Gama Saçılması

"Dedektörün, E ve E' enerjili gamalar için intrinsic duyarlıkları aynıdır" ve "saçılıcının çapraz kalınlığı boyunca saçılma açıları aynı değerdedir ve  $\theta$  ya eşittir" veya "y ve y' uzunlukları eşittir" yaklaşımlarını varsayabilirsek, denklem-1'i integre edip, aşağıdaki sonucu elde etmemiz mümkün olur.

$$N(\theta) = T.K(\theta).B \left[ \frac{d\mu_c}{d\Omega} + A \cdot \frac{d\mu_{inc}}{d\Omega} \right] \quad (2)$$

Burada,

$$K(\theta) = \frac{4 \cdot R_0^2}{S \cdot r_0^2 \cdot \Omega(\theta) \cdot \epsilon(E)}$$

$$B = 1 - \frac{1}{2\mu(E)} \cdot \exp - 2\mu(E) \cdot y_0 \quad \text{ve}$$

$$A = \left\{ 1 - \frac{1}{\mu(E) + \mu(E')} \cdot \exp - [\mu(E) + \mu(E')] \cdot y_0 \right\} / B.$$

Elementler için, differansiyel coherent ve incoherent saçılma tesir kesitleri, "form faktörü" ve "incoherent saçılma fonksiyonu" yaklaşımları yardımı ile kuramsal olarak elde edilebilirler<sup>7</sup>).

$$\frac{d\mu_c}{d\Omega} (1/\text{cm sr}) = \frac{\rho \cdot N_0}{M} F^2(x, Z) \cdot \frac{d\sigma_T(\theta)}{d\Omega} \quad (3)$$

$$\frac{d\mu_{inc}}{d\Omega} (1/\text{cm sr}) = \frac{\rho \cdot N_0}{M} \cdot S(x, Z) \frac{d\sigma_{KN}(\theta)}{d\Omega} \quad (4)$$

Burada,

$$\frac{d\sigma_T(\theta)}{d\Omega} = \frac{r_e^2}{2} (1 + \text{Cos}^2\theta) \quad : \text{elektron başına differansiyel Thomson saçılma tesir kesiti, (Cm}^2\text{),}$$

$$F(x, Z) \quad : \text{atomik form faktörü,}$$

$$\frac{d\sigma_{KN}(\theta)}{d\Omega} = \frac{r_e^2}{2} \left[ 1 + \text{Cos}^2\theta + \frac{k^2(1 - \text{Cos}\theta)^2}{1 + k(1 - \text{Cos}\theta)} \right] / [1 + k(1 - \text{Cos}\theta)]^2$$

: elektron başına differansiyel Klein-Nishina saçılma tesir kesiti,

$$k = E(\text{keV})/511,0$$

: elektron durgun kütle enerjisi biriminde gama enerjisi

$$S(x, Z)$$

: incoherent saçılma fonksiyonu

$$r_e = e^2/m_e c^2$$

: klasik elektron yarıçapı ( $r_e^2 = 0.0794 \cdot 10^{-24} \text{Cm}^2$ )

$$x = \text{Sin}(\theta/2)/\lambda$$

:  $\theta$  ve  $\lambda$  ya bağımlı parametre

$$\lambda (\text{Å})$$

: Angstrom biriminde gamanın dalga boyu

$$Z$$

: Elementin atom numarası

$$M$$

: Elementin kütle numarası

$$\rho$$

: Elementin yoğunluğu

$$N_0$$

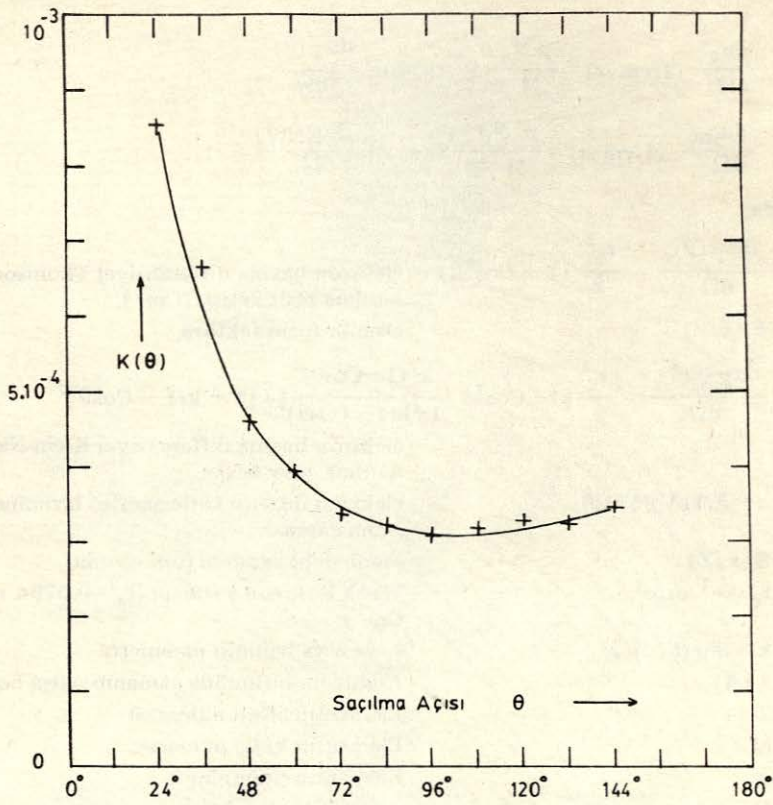
: Avagadro sayısı ve

$$e$$

: Elektronun yükü.

Denklem 3 ve 4'ün yardımı ile, Cu için anılan saçılma açısı değerlerinde, differansiyel coherent ve incoherent saçılma tesir kesit değerleri elde edilmiştir. "Atomik Form Faktörü" ve "Incoherent Saçılma Fonksiyonu" yaklaşımlarının bu uygulamasında,  $F(x, Z)$  ve  $S(x, Z)$ 'in elementler için tabule edilmiş değerleri kullanılmıştır<sup>7</sup>. Bundan ayrı olarak, Bakır için, E ve E' enerjili gamaların toplam etkileşme tesir kesitleri  $\mu(E)$  ve  $\mu(E')$  değerlerinin kullanılmasıyla<sup>8</sup>, A ve B katsayıları hesaplanmıştır. Böylece, denklem-2'nin yardımı ile saçılma açısı bağımlı  $K(\theta)$  sabiti her bir saçılma açısı için elde edilmiştir.  $K(\theta)$  sabitinin, saçılma açısına bağlı değişimi Şekil-5 de verilmiştir.





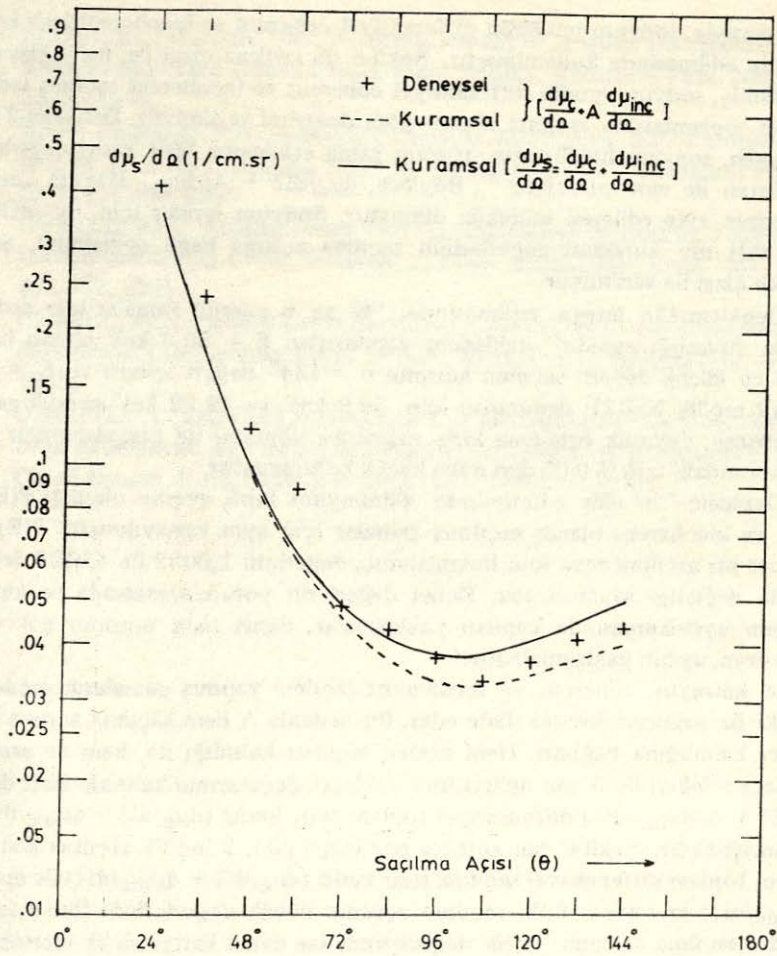
Şekil: 5  
Denel Düzenek Sabiti  $K(\theta)$ 'nin Saçılma Açısı  $\theta$ 'ya Bağlı Değişimi

### SONUÇ ve TARTIŞMA

(NaI + Al) saçılıcı durumda, spektrometrenin biriktirdiği, tabii fon çıkartılmış saymalar, alüminyum kılıftan saçılan gamalar ile NaI kristalinden saçılmış ve de alüminyum kılıfı geçebilmiş gamalar tarafından meydana getirilmiştir. Bu düşünceye dayalı olarak, (NaI + Al) ve (Al) saçılıcılarından elde edilen toplam sayma değerlerinin farkı için, denklem-2 nin yardımı ile aşağıdaki bağıntıyı elde edebiliriz.

$$[N(\theta)]_{\text{NaI} + \text{Al}} - [N(\theta)]_{\text{Al}} = T.K(\theta).B.P(E). \left[ \frac{d\mu_c}{d\Omega} + A. \frac{d\mu_{inc}}{d\Omega} \right]_{\text{NaI}} \quad (5)$$

Burada,  $P(E) = \exp - \mu(E).y_0$ , NaI kristalinden saçılmış bir gamanın alüminyum kılıfı, hiç bir etkileşme yapmadan geçme olasılığıdır.  $y_0$  ve  $\mu(E)$ , sırasıyla, alüminyum kılıfın çapraz kalınlığı ve E enerjili gamalar için toplam tesirleşme tesir kesitidir.  $P(E)$  ve B değerleri sırasıyla alüminyum kılıf ve NaI kristali için, toplam gama etkileşme tesir kesiti değerlerinin <sup>8</sup>, kullanılmasıyla hesaplanmıştır. Böylece, NaI kristali için  $d\mu_c/d\Omega + A(d\mu_{inc}/d\Omega)$  değerleri, saçılma açısına karşılık, denklem-5'in yardımı ile elde edilmiştir. NaI kristali için  $d\mu_c/d\Omega + A(d\mu_{inc}/d\Omega)$  nin saçılma açısına bağlı değişimi Şekil-6 da verilmiştir.



Şekil: 6  
Sodyum İyodürün Toplam Diferansiyel Saçılma Tesir Kesitinin Saçılma Açısına Bağlı Değişimi

Denklem 3 ve 4 ile verilen, "Atomik Form Faktörü" ve "İncoherent Saçılma Fonksiyonu" yaklaşımları ile, yeni bir uygulama olarak, sodyum iyodür kristali için diferansiyel coherent ve incoherent tesir kesitlerinin elde edilmesi mümkün olabilir. Kimyasal bir bileşik veya karışım madde için kütle zayıflama katsayısının elde edilmesinde kullanılan yaklaşım aşağıdaki ifade ile verilir <sup>8</sup>.

$$\mu/\rho = \sum_i W_i \cdot \mu_i/\rho_i \quad (6)$$

Burada,  $W_i$ , i ninci bileşenin ağırlık oranıdır. Örneğin, sodyum iyodür (NaI) durumunda,  $W_{Na} = 22,99/149,89$  ve  $W_I = 126,90/149,89$  olarak elde edilir. Denklem-6, sodyum ve iyodun, diferansiyel coherent ve incoherent saçılma tesir kesitlerinin

kullanılmasıyla, sodyum iyodürün differansiyel coherent ve incoherent tesir kesitlerinin elde edilmesinde kullanılmıştır. Şekil-6 da kırksız çizgi ile, bu yaklaşmayla elde edilmiş, sodyum iyodür differansiyel coherent ve incoherent saçılma tesir kesitlerinin toplamalarının saçılma açısına göre değişimi verilmiştir. Denklem-2 de ki A katsayısı, sodyum iyodür için, toplam gama etkileşme tesir kesiti değerlerinin kullanılması ile elde edilmiştir <sup>8</sup>. Böylece,  $d\mu_c/d\Omega + A(d\mu_{inc}/d\Omega)$ 'nin kuramsal değerlerinin elde edilmesi mümkün olmuştur. Sodyum iyodür için,  $d\mu_c/d\Omega + A(d\mu_{inc}/d\Omega)$  nin kuramsal değerlerinin saçılma açısına bağlı değişimini, Şekil-6 da kırıklı çizgi ile verilmiştir.

Denklem-1'in integre edilmesinde, "E' ve E enerjili gamalar için dedektör intrinsic duyarlığı aynıdır" yaklaşımı yapılmıştır. E = 59,6 keV olması halinde E' nün en küçük değeri, saçılma açısının  $\theta = 144^\circ$  değeri içindir ve E' = 49,22 dir. 2x2 inç'lik NaI(Tl) dedektörü için, 59,6 keV ve 49,22 keV enerjili gamalar için intrinsic duyarlık ortalama giriş uzunluğu yöntemi ile hesaplanmıştır <sup>9</sup>. İki değer arasındaki fark % 0,05 den daha küçük bulunmuştur.

Denklem-5'in elde edilmesinde, alüminyum kılıfı geçme olasılığı P(E), coherent ve incoherent olarak saçılmış gamalar için aynı varsayılmıştır. P(E)/P(E') oranı her bir saçılma açısı için hesaplanmış, değerinin 1,0032 ile 1,0132 değerleri arasında değiştiği saptanmıştır. Denel değerlerin yorumlanmasında ve kuramsal ifadelerin uygulanmasında yapılan yaklaşımlar, denel hata sınırının çok altında fark getiren, uygun yaklaşımlardır.

A katsayısı, coherent ve incoherent saçılma yapmış gamaların saçılıcı ortamdaki öz soğurma kesirini ifade eder. Bu nedenle A hem saçılma açısına hemde saçılıcı kalınlığına bağlıdır. Hem azalan saçılıcı kalınlığı ile, hem de azalan saçılma açısı değeri ile A nın değeri bire yaklaşır. Saçılıcının kalınlığı fazla değil ise  $d\mu_c/d\Omega + A(d\mu_{inc}/d\Omega)$  differansiyel toplam tesir kesiti  $(d\mu_c/d\Omega + d\mu_{inc}/d\Omega)$  olarak varsayılabilir. Şekil-6 dan kolayca görüldüğü gibi, 2 inç'lik saçılıcı kalınlığına rağmen, toplam differansiyel saçılma tesir kesiti  $(d\mu_c/d\Omega + d\mu_{inc}/d\Omega)$  ile  $d\mu_c/d\Omega + A(d\mu_{inc}/d\Omega)$  arasındaki fark, saçılma açısının küçük değerlerinde ihmal edilebilir değerlerde, saçılma açısının büyük değerlerinde ise denel katiyetsizlik mertebesinde-dir.

## KAYNAKLAR

1. NAKAYUMA, K., KIKUTA, S. and KOHRA, K.: Determination of X-Ray Structure Factors From Half-Value Widths of Diffraction Curves Obtained With the Triple-Crystal Arrangement. Phys. Lett. A 37, 29-30, 1971.
2. SMED, F., SCHUMACHER, M. and BORCHENT, I.: The Z-Dependence of the Elastic Scattering of Gamma Rays. Nucl. Phys. A 213, 309-316, 1973.
3. ROY, S.C., MATH, H. and GHOSE, A.M.: Measurement of Coherent Scattering Cross-Sections of Gamma Rays at Very Low Momentum Transfer. Nucl. Instr. and Meth. 131, 163-166, 1975.
4. MURTY, D.S.R., REDDY, V.D., NARASIMHACHARYULU, E. and SWANTY, S.T.P.V.J.: Inelastic Scattering of 279-keV Gamma Rays by Bound Electrons in Heavy Atoms. Radiation Phys. NBS SP 461, 26-28, 1977.

5. SINHA, B., CHDUDHURI, N.: Measurement of Angular Distribution of Incoherently Scattered Gamma Rays From Atoms. Radiation Phys. NBS SP 461, 55-56, 1977.
6. BABA PRASAD, P.N., BASAVARAJU, G. and KANE, P.P.: Compton Scattering of 1.12 MeV Gamma Rays by K-Shell Electrons. Radiation Phys. NBS SP 461, 67-69, 1977.
7. HUBELL, J.H.: Atomic Form Factors, Incoherent Scattering Functions and Photon Scattering Cross Sections. J. Phys. Chem. Ref. Data Vol. 4, No 3, 471-537, 1975.
8. HUBELL, J.H.: Photon Cross Sections, Attenuation Coefficients and Energy Absorption Coefficients From 10 keV to 100 GeV. NSRDS-NBS (U.S.) 29, 1969.
9. ÖZMUTLU, C. and ORTAOVALI, A.Z.: Calculation of Total and Full Energy Peak Efficiencies of Ge(Li) and Na(Tl) Detectors by Introducing the Mean Chord Length. Nucl. Instr. and Meth. 133, 149-155, 1976.