

ARAŞTIRMA MAKALESİ /RESEARCH ARTICLE

^{226}Ra ve ^{241}Am RADYOİZOTOPLARININ BOZUNMALARINI TAKİP EDEN γ - ve X-İŞİMLERİNİN YAYINLANMA OLASILIKLARI

Paşa YALÇIN¹

ÖZ

Bu araştırmada, ^{226}Ra ve ^{241}Am radyoizotopların bozunması ile oluşan gelen γ ve X-ışınlarının yayınlanma olasılıkları deneysel olarak ölçüldü. ^{226}Ra ve ^{241}Am radyoizotoplarının spektrumlarının alınmasında, aktif alanı 12 mm^2 , kalınlığı 3 mm ve $5,95\text{ keV}$ de yarı maksimumdaki tam genişliği (FWHM) 160 eV olan Si(Li) yarı iletken dedektörü ile bağlı bulunduğu elektronik sistem kullanılmıştır. Yarıiletken Si(Li) dedektörün fotopik verimi standart radyoizotop kaynaklar kullanılarak yaklaşık 2 keV ile 450 keV enerji aralığı için elde edildi. Bu çalışmanın sonuçları literatürdeki mevcut teorik ve deneysel sonuçlarla karşılaştırıldı. Bizim sonuçlarımızla elde edilen literatür sonuçları arasında iyi uyum gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: ^{226}Ra ; ^{241}Am ; X- ve γ -ışını yayınlanma olasılıkları, α bozunma süreçleri; K ve L X-ışını yayınlanması.

EMISSION PROBABILITIES OF X- AND γ -RAYS FOLLOWING ^{226}Ra and ^{241}Am DECAY

ABSTRACT

In this work, emission probabilities of K X- and γ -rays following the decay of ^{226}Ra and ^{241}Am were precisely measured. An electronic device system connected to a Si(Li) semi-conductor detector is used for building spectra. Detector has 12 mm^2 of active area and 3 mm of thickness, and 160 eV of full width at half maximum (FWHM) at 5.95 keV . The photopeak efficiency of the Si(Li) semiconductor detector was determined experimentally for about $2\text{--}450\text{ keV}$ energy range by using standard sources. Results of this study have been compared with the theoretical values and other available experimental results in the literature. Good agreement was observed between our results and other available experimental results and theoretically calculated values.

PACS: 23.20.Lv

Keywords: ^{226}Ra ; ^{241}Am ; X-rays emission probabilities; γ -rays emission probabilities; α decay processes; K and L X-rays emission.

¹Erzincan Üniversitesi Eğitim Fakültesi İlköğretim Bölümü 24030, Erzincan, TÜRKİYE.
E-posta: pasayalcin@hotmail.com; **Tel:** +90-446-2240089, **Faks:** +90-446-2231901

1. GİRİŞ

Radyoaktif bozunma ile γ -ışını yayınlanması ve bu bozunmayı takip eden K ve L X-ışını yayınlanma olasılıklarının ölçülmesi; bilimsel araştırmalarda, sanayide, uzay araştırmalarında, tarımda ve insan hayatının birçok alanında genişçe kullanılmaktadır. Gama-ışınları ile K ve L X-ışınları için yayınlanma olasılıklarının önemini ifade eden bazı hususları şu şekilde sıralayabiliriz:

1- Atomik tabakalarda boşluk oluşturmada ve bu tabakaların floresans verim gibi temel atomik parametrelerini belirlemede kullanılan hesaplama metodlarının geçerlilik derecelerini kontrol etmek için kullanılır (Klaus H. Ecker 2000).

2- Numunelerdeki analit ile atomun kimyasal çevresi K ve L X-ışını yayınlanma spektrumu ile eksiksiz olarak anlaşılabilir. X-ışını spektrumunda, rölatif şiddet, çizgi genişliği, geçiş enerjisi ve moleküler bağ şekli gibi kimyasal etkiler için birçok deneysel ve teorik çalışma yapılmıştır.

3- K, L ve M X-ışını yayınlanma olasılıkları ve yayınlanma oranlarının bilinmesi, spektrum çözümlemede, spektrumda yığılma etkisi, kaçak pik etkisi ve Auger etkisi gibi istenmeyen etkilerin azaltılması, hesaplama ve ölçümlerin güvenilirliğinin sağlanmasında oldukça faydalı bilgiler sağlar.

4- Çeşitli enerji aralıklarına sahip farklı radyoizotop test kaynakları ve karakteristik X-ışını yayınlanmaları kullanılarak farklı amaçlar için hazırlanmış dedektörlerin enerji kalibrasyonları yapılır.

5- Gama ve X-ışını yayınlanmaları ile metal ve kristal yüzey etkileri, ince yapıların atom ve elektronik özelliklerinin (özellikle katıhal aletleri için) incelenmesi de yapılır.

6- Foton ve parçacıklar ile X-ışını yayını meydana getirilmesi sonucu deneysel olarak araştırılan numunelerde eser element tayini ve kalitatif-kantitatif madde analizi yapılır.

7- Gama-ışını, K, L X-ışını yayınlanmaları ve X-ışını floresans analiz yöntemleri; temel atomik çalışmalarda, nükleer uygulamalarda, tıpta hastalıklı hücrelerin teşhis ve tedavisinde, sağlık fiziği için dozimetrik hesaplamalarda, eczacılıkta, biyolojik ve çevresel numunelerin

nicelik ve nitelik bakımından incelenmesinde, tarım ürünlerinin bakteriyolojik bozunmalarının önlenmesinde, tohumların erken çimlenmesinde, bitkilerde biyolojik ve fizyolojik değişiklikler meydana getirmede yaygın olarak kullanılmaktadır.

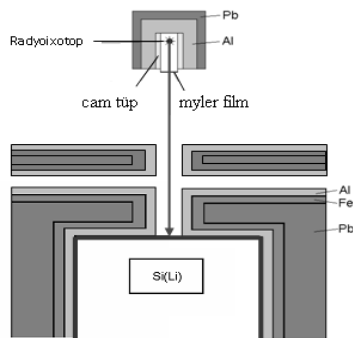
Bir nükleer çekirdeğin bozunum şeması için X-ışını ve Auger elektron yayınlanma olasılıklarının tüm veri tabanlarının bilinmesi gerekir. Şayet bozun şeması ve atomik düzey verilerinin (floresans verim ve bağlı yayınlanma olasılıkları gibi), yani geçiş olasılıkları için kabul edilen verileri elde edilirse γ ve X-ışını yayınlanması ile Auger elektron olasılıkları bu verilerden hesaplanabilir. Bu şekilde hesaplanan teorik veriler ölçülen verilerle karşılaştırılabilir. Bu konudaki en önemli çalışmalardan birisi Schönfeld ve Schötzig (2001) ikilisi tarafından yapılmıştır. Bu çalışmada K, L X-ışınlarının yayınlanma olasılıklarının hesaplanması için "EMISSION" adlı bir program geliştirilmiştir. Bu programın geçerliliği ilgili araştırmacılar (Lepy *vd.* 1993) tarafından 6 radyoaktif çekirdek kullanılarak denenmiştir. Programın hesaplama yöntemi atomik düzey verilerine dayanmaktadır. Debertin ve Schötzig (1977) γ ve X-ışını pik alanlarının hesabının Gauss ve Lorentzian fonksiyonlarına uyan, uyum fonksiyonu için bir model geliştirmişlerdir.

Cohen (1988) ²⁴¹Am kaynağından yayınlanan X-ışını yayınlanmalarını ve onların rölatif şiddet oranlarını yayınlamıştır. Büyükkasap *vd.* (1994) radyoaktif bozunmayı ve fotoiyonizasyonu takip eden karakteristik $K\beta/K\alpha$ şiddet oranları üzerine bir çalışma yapmışlardır. Siegert *vd.* (1990) gama ışını pik alanlarının belirlenmesi için bir model geliştirmiş olup bu modele göre, üstel ifadelerdeki parametrelerden γ -ışını pik alanlarını 0,1 ile 1,8 MeV aralığında belirlemişlerdir. Bland *vd.* (1992) pikleri fit etmek için basit bir metot kullanarak ²⁴¹Am ve ²³⁹Pu L X-ışını şiddetlerini belirlemişlerdir. Lepy *vd.* (1993, 1994) ile Johnston (1996) ²⁴¹Am için yayınlanma olasılıklarının verilerini, ²⁴¹Am, ²³⁹Pu ve ²⁴⁰Pu çekirdeklerinin L X-ışını yayınlanma olasılıklarının teorik ve deneysel karşılaştırmasını yapmışlardır. Schönfeld *vd.* (2000) radyoaktif bozunma olaylarından sonra meydana gelen X-ışını ve Auger elektron yayınlanma olasılıklarını çalışmışlardır. Fazinic (1996) L alt tabakalarında bağlı X-ışını yayınlanma oranlarını çalışmış ve bu çalışmada elde ettiği sonuçları ilk elde edilen teorik ve deneysel verilerle karşılaştırmıştır.

^{226}Ra ve ^{241}Am radyoizotop kaynakların, radyoaktif bozunma ile γ -ışını yayınlanması ve bu bozunmayı takip eden K ve L X-ışınları için yayınlanma olasılıklarının ölçülmesi bu çalışmanın temel amacı olmuştur.

2. DENEYSEL HESAPLAMALAR

Deney geometrisi Şekil 1. de verilmiştir. Bu çalışmada spektrumların alınmasında, aktif alanı 12 mm^2 ve kalınlığı 3 mm ve 5,95 keV de yarı maksimumdaki tam genişliği (FWHM) 160 eV olan yarı iletken Si(Li) dedektörü ile bağlı bulunduğu elektronik sistem kullanılmıştır. Temel sayma etkilerini azaltmak için, dedektörün kafasına zırh olarak, pencere çapı 4 mm ve toplam kalınlığı 10 mm olan iç-içe geçirilmiş (içten dışarı doğru Al-Fe-Pb) bir kolimatör takılmıştır. Radyoaktif kaynağın kurşun ve demiri uyarması sonucu bu kolimatör maddelerinden yayınlanan karakteristik X-ışınları spektrumda istenmeyen pikler oluşturabilmektedir. Bu durumun önlenmesi için, kurşun kolimatörün karakteristik X-ışınlarını tutabilecek demir kolimatör, demirden yayınlanan karakteristikler için ise alüminyum kolimatör kullanılmıştır. Sayımlarda, radyoizotop-dedektör mesafesi; kaynak aktiviteleri dikkate alınarak sayım istatistiğine uygun olarak ayarlanmıştır. 6, 12 ve 24 saatlik numuneli ve numunesiz sayımlar alınmıştır. Laboratuvar ortamından temel sayıma gelebilecek istenmeyen katkıları önlemek için dedektör sayma sisteminin çevresi hareketli hale getirilmiş kurşun bloklarla kapatıldı. Kullanılan radyoizotopların, deney sırasında kolay işlem yapmak için, numuneler uçları mayler filmle kapatılan 5 mm uzunluğunda ve 2 mm çapındaki cam boruların içlerine konuldu. Bu şekilde hazırlanan numune kapları, kurşun kolimatörün karakteristik K ve L X-ışınlarını kolime etmek için 7 mm çaplı ve 15 mm uzunluğunda kurşun içinde bulunan alüminyum kolimatörün içine verleştirilmiştir.



Şekil 1. Deney geometrisi

DeneySEL olarak yayınlanma olasılığı hesaplarında Lepy vd. (1993) tarafından verilen

$$p(E_i) = \frac{N(E_i)C}{A\varepsilon(E)} \quad (1)$$

bağıntı kullanıldı. Bu bağıntıdaki niceliklerin tespiti için şu yol izledi: $N(E)$; E enerjili pikin net sayım hızı olup, değeri 10000 sayımın üstünde olan pikler için pik sayımının standart sapmasını ve 10000 sayımın altındaki değerler için pik alanının belirlenmesinde %2 lik hata payları hesaba katılarak elde edildi. Spektrum verileri Origin 6.1 programı yardımıyla hesaplandı. Bu ifadedeki A, araştırmada numune olarak kullanılan radyoizotop kaynakların aktiviteleridir. Bu numuneler için aktivite ölçümü Atatürk Üniversitesi Tıp Fakültesi Nükleer Tıp Bölümünde radyoizotop aktivite ölçüm cihazında deneySEL olarak ölçüldü. C düzeltme çarpanı; deney geometrisi verilerine bağlı olarak hesaplandı. Bu faktörü hesaplarken (Cohen 1980)

$$C(E) = \frac{\Omega_1}{\Omega_0} = \left(1 + \frac{B}{d}\right)^2 \quad (2)$$

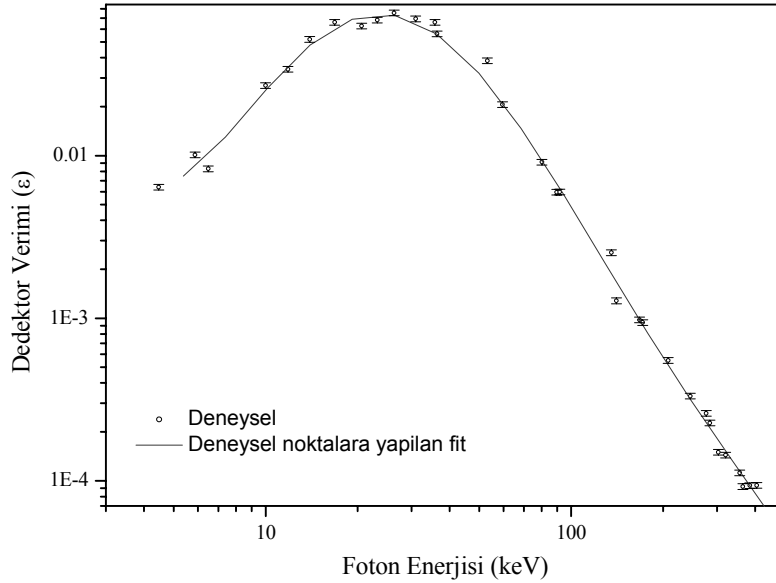
bağıntısı kullanıldı. Burada Ω_0 etkin katı açı olup; Ω_1 ve Ω_2 gelen fotonların enerjilerine bağlı katı açıları arasındadır. $\Omega_1 = \pi r^2/d^2$ ve $\Omega_2 = \pi r^2/(d+\delta)^2$ şeklindeki ifadeleriyle verilirler. d dedektörün nokta kaynaktan uzaklığıdır ve δ de dedektörün hassas kalınlığıdır. B, E enerjili fotonlar için ortalama etkin derinlik olup,

$$B(E) = \frac{1 - \exp(-\mu\delta)(1 + \mu\delta)}{\mu(1 - \exp(-\mu\delta))} \quad (3)$$

şeklinde ifade edilir. Bağıntıdaki μ Si(Li) dedektör için kütle soğurma katsayısıdır. Bu kütle soğurma katsayısı için (Cohen 1980), $E > 1,838 \text{ keV}$ de

$$\mu(E) = 4,83 \cdot 10^4 E^{-2,79} \text{ cm}^{-1} \quad (4)$$

değeri verilmiştir. Her farklı enerjili pik için gerekli $\varepsilon(E)$ değerleri, Yalçın ve Kurucu (2005) tarafından yapılan çalışmada detayları açıklanan Şekil 2 de verilmiş olan verim eğrisi kullanılarak bulunmuştur.



Şekil 2. 2 keV ile 450 keV'lik geniş enerji aralığında Si(Li) dedektörünün verim eğrisi

3. SONUÇ VE TARTIŞMA

Bu çalışmada, γ ve X-ışınlarının yayınlanma olasılıklarının deneysel ölçümlerinde ^{226}Ra ve ^{241}Am elektroliz yöntemiyle kaplı çelik radyoizotoplar kullanıldı. Bu belirtilen radyoizotopların α bozunmaları sonucunda yayılan γ , K ve L X-ışınlarının yayınlanma olasılıkları araştırıldı. Araştırma, Si(Li) yarı iletken dedektör ve bağlı olduğu elektronik düzenek yardımıyla ND 66 B çok kanallı analizör sisteminde yapılmıştır. Meydana gelen spektrumlarda radyoizotopa ait γ -ışınları ve oluşan ürün çekirdek için karakteristik pikler değerlendirilerek her bir pik için yayınlanma olasılıkları hesaplanmıştır.

Bu çalışmada kullanılan ^{226}Ra ile ^{241}Am de α bozunması ile bozunmaktadır. Her bozunana çekirdekten sonra oluşan ürün çekirdek sembolleri Çizelgelerde de verilmiştir. Çizelgelerden de görüleceği gibi numune olarak kullanılan radyoizotoplar için yayınlanma olasılıkları hem deneysel hem de teorik olarak verildi. Yapılan literatür araştırmasına göre ^{226}Ra numuneleri için γ -ışını yayınlanma olasılığı çalışılmış fakat K, L X-ışını yayınlanma olasılıkları çalışılmamıştır. Özellikle ^{241}Am radyoizotoplar için deneysel çalışmalar mevcut olup, bu çalışmada elde edilen sonuçlar

Çizelge 3 ve Çizelge 4 de literatür değerleriyle birlikte verilmiştir.

Çizelgelerin 1. sütununda radyoaktif izotopa ait bozunma biçimi, ürün çekirdeğe ait element sembolü ve yayınlanan fotonun Seigbahn gösterimi yer almaktadır. 2. sütun deneysel olarak ölçtüğümüz piklerin enerji değerleridir. 3. sütunda radyoizotopa ait gama ışını geçiş enerjileri ve ürün çekirdeğe ait yayınlanabilecek karakteristik K ile L X-ışınlarının teorik olası enerji değerleri verilmiştir. 4. sütunda piklere ait bizim elde ettiğimiz deneysel yayınlanma olasılıklarından sonraki sütunlarda, incelenen numuneye ait deneysel literatür değerleri ölçüm yıllarına göre sıralanmıştır. Deneysel literatür değerlerinden sonra, bir grup araştırmacı (Lederer 1967, Debertin 1988, Akovali 1994 ve 1996, Sergeenkov vd. 2000, Schönfeld 2001) tarafından teorik olarak verilen değerler yer almaktadır. Çizelgede her iki numuneye ait bölümün çizelge tanım satırında radyoizotopun kütle numarası ile birlikte sembolü, parantez içinde yarı ömrü (y: yılı gösterir) ve aynı satırda γ veya X-ışınlarına ait verileri belirtmek için semboller kullanılmıştır.

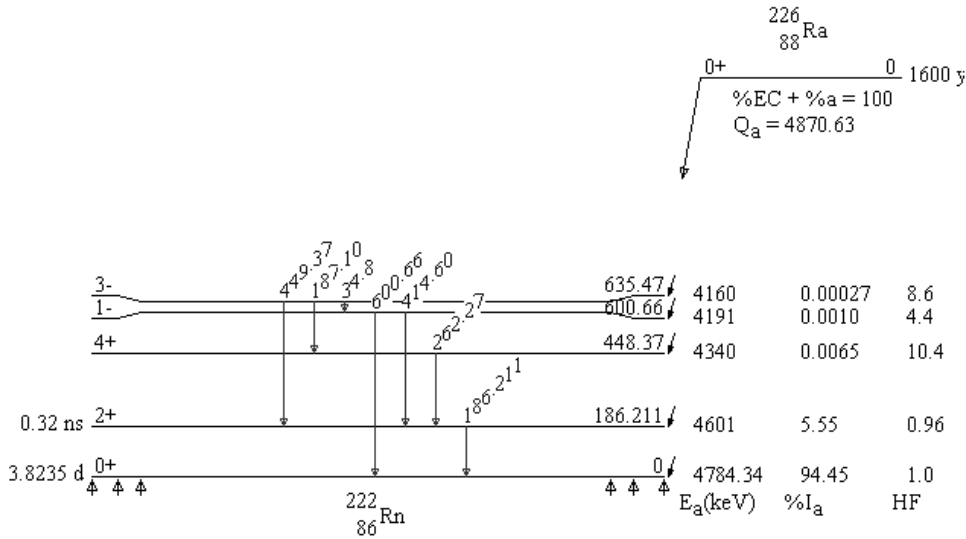
Bu çalışmada ölçülmüş deneysel enerji değerleri ile teorik enerji değerleri arasındaki fark, daha çok sistem kalibre edilirken seçilen enerji

aralığının ve kalibrasyon verilerinin hassasiyetinden kaynaklanmaktadır. Teorik değerlerle ölçülen değerler karşılaştırıldığında yüksek enerji bölgelerine gidildikçe enerji aralığı büyüdüğünden kalibrasyon değerlerindeki sapmalar büyümektedir. Bu nedenle en büyük fark yüksek enerji bölgelerindeki γ geçişlerine ait piklerde meydana gelmiş olup 60 keV altındaki enerji bölgesine ait enerjiler, teorik değere daha yakın çıkmıştır.

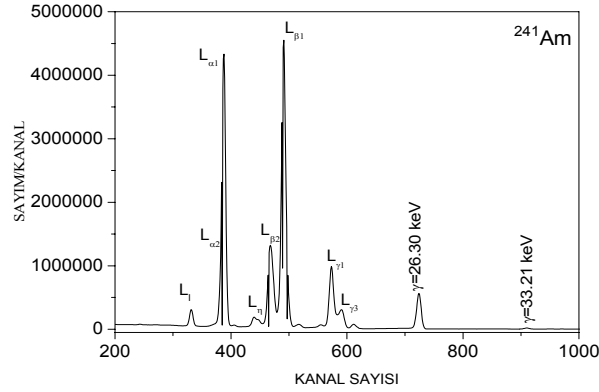
Çizelgeler incelendiğinde, hem teorik hem de deneysel olarak tespit edilen yüksek yayınlama olasılıklarına sahip karakteristik piklerde, her iki hesaplama sonucundaki uyumluluğun, dikkate alınan karakteristik pikin enerji aralığına yayınlama olasılığı yüksek başka bir pik düşmüyorsa çok iyi olduğu, fakat bu aralığa yüksek yayınlama olasılıklı başka bir pik düşüyorsa o zaman uyumsuzluğun arttığı gözlenmiştir. Özellikle ^{241}Am kaynağına ait yayımlanan karakteristik pik bölgelerinde çok açık bir şekilde bazı teorik (Akovali 1994, Schönfeld 2001) ve deneysel bulgular arasındaki farkların birbirinden çok farklı olduğu görülmüştür. ^{241}Am 'e ait 11 keV ile 22 keV enerji aralığındaki bölgede, yayınlama ihtimalleri yüksek olup ölçülebilir yaklaşık 11 karakteristik L X-ışını vardır.

Deneyde kullanılan ^{226}Ra bozunum şeması Şekil 3'de verilmiştir. Bu bozunum şemasının üzerinde; ilgili radyoizotopun bozunma biçimi, γ -ışını geçiş enerjileri, geçiş yüzdeleri, spinleri, nükleer seviye enerjileri, uyarılmış ve temel seviyelerin yarı ömürleri gibi genel bozunum bilgileri de verilmiştir. Şekil 4'de de ^{241}Am radyoizotopunun Si(Li) dedektörü ile alınan düşük enerji bölgesindeki spektrumu verilmiştir.

Deneysel bulgularda, yayınlama olasılığı büyük olan piklerin alanlarının hesaplanmasındaki belirsizlik %2'den küçük olmasına rağmen düşük yayınlama olasılıklı piklerde %2'den daha büyüktür. Kullanılan sıvı kaynakların yarı ömürleri kısa olduğu için aktivitelerinin tespitindeki belirsizlik yaklaşık olarak %3, dedektör verim kalibrasyonundaki hata %1,4'den daha az, bilinmeyen kaynaklardan gelen hata katkılarının ise %1 civarındadır. Deneysel bulgular Çizelgelerden de görüldüğü gibi genel olarak hem teorik sonuçlarla hem de literatürde verilen deneysel sonuçlarla uyum içindedir. Çok iyi sayılabilecek sonuçlar olduğu gibi, özellikle teorik değerler ile hiç uyuşmayan birkaç sonuçta vardır. Bu nedenle % hata olarak genel bir değerlendirme yapılmamıştır.



Şekil 3. Numune olarak kullanılan ^{226}Ra radyoizotop için bozunum şeması



Şekil 4. ^{241}Am radyoizotopunun Si(Li) dedektörü ile alınan düşük enerji bölgesindeki spektrumu.

Çizelge 1. ^{226}Ra (1600 y) radyoizotopundan yayınlanan γ -ışınları için teorik enerji değerleri ile bu enerjilere karşılık gelen deneysel ve teorik yayınlanma olasılıkları

Bozunma Biçimi	E_γ (keV)		P_γ (%)			
	Teorik	Bu çalışma	Deneysel Sardari et al.(2000)	Akovali (1996)	Teorik Sardari et al. (2000)	Lederer (1967)
α	186,211	3,748(4)	7,600	3,590(6)	8,560	4
	262,270	0,483(8)	0,012	0,500(5)	0,012	0,007
	414,600	1,808(3)		0,030(0)		2E-04
	449,370	0,709(6)	0,010	0,019(0)	0,010	
	600,660	0,43(2)	0,039	0,049(0)	0,038	2E-04

Çizelge 2. ^{226}Ra (1600 y) radyoizotopundan yayınlanan X-ışınları için teorik enerji değerleri ile bu enerjilere karşılık gelen deneysel ve teorik yayınlanma olasılıkları

Yayınlanan foton	E (keV) Teorik	P_x (%)	
		Bu çalışma	Teorik Akovali (1996)
Rn L_1	10,137	1,753(7)	1,56(15)
Rn $L_{\alpha 2}$	11,598		2,92(15)
Rn $L_{\alpha 1}$	11,726	25,604(11)	26(14)
Rn L_η	12,855	1,003(17)	0,8(5)
Rn $L_{\beta 6}$	13,520	0,422(15)	0,438(23)
Rn $L_{\beta 4}$	13,898	0,61 (19)	0,62 (10)
Rn $L_{\beta 2}$	14,066	6,564(6)	6,7(4)
Rn $L_{\beta 1}$	14,316	32,444(7)	32,3(18)
Rn $L_{\beta 3}$	14,519		0,67(10)
Rn $L_{\beta 5}$	14,564	0,955(13)	1,11(6)
Rn $L_{\gamma 1}$	16,770	6,847(5)	7,2(4)
Rn $L_{\gamma 2}$	17,104	0,19(22)	0,23(4)
Rn $L_{\gamma 3}$	17,258	0,28(10)	0,25(4)
Rn $L_{\gamma 6}$	17,280	1,555(8)	1,47(14)
Rn $K_{\alpha 3}$	80,349	0,0391(16)	0,0421(14)
Rn $K_{\alpha 2}$	81,069	19,31(4)	19,2(5)
Rn $K_{\alpha 1}$	83,787	30,58(16)	31,9(8)
Rn $K_{\beta 3}$	94,247	3,73(12)	3,8(10)
Rn $K_{\beta 1}$	94,868	7,171(9)	7,26(19)
Rn $K_{\beta 5}$	95,449	0,24(14)	0,238(10)
Rn $K_{\beta 2}$	97,530	2,811(3)	2,72(7)

Çizelge 3. ²⁴¹Am (432,2 y) radyoizotopundan yayınlanan γ -ışınları için teorik enerji değerleri ile bu enerjilere karşılık gelen deneysel ve teorik yayınlanma olasılıkları

Bo- zunma Biçimi	E γ (keV)		P γ (%)							
	Teorik	Bu çalışma	Deneysel					Teorik		
			Bland (1992)	Lepy (1993)	Johnston (1996)	Budak (1999)	Akovali (1994)	Schönfel d (2001)	Debertin (1988)	Lederer (1967)
α	26,3448	2,347	2,395	2,400	2,404	2,935	2,4(2)	2,400	2,400	
	32,183	0,025					0,017(4)			
	33,1964	0,184	0,1233		0,121	0,123	0,126(3)	0,121		
	43,423	0,067	0,0654			0,065	0,073(8)			
	59,5412	36.205	36,03	36	35,778	36	35,900(4)	35,780	35,900	36

Çizelge 4. ²⁴¹Am (432,2 y) radyoizotopundan yayınlanan X-ışınları için teorik enerji değerleri ile bu enerjilere karşılık gelen deneysel ve teorik yayınlanma olasılıkları

Yayınlan an foton	E (keV)		P x (%)								
	Teorik	Bu çalış- ma	Deneysel					Teorik			
			Cohen (1988)	Bland (1992)	Lepy (1993)	Lepy (1994)	Johns- ton (1996)	Budak (1999)	Akovali (1994)	Schönfel d (2001)	Debertin (1988)
Np L _I	11,871	0,848(17)	0,860	0,837	0,875	0,864	0,847	0,836	0,66(9)	0,842	0,860
Np L _{α2}	13,761	1,116(13)	0,030	1,077	1,220	0,115			1,07(11)	1,370	
Np L _{α1}	13,946	10,725(9)	13,100	11,930	11,880	11,880	13,100	13,290	9,60(10)	13,300	13,300
Np L _{η}	15,861	0,215(14)	0,380	0,377	0,354	0,369			0,15(19)	0,383	
Np L _{β6}	16,109	0,210(8)	0,244	0,237	0,212	0,246			0,18(19)	0,218	
Np L _{β2}	16,816	2,684(2)	4,620	2,846	2,780	2,590			2,50(3)	2,930	
Np L _{β4}	17,061	1,610(6)	1,800	1,740	1,670	1,760			1,50(3)	1,740	
Np L _{β5}	17,505	0,550(10)		0,316	0,450	0,465			0,65(7)	0,639	
Np L _{β1}	17,751	19,708(5)		12,110	11,880	11,600	19,300	19,300	5,70(8)	13,400	19,400
Np L _{β3}	17,992	1,323(18)		1,212	1,290	1,222			1,37(24)	1,480	
NP L _{γ5}	20,100	0,121(27)	0,114	0,109	0,110	0,121			-	0,106	
Np L _{γ1}	20,784	2,451(22)	2,920	2,973	2,880	2,840	4,770	4,930	1,39(18)	3,190	4,900
Np L _{γ2}	21,099	0,645(12)	1,650	0,432	0,486				0,65(12)	0,481	
Np L _{γ3}	21,342	0,57(18)		0,451	0,640	0,470			0,59(11)	1,100	
Np L _{γ6}	21,491	0,324(5)		0,614	0,460	0,600			0,29(4)		
Np L _{γ4}	22,120	0,223(7)	0,265		0,178	0,197				0,170	
Np L _{γ13}	22,400	0,153(11)		0,265	0,086	0,058					

KAYNAKLAR

- Akovali, Y. A., 1996. ^{226}Ra decay from. NDS 77, 433, (ENSDF, <http://nucldata.nuclear.lu.se/nucldata/toi/radSearch.asp>).
- Akovali, Y. A., 1994. ^{241}Am decay from. NDS 72, 191, (ENSDF, <http://nucldata.nuclear.lu.se/nucldata/toi/radSearch.asp>).
- Bland, C. J., Morel, J., Etcheverry, M., Lepy, M. C., 1992. Determination of ^{239}Pu and ^{241}Am L X-ray intensities using a simplex method for fitting peaks. *Nucl. Instr. and Meth. A* 312, 323-333.
- Budak, G., Karabulut, A., Şimşek, Ö. and Ertuğrul, M., 1999. Measurements of the efficiency of a Si(Li) detector in the 5,5-60 keV energy region. *Instrumentation Science ve Technology* 27 (5), 357-366.
- Büyükkasap, E., Küçükönder, A., Şahin, Y. and Erdoğan, H., 1994. $K\beta/K\alpha$ intensity ratios following radioactive decay and photoionization. *J. Radioanal Nucl. Chem. Letters* 186(6), 471-475.
- Cohen, D. D., 1988. X-rays from an ^{241}Am source and their relative intensities. *Nucl. Instr. and Meth. A* 267, 492-498.
- Debertain, K., Schötzig, U., 1977. Limitations of the pulser method for pile-up corrections in Ge(Li) spectrometry. *Nucl. Instr. and Meth.* 140, 337-344.
- Debertain, K., Helmer, R. G., 1988, Gamma and X-Ray Spectrometry with Semiconductor Detectors, Elsevier Science, 399, Amsterdam.
- Fazinic, S., 1996. Relative L X-ray emission rates in PIXE. *Nucl. Instr. and Meth. B* 109 (110), 9-14.
- Johnston, P. N., 1996. Theoretical L X-ray emission probabilities in the decay of ^{241}Am . *Nucl. Instr. and Meth A* 369, 107-112.



Paşa YALÇIN, Erzurum'da 1965 yılında doğdu. İlkokulu Bozan köyü ilköğretim okulunda orta ve lise öğrenimini Eskişehir'de tamamladı. 1987 yılında girdiği Atatürk Üniver-

sitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü'nden 1991 yılında mezun oldu. İki yıl Adıyaman Besni'de, üç yıl Erzurum'da öğretmenlik yaptı. Ekim 1995 Eylül 1998 yılları arasında Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Anabilimdalı'nda Yüksek Lisans öğrenimini tamamladı. Ekim 1998 de başladığı doktora çalışmasını 20 Şubat 2002 de aynı enstitüde tamamladı.

Atatürk Üniversitesi Erzincan Eğitim Fakültesi İlköğretim Bölümüne 1996 yılında Araştırma Görevlisi olarak atandı. Araştırma Görevlisi olarak çalışmaya başladığı aynı bölümün Fen Bilgisi Anabilim dalına Ekim 2002 de Yardımcı Doçent olarak atanmıştır. Halen bu bölümde çalışmaktadır. 4 çocuk babasıdır.