

DEDEKTÖRÜ GÖREN VE NUMUNEDEN GELEN RADYASYONA KOLİMATÖR KALINLIĞININ ETKİSİ

Erdoğan BÜYÜKKASAP, Hasan ERDOĞAN

Atatürk Üniversitesi Kazım Karabekir Eğitim Fakültesi- ERZURUM

Yusuf ŞAHİN

Atatürk Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi- ERZURUM

ÖZET

Atom ve çekirdek fiziğinde yapılan spektroskopi çalışmalarında, deney geometrisinin elde edilen spektrum üzerinde önemli etkileri vardır. Bu etkileri oluşturan en önemli sebeplerden birisi, istenen radyasyonun dedektörü görebilmesi, iyi bir pik şekli elde edilebilmesi ve temel saymanın azaltılması için kullanılan kolimatördür. Bu çalışmada kolimatörlerin kalınlıklarından kaynaklanan etkiler ele alınmıştır. Kolimatör kalınlığı numuneden yayılan radyasyonun dedektörü görecek katı açığı değiştirmektedir. Ayrıca kolimatör maddesinin farklı enerjilerdeki radyasyonlar için soğuruculuğunun farklı olması bazı çalışmalarda önemli etkiler meydana getirmektedir. Radyoaktif kaynaktan gelen ve numunede esnek ve esnek olmayan saçılmaya uğrayan radyasyonun dedektörü görmesine kolimatör kalınlığının önemli bir etkisi vardır. Özellikle bu etki γ ve x ışınlarının şiddet oranları ve karakteristik x ışınları şiddet oranları ile ilgili çalışmalarda daha etkin bir şekilde gözlenmektedir.

Bu çalışmada, mutlaka dikkate alınması gerektiğine inandığımız kolimatör kalınlığından kaynaklanan etkilerin teorik hesaplanması yapılmış ve bu etkilerin gi-derilmesi için görüşler öne sürülmüştür.

THE EFFECT OF THE COLLIMATOR THICKNESS ON THE RADIATION FROM SAMPLE AND SEEN BY DETECTOR

SUMMARY

The experimental geometry has important effects on the spectrum obtained in the spectroscopic studies in atomic and nuclear physics. These effects mainly come from the collimator used to obtain a good peak shape and to minimize the spectral background. Collimator changes the solid angle that sees radiations from the sample. The absorption of the collimator is different for different energies, which mainly effects the results of the experiment. The detection of the gamma rays emitted by a radioactive source and scattered elastically or inelastically by a sample is affected by collimator thickness. This effect is clearly observed especially in the γ and x-ray intensity ratios experiments.

The collimator thickness effects are theoretically calculated and some new methods proposed to reduce these effects.

1.GİRİŞ

Atom ve Çekirdek Fiziğindeki spektroskopi çalışmalarında daha iyi sonuçlar elde etmek için geometri etkilerinin göz önüne alınması gerekir. Geometri etkilerinden bir kısmı da deneylerde kullanılan kolimatörlerden kaynaklanmaktadır. Kolimatörlerin spektrum üzerindeki etkilerini minimuma indirmek ve temel saymayı azaltmak için kolimatör seçimi (1), kolimatörlerde etkin katı açının hesaplanmasına ait teorik hesaplar (2), değişebilir nötron kolimatörleri yapımı (3) ve halka kolimatöre ait düzeltme faktörlerinin hesaplanması (4) gibi çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmada halka kolimatörlerin, γ ışını şiddet oranları ve karakteristik x ışını şiddet oranları ile ilgili çalışmalarda spektrum üzerindeki etkisinin hesaplanması ile bu etkilerin giderilmesi için yapılması gerekenler ele alınmıştır.

2.METOD VE HESAPLAMALAR

2.1. Kalın Bir Kolimatörde Merkez Eksenden Uzaklığa Göre Alan Değişimleri

İlgili hesapları yapmak için kolimatör boşluğu a yarıçapında ve l yüksekliğinde bir silindir ile gösterilmiştir. (Şekil 1). Kolimatör deliğinden d kadar yukarıda ve Z ekseninden r uzaklıktaki bir P noktasında bulunan bir nokta kaynağa dikkate alınmıştır. Bu nokta aynı zamanda numune içindeki küçük bir hacim elemanına karşılık gelmektedir. Kolimatör kalınlığı l nin d nin yanında ihmal edilemeyecek kadar büyük olmasından dolayı, kolimatörün O' dairesinin P noktasından gelen ışınlar göre XY düzleminde izdüşümü olan O'' dairesini dikkate almak gerekir. O dairesi ise XY düzlemi içerisinde kolimatörün alt dairesini göstermektedir. Bu durumda kolimatör alanı olarak O ve O'' dairelerinin ortak kısmı olan taranmış alanın r nin fonksiyonu olarak hesaplanması gerekmektedir. O'' izdüşümü dairesinin O dairesine göre XY düzlemindeki kayma miktarı Δ kadardır. Bu durumda P deki hacim elemanından çıkan fotonlar taranmış alandan geçerek sayaca varacaklardır. Bundan dolayı bu taralı alanı gören katı açının PP' ağırlık merkezinin belirtilmesi gerekmektedir. Şekil 1'de OP' uzaklığı δ ile belirtilmiş ve P' noktası taranmış bölgenin ağırlık merkezi olarak kabul edilmiştir. $r \leq a$ değerleri için kolimatör alanının XY düzlemi içerisindeki değeri

sabit olup $S_1 = \pi a^2$ dir. Şekilde ele alınan durumda $r > a$ dır.

Şekilden a' ve Δ değerleri için

$$a' = \frac{d}{d-1} a \quad (1)$$

$$\Delta = \frac{1}{d-1} r \quad (2)$$

elde edilir.

O ve O" dairelerinin denklemleri sırasıyla

$$X^2 + Y^2 = a^2 \quad (3)$$

$$(X+\Delta)^2 + Y^2 = a'^2 \quad (4)$$

olup iki dairenin kesişme noktasının ordinatı

$$Y_{12} = \left(a^2 - \frac{(a'^2 - a^2 - \Delta^2)^2}{4\Delta^2} \right)^{1/2} \quad (5)$$

dır. Ayrıca

$$\begin{aligned} S(OQRT) &= \int_0^{y_1} (a^2 - y^2)^{1/2} dy = 1/2 [y(a^2 - y^2)^{1/2} + a^2 \sin^{-1} y/a]_0^{y_1} \\ &= 1/2 [y_1(a^2 - y_1^2)^{1/2} + a^2 \sin^{-1} y_1/a] \end{aligned} \quad (6)$$

ve

$$\begin{aligned} S(OQR'S) &= \int_0^{y_1} [(a'^2 - y^2)^{1/2} - \Delta] dy \\ &= 1/2 [y_1(a'^2 - y_1^2)^{1/2} + a'^2 \sin^{-1} y_1/a'] - \Delta y_1 \end{aligned} \quad (7)$$

ile verilir. Böylece O dairesinin O" ile çakışan bölgesi dışındaki alanı

$$\begin{aligned}
 S_2(r) &= S_1(r) - 2 [S(OQRT) - S(OQR'S)] \\
 &= \pi a^2 - [y_1 (a^2 - y_1^2)^{1/2} + a^2 \sin^{-1} y_1/a'] \\
 &\quad - [y_1 (a^2 - y_1^2) + a^2 \sin^{-1} y_1/a - 2 \Delta y_1] \quad (8)
 \end{aligned}$$

olur.

$S_2(r)$ formülü y_1 in $\pm a$ değerlerine kadar geçerli olup bölge sınırları $a' / (d-1) \leq \Delta \leq (a'^2 - a^2)^{1/2}$ dir.

Δ nın $(a'^2 - a^2)^{1/2}$ den büyük değerleri için O ve O" dairesinin konumları Şekil 2'de gösterilmiştir.

R'R-N'N doğruları ve RTN-R'SN' yayları ile sınırlanmış olan $S_3(r)$ alanını bulmak için S(VQR) alanının dört katının $S_2(r)$ alanından çıkarılması gerekmektedir. Yani

$$\begin{aligned}
 S(VQR) &= 1/2 [y_1 (a^2 - y_1^2)^{1/2} + a^2 \sin^{-1} y_1/a] \\
 4 \times S(VQR) &= \pi a^2 - 2 [y_1 (a^2 - y_1^2)^{1/2} + a^2 \sin^{-1} y_1/a] \quad (9)
 \end{aligned}$$

ve böylece

$$\begin{aligned}
 S_3(r) &= S_2(r) - 4.S(VQR) \\
 S_3(r) &= [y_1 (a^2 - y_1^2)^{1/2} + a^2 \sin^{-1} y_1/a'] \\
 &\quad + [y_1 (a^2 - y_1^2)^{1/2} + a^2 \sin^{-1} y_1/a - 2\Delta y_1] \quad (10)
 \end{aligned}$$

elde edilir.

Böylece üç ayrı bölge için alanlar hesaplanmıştır. Aşağıda bu değerler özetlenmiştir.

Kolimatör alanı	Tarifli olduğu bölge
$S_1(r)$	$0 \leq \Delta \leq a' / (d-1)$
$S_2(r)$	$a' / (d-1) \leq \Delta \leq (a'^2 - a^2)^{1/2}$
$S_3(r)$	$(a'^2 - a^2)^{1/2} \leq \Delta \leq (a+a')$

Kolimatör alanı ağırlık merkezini belirleyen δ değeri, $\cos \zeta$ değerinin hesaplanmasında düzeltme faktörü olarak kullanılacaktır. $\cos \zeta$ değeri

$$\cos \zeta = \frac{d}{[(r+\delta)^2 + d^2]^{1/2}} \quad (11)$$

ile verilir. Burada $\delta \ll r < d$ olduğundan δ nın minimum ve maksimum değerleri arasındaki bir interpolasyon bütün deney hata sınırları içerisinde geçerlidir. Şekil 3, δ nın lineer kabul edilen değişimini göstermektedir. R' değeri $S(r)$ alanının sıfır olduğu $\Delta = a+a'$ değerine karşılık olan numune yarıçapı olup, $R' = a/1 (2 d-1)$ dir. Böylece d nin r ile değişimi

$$d = \frac{1}{2(d-1)} (r-a) \quad (12)$$

ile verilir.

2.2. Katı Açının Foton Enerjisi İle Değişimi

Numuneden farklı enerjili gelen fotonlar için kolimatör maddesinin soğurma katsayısının farklı olması sebebiyle kolimatör kıyılarından geçme ihtimaliyetleri farklı olup bu da doğrudan doğruya katı açığı değiştirmektedir. Bu değişim iki bölgede incelenebilir.

1) $0 \leq r \leq a$ bölgesinde :

Şekil 4'te gösterilen A noktasında düşeyle Q açısı yaparak gelen bir fotonun, yatay düzlemdeki bir ψ açısı için kolimatör maddesi içinden geçeceği DE kalınlığı

$$DE = \frac{d}{\cos Q} - \frac{k_0}{\sin Q} \quad (13)$$

olarak hesaplanmıştır. Burada

$$k_0 = (a^2 - r^2 \sin^2 \psi)^{1/2} - r \cos \psi \quad (14)$$

dir.

Diferansiyel katı açrı, Sin Q dQ dψ olup kolimatör katı açısına oranı

$$\frac{(d^2 + r^2)^{3/2}}{\pi a^2 d} \sin Q \cdot dQ \cdot d\psi \quad (15)$$

dir.

A noktasından her hangi bir Q açısı ile gelen bir fotonun D E kalınlığının geçmesi ihtimaliyetinin açık kolimatör yüzeyinden geçme ihtimaliyetine oranı , ψ için integral o ile π aralığında hesaplandığında

$$I(r;sa) = \frac{2(d^2+r^2)^{3/2}}{S_1(r)d} \int_{\text{tg}Q=k_0/d}^{\text{tg}Q=k_0/d-1} dQ \int_{\text{Cos}\psi=1}^{\text{Cos}\psi=-1} d\psi \cdot \exp\{-\mu(d/\text{Cos}Q - k_0/\text{Sin}Q)\} \text{Sin}Q \quad (16)$$

elde edilir.

2) $a < r \leq R$ bölgesinde :

Şekil 5'de görüldüğü gibi D'E' kalınlığı kolimatörün A'' ne yakın kısmı için,

$$D'E' = \frac{k_1}{\text{Sin}Q} - \frac{d-1}{\text{Cos}Q} \quad (17)$$

olarak hesaplanmıştır. Burada

$$k_1 = (a^2 - r^2 \text{Sin}^2 \psi)^{1/2} - r \text{Cos} \psi \quad (18)$$

dir. Burada integrasyonu iki ayrı bölgede hesaplanması gerekmektedir. Birinci bölge a ve a' dairelerinin kesim noktasının tayin ettiği ψ açısına kadardır. Buradaki integrasyonun değeri

$$I_1 = \frac{2[(r+\delta)^2 + d^2]^{3/2}}{d \cdot S_1(r)} \int_{\text{tg}Q=k_1/d}^{\text{tg}Q=k_1/d-1} dQ \int_{\text{Cos}\psi=1}^{\text{Cos}\psi=2d-1/2r[r^2 - a^2/d(d-1)]^{1/2}} d\psi \cdot \exp\{-\mu [(k_1/\text{Sin}Q) - (d-1)/\text{Cos}Q]\} \text{Sin}Q \quad (19)$$

olarak hesaplanmıştır.

A'J' den geçen düşey düzlemin kolimatör silindirene teğet olduğu

durumun tayin ettiği ψ değeri ise $\text{Cos}\psi = (r^2 - a^2)^{1/2}/r$ olup ikinci kısım için I,

$$I_{11} = \frac{2[(r+\delta)^2 + d^2]^{3/2}}{d \cdot S_1(r)} \int_{\text{tg}Q=k_1/d}^{\text{tg}Q=k_2/d} dQ \int_{\text{Cos}\psi=2d-1/2r[r^2-a^2/d(d-1)]^{1/2}}^{\text{Cos}\psi=(r^2-a^2)^{1/2}/r} d\psi \cdot \exp\{-\mu [(k_1/\text{Sin}Q) - (d-1)/\text{Cos}Q]\} \text{Sin}Q \quad (20)$$

olarak hesaplanmıştır. Burada

$$k_2 = (a^2 - r^2 \text{Sin}^2 \psi) + r \text{Cos} \psi \quad (21)$$

dir.

Fotonun DE kalınlığını geçme ihtimaliyetinin, açık kalimatör yüzeyinden geçme ihtimaliyetine oranı yine iki ayrı kısım için hesaplanmıştır. Yukarıdakine benzer şekilde I_2 ve I_{22} ifadeleri,

$$I_2 = \frac{2[(r+\delta)^2 + d^2]^{3/2}}{d \cdot S_1(r)} \int_{\text{tg}Q=k_2/d}^{\text{tg}Q=k_2/d-1} dQ \int_{\text{Cos}\psi=1}^{\text{Cos}\psi=2d-1/2r[r^2-a^2/d(d-1)]^{1/2}} d\psi \cdot \exp\{-\mu [(d/\text{Sin}Q) - (k_2/\text{Cos}Q)]\} \text{Sin}Q \quad (22)$$

$$I_{22} = \frac{2[(r+\delta)^2 + d^2]^{3/2}}{d \cdot S_1(r)} \int_{\text{tg}Q=k_1/d}^{\text{tg}Q=k_2/d-1} dQ \int_{\text{Cos}\psi=2d-1/2r[r^2-a^2/d(d-1)]^{1/2}}^{\text{Cos}\psi=(r^2-a^2)^{1/2}/r} d\psi \cdot \exp\{-\mu [(d/\text{Cos}Q) - (k_2/\text{Sin}Q)]\} \text{Sin}Q \quad (23)$$

şeklinde elde edilir.

Gerek yakın ve gerekse uzak bölgedeki kolimatör maddesinden geçen fotonlar için

$$I_m = \frac{2[(r+\delta)^2 + d^2]^{3/2}}{d \cdot S_1(r)} \int_{\text{tg}Q=k_2/d}^{\text{tg}Q=k_1/d-1} dQ \int_{\text{Cos}\psi=2d-1/2r[r^2-a^2/d(d-1)]^{1/2}}^{\text{Cos}\psi=(r^2-a^2)^{1/2}/r} d\psi \cdot \exp\{-\mu [(d/\text{Cos}Q) - (k_2-k_1)/\text{Sin}Q]\} \text{Sin}Q \quad (24)$$

olarak elde edilir. Bu durumda $a < r \leq R$ bölgesi için,

$$I(r > a) = I_1 + I_{11} + I_2 + I_{22} + I_m \quad (25)$$

olur.

Böylece, kalın kolimatör kullanıldığı zaman hesaplara dahil edilecek olan düzeltme faktörleri

$$\begin{aligned} 0 \leq r \leq a \text{ bölgesi için } f_{\Omega}(E) &= 1 + I (r \leq a) \\ a < r \leq R \text{ bölgesi için } f_{\Omega}(E) &= 1 + I (r > a) \end{aligned} \quad (26)$$

şeklinde ifade edilebilir.

3.Sonuç ve Tartışma

Teorik olarak yaptığımız hesapların sonuçlarına göre, spektroskopi çalışmalarında deneylerde kullanılan kolimatörlerin spektrum üzerinde ihmal edilmeyecek etkileri mevcuttur. Bu etkileri minimuma indirmek için pratik bir yol; şiddet oranı ile ilgili çalışmalarda gerekli olan dedektör verim eğrisi kullanılırken teorik verim eğrisinin yerine standart kaynaklar kullanılarak elde edilen deneysel verim eğrisinin kullanılmasıdır. Verim eğrisini deneysel olarak tayin ederken numune yüzeyi kadar etkin yüzeye sahip standart kaynaklar deney geometrisinde numune pozisyonunda bulundurulursa elde edilen eğri geometrik etkiler ihtiva edecektir. Teorik verim eğrisinin kullanıldığı durumda geometri etkilerini ayrıca hesaba katmak gerekmektedir.

Şekil 1 : a yarıçapına ve z yüksekliğine sahip kalın bir kolimatör. p noktası numune içindeki küçük bir hacim elemanını temsil etmektedir.

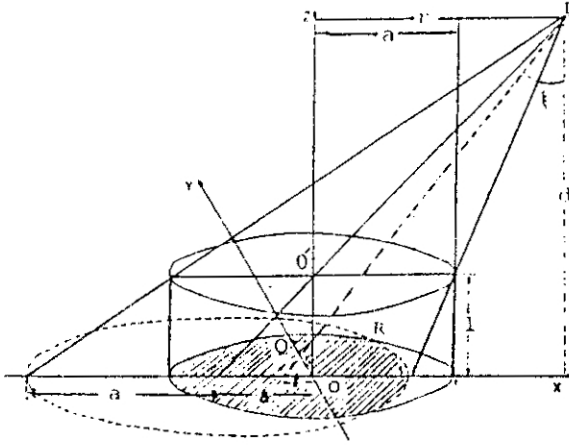
Şekil 2 : Kalın kolimatörde Δ nın $(a'^2 - a^2)^{1/2}$ den büyük değerleri için O ve O'' dairelerinin konumları

Şekil 3 : δ (OP') nın R' ile değişimi

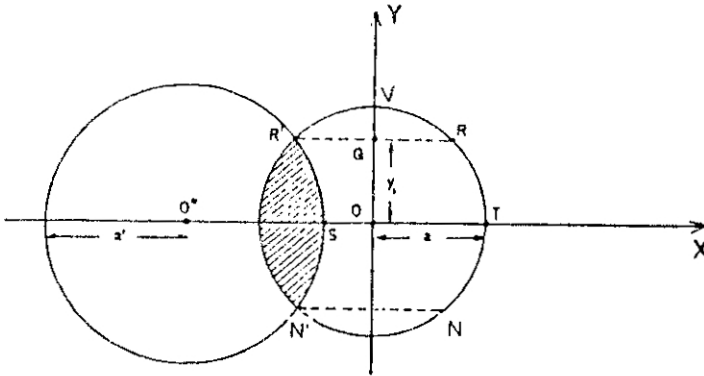
Şekil 4 : $0 \leq r \leq a$ bölgesinde katı açının değişimi

Şekil 5 : $r > a$ bölgesinde katı açının gösterimi.

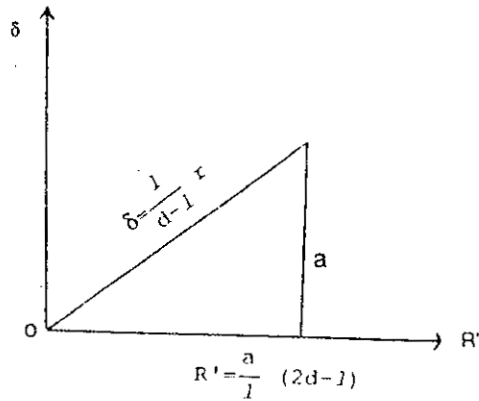
E.BÜYÜKKASAP, Y.ŞAHİN, H.ERDOĞAN/DEDEKTÖRÜ GÖREN VE NUMUNEDEN GELEN RAD.



Şekil 1 :



Şekil 2 :



Şekil 3 :

E.BÜYÜKKASAP, Y.ŞAHİN, H.ERDOĞAN/DEDEKTÖRÜ GÖREN VE NUMUNEDEN GELEN RAD.

.KAYNAKLAR

- [1] H. L. Halm and et. al., Nucl. Instr. and Meth. 223 (1984) 420
- [2] A.C. Shotter and et. al., Nucl. Instr. and Meth. 180 (1981) 201
- [3] R. A. Hill, Nucl. Instr. and Meth. 206 (1983) 537
- [4] H. Erdoğan, Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi Erzurum (1976)