

T.C.
VAN YÜZÜNCÜ YIL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
FİZİK ANABİLİM DALI

**ATOM NUMARASI $40 \leq Z \leq 50$ ARASINDAKİ ELEMENTLERİN L
TABAKASINA AİT X-IŞINLARI ÜZERİNE COSTER-KRONİG GEÇİŞLERİN
ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAZIRLAYAN: Turgay ÖZMEN
DANIŞMANI: Doç. Dr. Rafet YILMAZ

VAN-2019

T.C.
VAN YÜZÜNCÜ YIL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
FİZİK ANABİLİM DALI

**ATOM NUMARASI $40 \leq Z \leq 50$ ARASINDAKİ ELEMENTLERİN L
TABAKASINA AİT X-IŞINLARI ÜZERİNE COSTER-KRONİG GEÇİŞLERİN
ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAZIRLAYAN: Turgay ÖZMEN

VAN-2019

KABUL VE ONAY SAYFASI

Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalı'nda, Doç. Dr. Rafet YILMAZ danışmanlığında, Turgay ÖZMEN tarafından hazırlanan "Atom Numarası $40 \leq Z \leq 50$ Arasındaki Elementlerin L Tabakasına Ait Coster-Kronig Geçişlerin Etkisi" isimli bu çalışma Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği'nin ilgili hükümleri gereğince 05/07/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile başarılı bulunmuş ve yüksek lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan: Doç. Dr. Rafet YILMAZ

İmza:

Üye: Doç. Dr. Kadir EJDERHA

İmza:

Üye: Dr. Öğr. Üyesi Abdullah ÖZKARTAL

İmza:

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunun/...../..... tarih ve
...../..... sayılı kararı ile onaylanmıştır.


Prof. Dr. Suat ŞENSOY
Enstitü Müdürü
Prof. Dr. Suat ŞENSOY
Enstitü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

(İmza)

Turgay ÖZMEN

ÖZET

ATOM NUMARASI $40 \leq Z \leq 50$ ARASINDAKİ ELEMENTLERİN L TABAKASINA AİT X- IŞINLARI ÜZERİNE COSTER-KRONİG GEÇİŞLERİN ETKİSİ

ÖZMEN Turgay
Yüksek Lisans Tezi, Fizik Ana Bilim Dalı
Tez Danışmanı: Doç. Dr. Rafet YILMAZ
Ağustos 2019, 54 Sayfa

Bu tez çalışmasında atom numarası $40 \leq Z \leq 50$ arasındaki elementlerin L tabakasına ait X-ışını Flüoresans tesir kesitleri farklı uyarılma enerjilerine göre hesaplandı. Coster-Kronig geçişler (f_{12} , f_{23} ve f_{13}) ışımaz geçişlerdir. L X-ışını flüoresans tesir kesitlerine Coster-Kronig geçişlerin etkisinden dolayı Coster-Kronig şiddetlendirme faktörleri teorik olarak hesaplandı. Elde edilen değerler, diğer araştırmacıların teorik ve deneysel değerleri ile uyum içinde olduğu görüldü.

Anahtar kelimeler : Auger verim, Flüoresans verim, Tesir kesit, X-ışınları.



ABSTRACT

THE EFFECT OF COSTER-CHRONIG TRANSITIONS ON L SHELL X-RAYS OF ELEMENTS BETWEEN ATOM NUMBER $40 \leq Z \leq 50$

ÖZMEN Turgay

M. Sc. Thesis, Department of Physics

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Rafet YILMAZ

August 2019, 54 Pages

L X-ray fluorescence cross-sections of elements in the atomic number range $40 \leq Z \leq 50$ have been calculated theoretically according to different excitation energies of elements. The Coster-Kronig transitions (f_{12} , f_{23} and f_{13}) are non-radiative transitions. The Coster Kronig enhancement factors due to the effect of Coster-Kronig transitions on L X-ray fluorescence cross sections have been calculated theoretically. The calculated values were found to be consistent with the previous experimental and theoretical values.

Keywords: Auger yield, Cross-Section, Fluorescence yield, X-Ray.



ÖN SÖZ

Bu tez çalışmasında; her türlü ilgi ve yardımlarını esirgemeyen danışmanım Sayın Doç. Dr. Rafet YILMAZ 'a ayrıca, Sayın Öğretim Üyesi Dr. Abdullah ÖZKARTAL'a ve yüksek lisans öğrenciliğim süresince, ders aldığım hocalarım nezdinde tüm YYÜ Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü personeline, bu tezin yazımında yardımcı olan kardeşim Olcay ÖZMEN'e; minnet ve şükranlarımı sunarım.

2019
Turgay ÖZMEN



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT	iii
ÖN SÖZ.....	v
İÇİNDEKİLER.....	vii
ÇİZELGELER LİSTESİ	ix
ŞEKİLLER LİSTESİ	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR	xiii
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK BİLDİRİŞLERİ	5
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	7
3.1. X-Işınları.....	8
3.1.1. X – Işınlarının genel özellikleri	8
3.1.2. X – ışınlarının elde edilmesi	9
3.1.3. X- ışınları tüplerinin genel özellikleri	12
3.1.4. Kuantum sayıları ve karakteristik x-ışınları	12
3.1.5 Karakteristik x-ışını yayımlanması ve enerji seviyeleri	15
3.1.6. x-ışını spektrumu	18
3.2. X ve Gama Işınlarının Madde ile Etkileşmesi	19
3.2.1. Fotoelektrik olay	20
3.2.2. Compton saçılması.....	21
3.2.3. Çift oluşumu	22
3.3. Geçişler.....	23
3.3.1. Flüoresans verimler ve coster-kronig geçişler.....	24
3.3.2. Auger geçişleri	26
3.3.3. Coster- Kronig şiddetlendirme faktörlerinin teorik olarak hesaplanması...28	

	Sayfa
3.3.4. Tesir Kesit.....	29
4. BULGULAR	33
4.1. L X-Işınlarının Tesir Kesitleri	33
4.2. Coster-Kronig Şiddetlendirme Faktörleri	33
5. TARTIŞMA VE SONUÇ	51
KAYNAKLAR.....	53
ÖZ GEÇMİŞ.....	55



ÇİZELGELER LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1. Atom numarası 40 ile 50 arasındaki elementler ve bu elementlerin L tabakasındaki enerji değerleri gösterimleri	7
Çizelge 3. 2. Kuantum sayıları ve geçiş kuralları.....	14
Çizelge 3. 3. X-ışını diyagram çizgilerinin Siegbahn ve IUPAC gösterimleri	17
Çizelge 4. 1. Sadece L_3 alt tabakası uyarıldığında elde edilen L X-ışını Flüoresans tesir kesitlerine ait teorik değerler (barns/atom)	34
Çizelge 4. 2. L_3 alt tabakasının, L_2 ve L_1 alt tabakalarının uyarılma enerjilerine göre uyarıldığında elde edilen L_3 X-ışını Flüoresans tesir kesitlerine ait teorik değerler (barns/atom)	35
Çizelge 4. 3. L_2 alt tabakası uyarıldığında elde edilen L X-ışını Flüoresans tesir kesitlerine ait teorik değerler (barns/atom)	36
Çizelge 4. 4. L_1 alt tabakası uyarıldığında elde edilen L X-ışını Flüoresans tesir kesitlerine ait teorik değerler (barns/atom)	37
Çizelge 4. 5. L_3 alt tabakasının, L_2 ve L_1 alt tabakalarının uyarılma enerjilerine göre uyarıldığında elde edilen L_3 X-ışını Flüoresans tesir kesitlerine ait teorik değerler (barns/atom). (Uyarma enerjisi soğurma kıyı enerjisine uzak enerjiler için)	38
Çizelge 4.6. L_2 alt tabakası uyarıldığında elde edilen L X-ışını Flüoresans tesir kesitlerine ait teorik değerler (barns/atom). (Uyarma enerjisi soğurma kıyı enerjisine uzak enerjiler için)	39
Çizelge 4. 7. L_1 alt tabakası uyarıldığında elde edilen L X-ışını Flüoresans tesir kesitlerine ait teorik değerler (barns/atom). (Uyarma enerjisi soğurma kıyı enerjisine uzak enerjiler için)	40
Çizelge 4.8. $K_{\alpha 1} - K_{l1}$ - and $K_{\alpha 2} - K_{l2}$ - Coster–Kronig şiddetlendirme faktörleri, atom numarası $40 \leq Z \leq 50$ için	41
Çizelge 4. 9. $K_{\beta 1}$ and $K_{\beta 2}$ Coster–Kronig şiddetlendirme faktörleri, atom numarası $40 \leq Z \leq 50$ için	42

Çizelge**Sayfa**

Çizelge 4.10. $K_{\alpha 1} - K_{l1}$ - and $K_{\alpha 2} - K_{l2}$ Coster–Kronig şiddetlendirme faktörleri, atom numarası $40 \leq Z \leq 50$ için. (Uyarma enerjisi soğurma kısıtlı enerjisine uzak enerjiler için)	43
Çizelge 4.11. $K_{\beta 1}$ and $K_{\beta 2}$ Coster–Kronig şiddetlendirme faktörleri, atom numarası $40 \leq Z \leq 50$ için. (Uyarma enerjisi soğurma kısıtlı enerjisine uzak enerjiler için)	44



ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 1.1. Atomlarda ana ve alt enerji kabukları	1
Şekil 3.1. X-Işınlarnın madde ile etkileşmesi.....	9
Şekil 3.2. Röntgen tüpü.	11
Şekil 3.3. L tabakasındaki elektronların kuantum sayılarının gösterimi.	13
Şekil 3.4. Karakteristik X-ışınlarının oluşumu.....	15
Şekil 3.5. İdeal bir X-ışını spektrumu.	18
Şekil 3.6. Fotoelektrik olay.....	21
Şekil 3.7. Compton saçılması.....	22
Şekil 3.8. Çift oluşum.....	23
Şekil 3.9. Auger olayı.....	26
Şekil 4. 1. $\kappa_{\alpha 1}$, $\kappa_{\alpha 2}$ Coster-Kronig şiddetlendirme faktörlerinin atom numarasına göre değişimi	45
Şekil 4. 2. κ_{l1} , κ_{l2} Coster-Kronig şiddetlendirme faktörlerinin atom numarasına göre değişimi	46
Şekil 4. 3. $\kappa_{\beta 1}$ ve $\kappa_{\beta 2}$ Coster-Kronig şiddetlendirme faktörlerinin atom numarasına göre değişimi.....	47
Şekil 4. 4. $\kappa_{\alpha 1}$, $\kappa_{\alpha 2}$ Coster-Kronig şiddetlendirme faktörlerinin atom numarasına göre değişimi. (Uyarma enerjisi soğurma kıyısı enerjisine uzak enerjiler için).....	48
Şekil 4. 5. κ_{l1} , κ_{l2} Coster-Kronig şiddetlendirme faktörlerinin atom numarasına göre değişimi. (Uyarma enerjisi soğurma kıyısı enerjisine uzak enerjiler için)	49
Şekil 4. 6. $\kappa_{\beta 1}$ ve $\kappa_{\beta 2}$ Coster-Kronig şiddetlendirme faktörlerinin atom numarasına göre değişimi. (Uyarma enerjisi soğurma kıyısı enerjisine uzak enerjiler için).....	50



SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

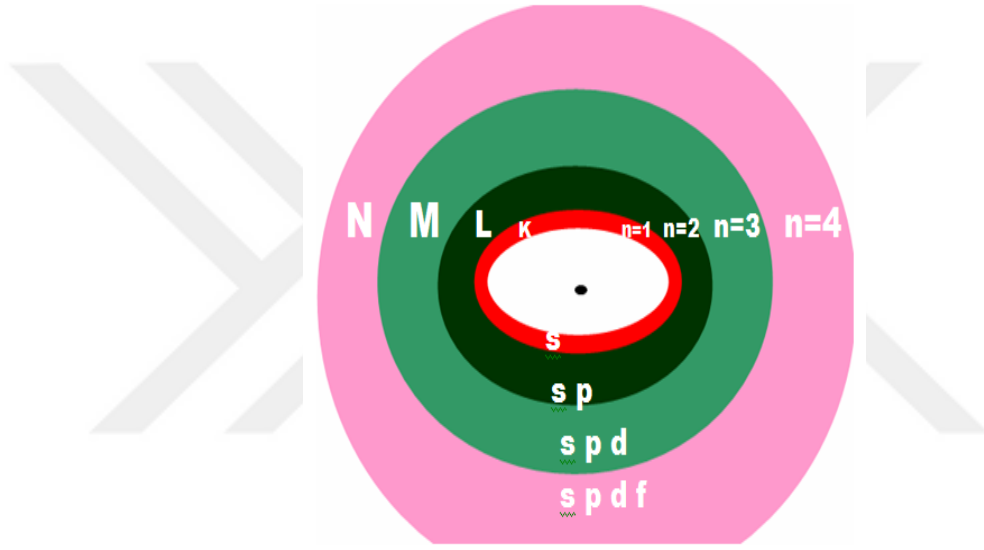
Simgeler	Açıklama
W	Flüoresans verim
a	Auger verimi
α	Alfa
β	Beta
σ^p	Fotoiyonizasyon tesir kesiti
K_α	K_α X-ışını flüoresans tesir kesiti
K_β	K_β X-ışını flüoresans tesir kesiti
I_0	X-ışını şiddeti
Z	Atom numarası
h	Planck sabiti
t	Numune kalınlığı
N_i ($i=\alpha,\beta$)	Pik alanı
F_i ($i=\alpha,\beta$)	α, β X-ışınlarının geçiş hızı ihtimali

Kısaltmalar	Açıklama
XRF	X-Işınları flüoresans tesir kesiti



1. GİRİŞ

Atom çekirdeği etrafında, $n=1, n=2, n=3, \dots$ ya da K, L, M, N, ... gibi sembollerle ifade edilen enerji kabukları ve K enerji kabuğu dışındaki diğer enerji kabuklarının birden fazla alt tabakalardan (s, p, d, f gibi Orbitallerden) oluşur. (Şekil 1.1) .



Şekil 1. 1. Atomlarda ana ve alt enerji kabukları.

Atomların enerji kabuklarında herhangi bir nedenle elektron kaybında, daha dış yörüngedeki enerji kabuklarından elektronun boşalttığı boşluklara elektron geçişi olur. Aradaki enerji farkı ise, karakteristik x-ışını olarak salınır.

Ayrıca K tabakasının dışındaki alt tabakalara sahip olan diğer enerji kabuklarına ait alt tabakalarda (orbitalerde), dış katmandan iç katmana doğru elektron geçişleri olur. Böylece dış orbital de elektron boşluğu meydana gelir, buda x ışınının şiddetini artırır. Buna Coster - Kronig Geçişler denir.

Atomun uyarılması veya iyonizasyonu sonucu meydana gelen alt tabakalar arasındaki boşlukları Coster-Kronig geçişler ile en hızlı şekilde doldurulur. Bu geçişler ışımsız geçişlerdir, bir atomun alt tabakaları arasındaki elektronik geçişlerden meydana gelir ve bu geçiş f_{ij} ile gösterilir. f_{ij} atomun L ve daha üst tabakalarındaki bir x_j alt tabakasındaki bir elektronun x_i alt tabakasındaki boşluğu doldurma ihtimaliyetini belirtir. Bu geçişlerde primer boşluk dağılımının değişmesinden dolayı L, M, N, \dots çizgi şiddetleri de bu dağılımdan etkilenir

Atomların enerji seviyelerindeki elektron boşluklarına üst katmanlardan ışımali elektron geçişleri ile oluşan karakteristik X ışınları (veya flüoresans ışınlar), 10^{-8} sn içerisinde oluşur.

Karakteristik X-ışını, o atoma ait bir özelliktir. Dolayısıyla madde analizlerinde oldukça önemlidir. İşte bu X-ışınlarının belli bir enerjide meydana gelme ihtimaliyetlerine bu ışınların flüoresans tesir kesitleri denir.

X-ışını flüoresans tesir kesiti, X-ışını üretim ihtimali ile orantılı olan bir büyüklüktür. Tesir kesitleri hem deneysel hem de teorik olarak ölçülebilen bir büyüklük olduğu için nükleer işlemlerin ayrıntılı olarak incelenmesine imkân sağlar. Atom molekül ile ilgili konularda oldukça önemlidir. Tesir kesitinin tam olarak bilinmesi, endüstriyel radyografi, reaktör zırhlama, tıp alanında, enerji taşıma ve depolama konularında ve radyasyon soğurma katsayılarının hesaplanmasında önemli bir faktördür.

X-ışını flüoresans verim tabaka veya alt tabakalarda herhangi bir yolla oluşturulan bir boşluğun ışımali ya da ışımsız geçişle doldurulması ihtimalidir.

X-ışını flüoresans metodu kalite ve miktar analizlerinin tahribatsız olarak yapılmasını mümkün kıldığında geniş bir uygulama alanı vardır. Bu metotla yapılan jeolojik ve biyolojik numunelerin analizlerinde, eser elementin tayininde, kimyasal analizlerde ve tıbbi araştırmadaki analizler gibi daha birçok araştırma alanlarında flüoresans verim ile ışımali ve ışımsız geçiş ihtimallerinin bilinmesi gereklidir.

Bu tez çalışmasının ilk aşamasında, X ışınları, tesir kesitleri, tabakalar arası geçişler hakkında genel bilgiler verildi. Daha sonra atom numarası $40 \leq Z \leq 50$ aralığında bulunan (Nb, Mo, Tc, Ru, Rh, Pd, Ag, Cd, In) elementlerin, L tabakasına ait L -X ışını flüoresans tesir kesitlerinin farklı uyarma enerjilerine bağlı olarak değişimi incelendi. Elde edilen sonuçlardan Coster-Kronig geçişlerin L X-ışını flüoresans tesir kesitleri üzerindeki etkisinden dolayı, L -X ışını şiddetlerinde meydana gelen artma teorik olarak hesaplandı. Elde edilen değerler çizelge ve grafikler halinde verilerek analiz edildi.





2. KAYNAK BİLDİRİŞLERİ

Atomların tabakalarına ait X-ışınları tesir kesitleri ve Flüoresans verimlerinin ölçülmesi ve ışımaz geçiş olarak bilinen Coster-Kronig geçiş ihtimalleri atom, molekül, radyasyon fiziği araştırmalarında, tahribatsız testlerde, elementel X-ışını flüoresans analizlerinde, tıbbi araştırmalarda oldukça önemlidir. Bundan dolayı bu çalışmalar, elementlerin hem *K* hem de *L* tabakalarında, X- ışınları üzerinde yıllardır çalışılan bir konudur. Birçok araştırmacı tarafından yapılan fotoelektrik tesir kesitlerinin teorik hesaplamalar ile ilgili Scofield'in nümerik değerleri, teorik olarak en doğru değerler olarak kabul edilir. Scofield, 1–1500 keV enerji aralığında atom numarası 1 ile 100 arasındaki elementler için fotoelektrik tesir kesitlerini hesapladı.(1)

Ertuğrul (2002), Hg ve Au elementleri için f_{12} Coster-Kronig geçişleri ve *L* alt tabaka üretim tesir kesitlerini tespit etti.

Ertuğrul (2001), Sm ve Tb elementlerinin *K* tabakasından *L_i* alt tabakalarına ışımaz ve ışımaz boşluk geçişlerini incelemiştir.

Öz ve ark. (2001), Atom numarası $59 \leq Z \leq 90$ arasındaki bazı elementler için *L* tabakası Coster-Kronig verimleri ölçtü.

Öz ve ark. (2000), Atom numarası $59 \leq Z \leq 85$ arasındaki bazı flüoresans ve auger verimleri ölçtü.

Öz ve ark. (2003), Atom numarası $66 \leq Z \leq 72$. arasındaki bazı elementler için Coster-Kronig şiddetlendirme faktörlerini yarı deneysel olarak tespit etti.

Öz ve ark. (2004), Atom numarası $74 \leq Z \leq 90$. arasındaki bazı elementler için Coster-Kronig şiddetlendirme faktörlerini yarı deneysel olarak tespit etti.

Puri ve Sing (2006), atom numarası $70 \leq Z \leq 92$, elementler için Flüoresans ve Coster-Kronig verimleri tespit etti.

Yılmaz ve ark. (2009), Yb, Lu, Os and Pt Elementleri için Coster-Kronig şiddetlendirme faktörlerini deneysel ve teorik olarak tespit etti.

Yılmaz ve ark. (2010), Cs elementinin Coster- Kronig şiddetlendirme faktörlerini teorik olarak incelemiştir.

Yılmaz ve ark. (2011a), Nd ve Pm elementlerinin farklı uyarma enerjilerine göre Coster-Kronig şiddetlendirme faktörlerini teorik olarak incelemiştir.

Yılmaz ve ark. (2011b), Tm elementinin Coster-Kronig şiddetlendirme faktörlerini hem deneysel hem de teorik olarak incelemiştir.

Krause ve ark. (1978 a, b), K ve L X-ışınları floresans tesir kesitlerini teorik olarak hesaplamıştır.

Scofield (1973), X- ışınları spektroskopisinde önemli bir yer tutan kaynak eserinde birçok element için 1 keV'den 1500 keV'e kadar olan uyarma enerjilerinden K, L, M ve daha üst tabakalar için alt tabaka ve toplam fotoiyonizasyon tesir kesitleri ile ilgili yapılan teorik hesaplama sonuçları vermiştir.

Rao ve ark. (1995), atom numarası $78 \leq Z \leq 82$ aralığındaki elementlerin 6.47 ve 7.57 keV'lik foton kaynaklarla uyarılması ile Flüoresans veriminin deneysel ve teorik hesaplama sonuçları mevcuttur.

Ertuğrul ve ark. (2001), atom numarası $22 \leq Z \leq 69$ arasındaki elementler için 59,5 keV uyarma enerjisinde K_{β}/K_{α} şiddet oranlarını incelemiştir.

Ertuğrul ve ark. (2007), 5,9, 59,5 ve 123,6 keV enerjili fotonlarla atom numarası $16 \leq Z \leq 92$ arasındaki elementler için K_{β}/K_{α} x-ışınları şiddet oranları incelenmiştir.

Hubbel ve ark. (1994), bazı elementlerin K ve L tabakalarına ait X- ışınları flüoresans verimlerini yarı deneysel hesaplamıştır.

Bambynek ve arkadaşları (1972), flüoresans verim, auger verim ve coster-kronig geçiş ihtimalleri üzerine yarı deneysel olayları incelemiştir.

Kostroun ve ark. (1971), atomik ışımali geçişler ihtimallerini ve teoriksel olarak K kabuğu flüoresans verimlerini hesaplamıştır.

Kumar ve ark. (2016), ^{62}Sm elementinin L X-ışını flüoresans tesir kesit ve Coster-Kronig şiddetlendirme faktörlerini farklı enerjilerde deneysel olarak incelemiştir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu bölümde; elektromanyetik dalgaların madde ile etkileşmesi hakkında temel bilgiler verildi. Daha sonra materyal olarak kullanılan, atom numarası 40 ile 50 arasındaki 9 elementin (Çizelge 3.1), L tabakasındaki Coster Kronigi teorik hesaplama yöntemleri hakkında bilgi verildi.

Çizelge 3.1. Atom numarası 40 ile 50 arasındaki elementler ve bu elementlerin L tabakasındaki enerji değerleri gösterimleri

Atom Numarası	Adı	Simgesi	L Kabuğundaki Enerji Değeri ($E_n=13,6Z^2/n^2$ n=2)
41	Niobyum	Nb	5715.4 eV
42	Molibden	Mo	5997.6 eV
43	Tekhnetyum	Tc	6286.6 eV
44	Rutenyum	Ru	6582.4 eV
45	Rodyum	Rh	6885 eV
46	Paladyum	Pd	7194.4 eV
47	Gümüş	Ag	7510.6 eV
48	Kadmiyum	Cd	7833.6 eV
49	İndiyum	In	8163.4 eV

3.1. X-Işınları

X-ışınları, Karakteristik ve Sürekli X-ışınları olmak üzere 2'ye ayrılır.

Herhangi bir nedenle, atomlarda oluşan elektron boşluklarının, üst enerji seviyelerinden gelen elektronlarla doldurulması sonucu, iki enerji düzeyi arasındaki enerji farkı foton olarak salınır, salınan bu foton olayına karakteristik X- ışını adı verilir.

Hızlandırılmış elektronun yavaşlatılması ya da bir hedefe çarptırılarak durdurulması sonucu, bu elektronun hızından dolayı kazanmış olduğu enerjisi elektromanyetik ışımaya olarak farklı dalga boylarında salması olayına sürekli X-ışınması denir.

X-ışınları, elektromanyetik spektrumda ultraviyole ışık ile gama ışınları arasında yer alır. X-ışınları dalga boylarına göre; dalga boyu $\lambda < 0,1 \text{ A}^0$ ise çok sert, $\lambda = 0,1 \text{ A}^0$ ise sert, $\lambda = 1-10 \text{ A}^0$ ise yumuşak, $\lambda > 10 \text{ A}^0$ ise çok yumuşak olarak isimlendirilir. X-ışınlarının en genel kaynağı, bir metal atomu bombardımana tabi tutan yüksek enerjili elektronların yavaşlamasıdır.

3.1.1. X – Işınlarının genel özellikleri

X -Işınlarının önemli bazı özellikleri aşağıdaki gibi sıralanabilir:

Çok kısa dalga boylu elektromanyetik dalgalardan ibaret oldukları için yüklü bir tanecik değildirler ve bu nedenle elektrik ve manyetik alanda sapmazlar.

Fotoğraf filmlerine etkiler, çok şiddetli flüoresans ve fosforesans uyartırlar.

Çok kısa dalga boylu oldukları için her madde de kolaylıkla fotoelektrik olayını oluştururlar ve gazları iyonlaştırırlar.

Bir madde içinden geçme (girginlik) yetenekleri oldukça büyüktür. Belirli bir madde için girginlik yetenekleri dalga boyları küçüldükçe (frekansları arttıkça) artar.

Belirli dalga boyundaki X-ışınlarının girginlik yetenekleri ise maddenin atom numarası arttıkça azalır.

Bu nedenle atom numarası büyük olan maddeler X-ışınlarını daha çok soğururlar. Kısacası geçtikleri maddesel ortamlarda, atom numarasının artması ile orantılı olacak biçimde soğrulurlar.

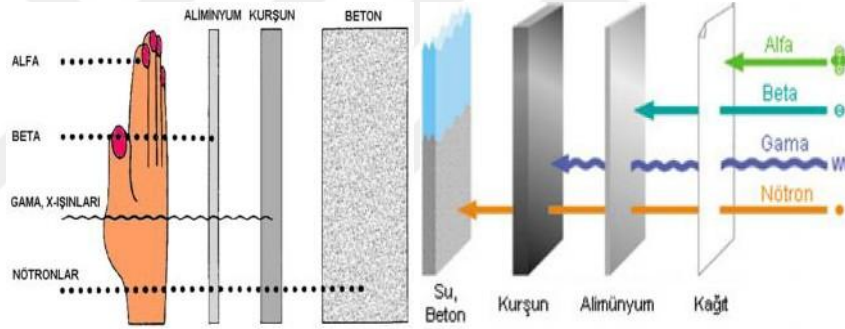
Yüksüz olmaları sonucu elektrik ve manyetik alandan etkilenmeleri söz konusu değildir.

Canlı dokuları harap ederler ve hücrelerde mutasyon meydana getirirler.

Adi ışığın yansıma, kırınım ve kutuplanma gibi özelliklerini X-ışınları da gösterir. Bu sayılan özelliklerin birçoğu yüksek enerjili diğer ışınlarda ve taneciklerde de mevcuttur.

X-ışınları elektromanyetik spektrumda ultraviyole ışınları ile gama ışınları arasında yer alır. X-ışınlarının ve diğer ışınlarının madde ile etkileşmesi

Şekil 3.1’de verilmiştir.



Şekil 3.1. X-ışınlarının madde ile etkileşmesi.

3.1.2. X – ışınlarının elde edilmesi

Atomları uyararak (birbirleriyle çarpıştırarak, ısı vererek, elektron ve fotonlar göndererek) ya da elektronun atoma bağlanma enerjisine (eşik enerjisine) eşit veya büyük enerjiye sahip fotonlar göndererek; elektron koparıp elektron boşlukları oluşturmak (fotoelektrik olayı),

oluşan bu boşluklara atomun üst yörüngelerinden (dış yörüngelerinden) elektronların geçişini sağlamak, bu geçişler sonucu iki enerji düzeyi arasındaki enerji farkı, foton (karakteristik X-ışını) olarak açığa çıkar.

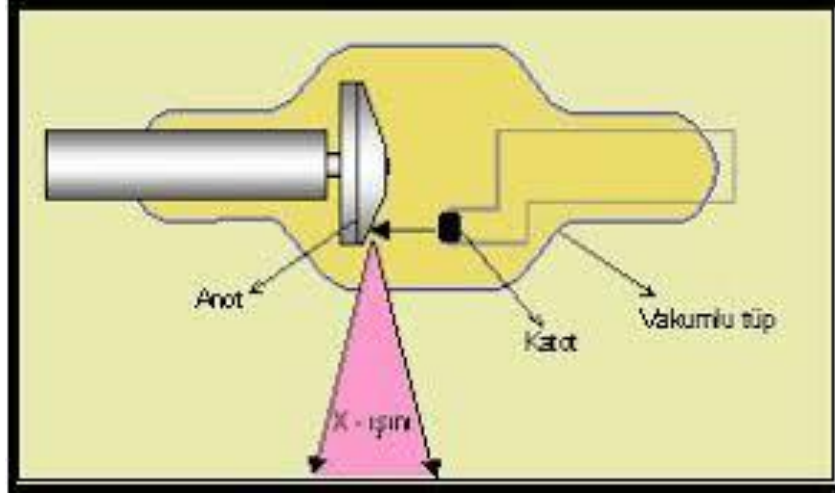
Işık, bir elektromanyetik dalga karakteri olduğundan, *foton* adı verilen dalga paketçiklerinin, belirli koşullarda maddeden elektron sökmesi suretiyle fotoelektrik olayı meydana gelir. Böylece fotoelektrik olay, ışığın foton enerjisinin elektrona devredilerek maddenin atomlarından elektron sökülebileceğini ve bunun da üstünde ışığın fotonlardan ibaret olduğunu ortaya koymuştur. X-ışınlarının oluşumu bir ters fotoelektrik olayı idi.

Hızlandırılmış bir elektronun negatif ivmelendirilmesi ya da bir hedefe çarptırılarak, hızından kaynaklanan kinetik enerjisini elektromanyetik ışın enerjisine dönüştürerek elde edilen ve sürekli enerjisi değiştiğinden dolayı yayılan elektromanyetik dalganın frekansı da değişeceğinden farklı dalga boylarında ışınlar olacaktır. Elde edilen bu ışınlar sürekli X ışınması denir.

Yapılan incelemeler X-Işınlarının, yeter derecede hızlı elektronların bir maddeye çarparak frenlenmesi sonucunda oluşan çok yüksek frekanslı (veya çok kısa dalga boylu) elektromanyetik dalgalar olduklarını, görünür ışık gibi foton karakteri gösterdiklerini ortaya koymuştur. Çarpan elektronların kinetik enerjilerine bağlı olarak X-ışınlarının dalga boyları $0,1 \text{ \AA}$ ile $0,01 \text{ \AA}$ arasında değişmektedir.

Röntgen, X-ışınları elde etmek için (Şekil 3.2).’de görülen ve kendi ismi ile anılan röntgen tüplerini geliştirmiştir. Bu, içindeki gaz basıncı 10^{-3} (torr)’a düşürülmüş özel bir Katot ışını tüpünden başka bir şey değildir.

Anot - Katot arasına yeteri büyüklükte hızlandırıcı bir V gerilimi uygulandığında oluşan katot ışınları (yani hızlandırılmış elektronların) anot metaline çarparak frenlenmesi sonucunda anottan X-ışınları yayılır. Bu tüplere *Soğuk Katotlu X-ışını Tüpleri de* denir. Bir süre sonra gaz basıncının çok düşmesi ile tüpün çalışmaz hale gelmesi ve ışınların yalnız şiddeti değiştirilmek istendiğinde dalga boyunun da değişmesi bu tüpün başlıca kusurlarıdır.



Şekil 3.2. Röntgen tüpü.

X-ışınları bu gün soğuk katotlu röntgen tüpünün yerini alan sıcak katotlu *Coolidge tüpleri* ile elde edilmektedir. Bu tüpler yüksek vakumludur. Küçük bir batarya ile ısıtılan tungsten flamandan yayılan elektronlar, anot - katot arasına uygulanan V gerilimi altında hızlandırılarak anot'a çarptırılır. Coolidge tüpünün anot'u ile katot'u arasına 10 kV ile 1 MV arasında hızlandırıcı potansiyel farkları uygulamak suretiyle değişik dalga boyu sınırlarında X-ışınları oluşturmak mümkündür. Yayılan X-ışınlarının dalga boyları (yani kaynağın tayfı) aynı kalmak üzere yalnız şiddetini değiştirmek için flaman akımını değiştirmek gerekir. Katot'un ısıtılmasıyla katottan gelen elektronlar salınır. Bu elektronlar anot ve katot arasında uygulanan yüksek bir gerilim ile hızlandırılır.

Bu elektron demeti anot tarafından (hedef elementi) yavaşlatılır (ivmelendirilir) veya çarpmaları esnasında X-ışınları meydana gelir.

Bu ivmelenme veya çarpma sonucu oluşan X-ışınları sürekli spektrum olarak gözlenir. Burada bir çarpmada veya tamamen enerjisini kaybeden elektron için,

$$eV = \frac{1}{2}m_e v^2 \quad (3.1)$$

yazılır.

3.1.3. X- ışınları tüplerinin genel özellikleri

Elektron kaynağı (katot): Elektron kaynağı Tungsten yapılmış bir flamandır, sıcaklığı yaklaşık 2000 °C'ye kadar ulaşır ve akkor hale gelir.

Yüksek gerilim kaynağı: Meydana gelen serbest elektronları hızlandırmak için yüksek gerilim kaynağı gereklidir.

Hedef (anot): X- ışınlarının elde edilmesi için hedef element

Tüp metal kılıfı ve X – ışını tüpü: Bu tüp içinin havası boşaltılmış kapalı bir cam kaptır. Cam tüp hem dışarıdan gelecek mekanik hasarlara karşı korunması hem de tüpten çıkan X- ışınlarından çevrenin korunması amacıyla kalın kurşun içine yerleştirilmiştir.

Kolimatör: Çıkan X – ışınlarının yönlendiren ve sınırlandıran kurşun veya demir demeti.

Filtreler: Kolimatör önüne takılan X – ışınlarının yumuşak olanlarının tutulması için kullanılan Alüminyum ve Bakır'dan yapılmış filtrelerdir.

3.1.4. Kuantum sayıları ve karakteristik x-ışınları

Schrödinger elektronun yerini belirlemek için üç kuantum sayısına ihtiyaç duymuştur. Dördüncü kuantum sayısı ise sonradan keşfedildi. Buna göre elektronun atom içindeki durumunu ve davranışını belirlemek için modern atom teorisinde kullanılan bu sayılara Kuantum Sayıları adı verilir. Elektronlar atomlarda rastgele değil Pauli İlkesine göre dizilir.

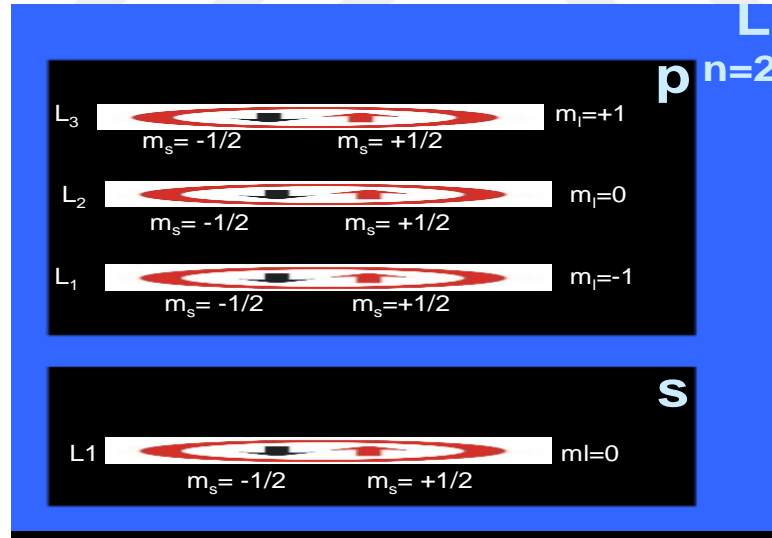
Pauli'ye göre bir atomda aynı kuantum sayılarına sahip ikinci bir elektron olamaz. Bir atomdaki herhangi iki elektronun en fazla 3 kuantum sayıları aynı olabilir. Bir elektronun atomdaki adresi 4 kuantum sayısı ile belirlenir.

Kuantum Sayıları:

1. Baş Kuantum Sayısı (n) $n=1,2,3\dots n$ (K,L,M,N.....)
2. Orbital kuantum sayısı (l) $(l=n-1)$ 0,1,2,3.... (s,p,d,f,g....)
3. Manyetik kuantum sayısı (m_l) $(2l+1)$ -l,....,0,....,+l
4. Spin manyetik kuantum sayısı(m_s) -1/2, +1/2

Atom çekirdeği etrafında, $n=1, n=2, n=3, \dots$ ya da K, L, M, N,...gibi sembollerle ifade edilen enerji kabukları ve K enerji kabuğu dışındaki diğer enerji kabuklarının birden fazla alt tabakalardan (s, p, d, f gibi Orbitallerden) oluşur. (Bkz. Şekil 1.1)

Bu çalışmada L tabakasındaki ışımaz elektron geçişleri incelendiğinden, L tabakasındaki elektronların konumları ve kuantum sayıları aşağıdaki (şekil 3.3).’de temsili olarak gösterilmiştir.



Şekil 3.3. L tabakasındaki elektronların kuantum sayılarının gösterimi.

Aynı ana enerji kabuğundaki elektronların enerjileri eşit olduğundan, orbitallerdeki geçişler ışımaz geçişlerdir.

Ana enerji kabukları arasında enerji farkı sıfırdan büyük olduğundan dolayı bu tür geçişlerde, iki kabuk arasındaki enerji farkına eşit enerjide karakteristik x ışınması yaparlar.

Kabuklar arasındaki elektron geçişleri belli kurallara göre olur. Bunlar seçim kurallarıdır. (Çizelge 3.2).

Çizelge 3. 2. Kuantum sayıları ve geçiş kuralları

Sembol	Adı	Alabileceği değerler ve Simgeler	Geçiş kuralları
n	Baş kuantum sayısı	1,2,...,n K, L, M,...	$\Delta n \neq 0$
l	Yörünge açısal momentum kuantum sayısı	0, 1,...(n-1) s, p, d, f,...	$\Delta l \ell = \pm 1$
m_l	Manyetik kuantum sayısı	$-\ell, \dots, 0, \dots, +\ell$	—
m_s	Spin kuantum sayısı	$\pm 1/2$	—
J	Toplam açısal momentum kuantum sayısı	$\ell \pm 1/2, (j \neq 0-1/2)$	$\Delta j = \pm 1, 0$

Karakteristik X - ışınlarının oluşması için;

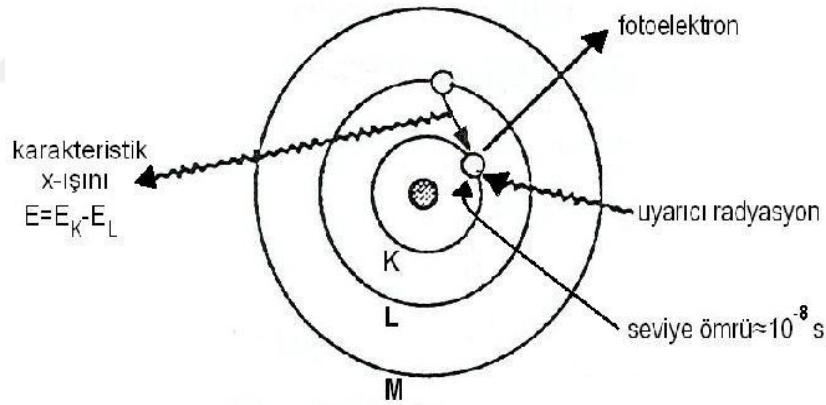
- Hedefi, elektronlarla bombardıman etmek.
- Protonlar, alfa parçacıkları veya hızlandırıcılardan gelen diğer iyonlar ile bombardıman etmek.
- X-ışını tüplerinde oluşan birincil X-ışınları ile bombardıman etmek.
- Radyoizotoplardan yayınlanan alfa, beta, gama parçacıkları ile bombardıman etmek.
- Hedef elementten yayınlanan ikincil X-ışınları ile bombardıman etmek.
- Doğal (iç dönüşüm, K yakalama, β bozunumu) radyoaktif oluşum.

3.1.5 Karakteristik x-ışını yayımlanması ve enerji seviyeleri

Bir atomda, herhangi bir nedenle oluşan elektron boşlukları; üst katmanlardaki enerji seviyelerinde ($n>1$) bulunan elektronlar tarafından 10^{-8} saniyede doldurulur. Aradaki bu enerji farkı (ΔE) karakteristik x-ışını olarak salınır.

K tabakasındaki boşluk; L tabakası tarafından doldurulursa meydana gelen karakteristik X-ışını K_{α} olarak adlandırılır. M tabakası tarafından doldurulursa K_{β} X-ışını meydana gelir. K_{α} ışınının şiddeti fazladır, K_{β} x-ışınının enerjisi fazladır.

Bu ışınlar, doğal ve suni olmak üzere iki şekilde meydana gelir. Doğal X-ışınları, atom çekirdeği tarafından, K enerji seviyesindeki bir elektronun yakalanması, iç dönüşüm olaylarıyla meydana gelir. Suni olarak X-ışınları, herhangi bir yolla atomun uyarılması ile meydana gelir. Karakteristik X-ışını oluşumu (Şekil 3.4).’de gösterilmektedir.



Şekil 3.4. Karakteristik X-ışınlarının oluşumu.

X-ışını spektrumlarının sürekli oluşu ise, yüksek hızlı yüklü parçacıkların bir elektrik alanı içinde ivmeli olarak hareket ederlerken ani olarak yavaşlatılması veya durdurulması sonucu ışımaya yaparlar. Burada ilk ve son hızları arasındaki enerji farkına eşit enerjide X-ışınları yayarlar. Bu ışımaya, frenleme ışınması manasına gelen

“Bremsstrahlung” denir. Aynı zamanda bu ışınlar, X-ışını spektrumlarında sürekli bir bölge oluştururlar, dolayısıyla sürekli X-ışınları olarak adlandırılırlar.

Bir X-ışını demetinin şiddeti, birim zamanda, birim alana düşen enerji olarak tarif edilir. Genellikle cm^2 ye saniyede gelen enerjidir. X-ışını spektrometrik analizinde ise sayım (count) /s olarak verilir.

Bir atomun K tabakasında meydana getirilen elektron boşluğu eğer L tabakasında bulunan bir elektron tarafından doldurulacak olursa, böyle bir elektron geçişi sonucunda yayımlanan fotonun frekansı, karakteristik X-ışını spektrumunun K_{α} çizgisine karşılık gelir. K tabakasındaki boşluk, M tabakasındaki bir elektron tarafından doldurulursa K_{β} çizgisi, N tabakasındaki elektronlardan biri tarafından doldurulursa K_{γ} çizgisine karşılık gelen fotonlar yayımlanır. Herhangi bir tabaka veya alt tabakadaki bir boşluk üst tabakalardan bir elektron ile doldurulduğu zaman yayımlanan X-ışınlarının Siegbahn ve IUPAC (International Union of Pure and Applied Chemistry) gösterimleri (Çizelge 3.3).’de

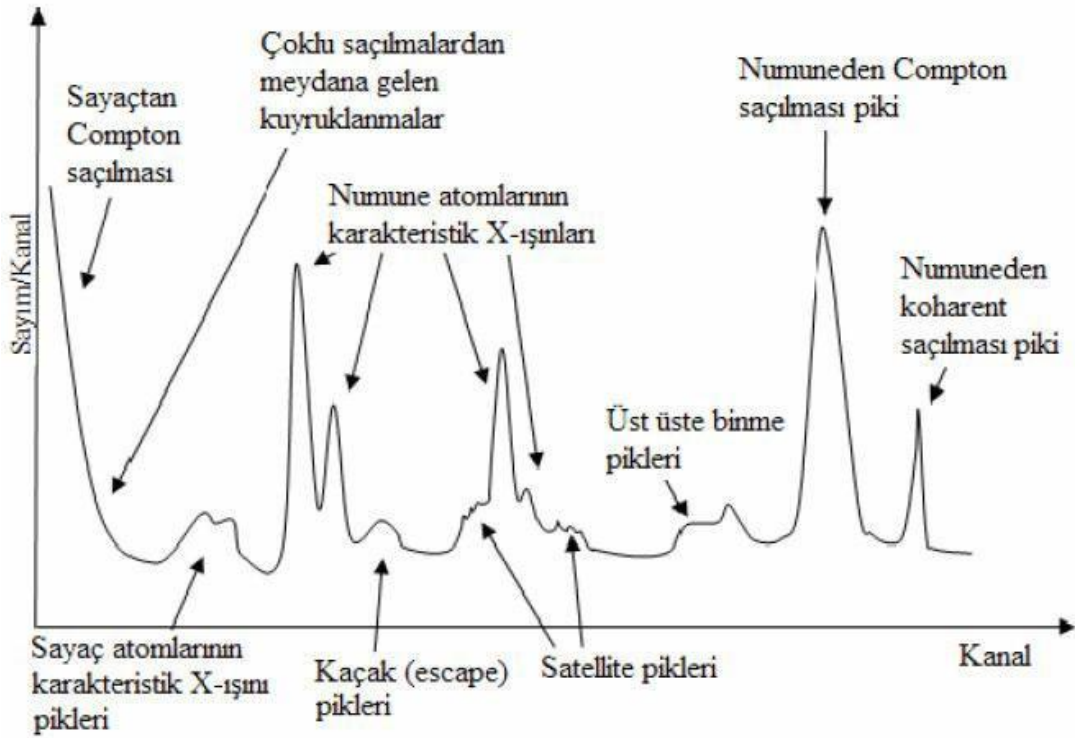
Eğer hedef metali üzerine çarpan elektronların enerjileri K tabakasından elektron sökecek kadar büyük değilse, L, M, N tabakalarından birinden bir elektron sökebilir ve bu kez K tabakasına benzer olarak L tabakasında meydana gelen boşluğun M, N, tabakalarındaki elektronlarla doldurulması esnasında L_1 , L_{α} , L_{β} , L_{γ} karakteristik ışınları, yine aynı şekilde M tabakası için M_1 , M_{α} , M_{β} ve N tabakası için N_1 , N_{α} , N_{β} karakteristik X-ışını çizgileri oluşur.

Çizelge 3.3. X-ışını diyagram çizgilerinin Siegbahn ve IUPAC gösterimleri

Siegbahn	IUPAC	Siegbahn	IUPAC	Siegbahn	IUPAC	Siegbahn	IUPAC
$K\alpha_1$	K-L _{III}	$L\alpha_1$	L _{III} -M _V	$L_{\gamma 1}$	L _{II} -N _{IV}	$M_{\alpha 1}$	M _V -N _{VII}
$K\alpha_2$	K-L _{II}	$L\alpha_2$	L _{III} -M _{IV}	$L_{\gamma 2}$	L _I -N _{II}	$M_{\alpha 2}$	M _V -N _{VI}
$K\beta_1$	K-M _{III}	$L\beta_1$	L _{II} -M _{IV}	$L_{\gamma 3}$	L _I -N _{III}	M_{β}	M _{IV} -N _{VI}
$K\beta_{2'}$	K-N _{III}	$L\beta_2$	L _{III} -N _V	$L_{\gamma 4}$	L _I -O _{III}	M_{γ}	M _{III} -N _V
$K\beta_{2''}$	K-N _{II}	$L\beta_3$	L _I -M _{III}	$L_{\gamma 4'}$	L _I -O _{II}	$M_{\xi 1}$	M _V -N _{III}
$K\beta_3$	K-M _{II}	$L\beta_4$	L _I -M _{II}	$L_{\gamma 5}$	L _{II} -N _I	$M_{\xi 2}$	M _{IV} -N _{II}
$K\beta_{4'}$	K-N _V	$L\beta_5$	L _{III} -O _{IV,V}	$L_{\gamma 6}$	L _{II} -O _{IV}		
$K\beta_{4''}$	K-N _{IV}	$L\beta_6$	L _{III} -N _I	$L_{\gamma 8}$	L _{II} -O _I		
$K\beta_{5'}$	K-M _V	$L\beta_7$	L _{III} -O _I	$L_{\gamma 8'}$	L _{II} -N _{IV}		
$K\beta_{5''}$	K-M ₄	$L\beta_9$	L _I -M _V	L_{η}	L _{II} -M _I		
		$L\beta_{10}$	L _I -M _{IV}	L_{ι}	L _{III} -M _I		
		$L\beta_{15}$	L _{III} -N _{IV}	L_{ς}	L _{III} -M _{III}		
		$L\beta_{17}$	L _{II} -M _{III}	L_{τ}	L _{III} -M _{II}		
				L_{υ}	L _{III} -N _{IV}		
				L_{ν}	L _{II} -N _{IV}		

3.1.6. x-ışını spektrumu

Aşağıdaki (Şekil 3.5).’de tipik bir X-ışını spektrumu görülmektedir. Bu spektrumda, karakteristik X-ışını pikleri, koherent saçılma pikleri, inkoherent saçılma pikleri, kaçak pikler ve üst üste binme pikleri mevcuttur (Van Grieken ve Markowicz, 1993).



Şekil 3.5. İdeal bir X-ışını spektrumu.

a) Karakteristik X-ışını pikleri, incelenen numunedeki elementlerden gelen ve elementler hakkında bize bilgi veren K_{α} , K_{β} , L_{α} , L_{β} , ... gibi piklerdir.

b) Koherent saçılma pikleri; kaynaktan numuneye gelen primer gamma ışınlarının numune içerisindeki atomlardan enerjisini kaybetmeden saçılması sonucu oluşurlar.

3.2. X ve Gama Işıklarının Madde ile Etkileşmesi

X ve gama ışıklarının her ikisi de elektromanyetik dalga olup madde ile etkileşmesi birbirinin aynısıdır. Bilinen radyo dalgaları ve ışık gibi diğer elektromanyetik radyasyonlardan farkları enerjilerinin yüksek ve dalga boylarının çok kısa olmasıdır. X ve gama ışıklarının orijinleri farklıdır. Gama ışıkları kararsız atomun çekirdeğinden yayınlanırken, x- ışıkları hızlandırılmış elektronların yüksek atom numaralı hedef atomlarının çekirdeklerine yaklaştıklarında frenlenmeleri ya da çekirdeğe çarpmalarıyla hâsıl olurlar.

Her iki ışığında elektrik yükü yoktur. Bununla beraber atomla etkileştiklerinde iyonlaşma hâsıl ederler. Elektrik yükleri olmadığından etkileştikleri madde içerisinde itilip çekilmezler ancak yolları üzerindeki parçacıklarla çarpışmalar yaparlar. X ve gama ışıkları madde içinde başlıca üç çeşit etkileşme ile enerji kaybederler.

1. Atomun iç yörünge elektronlarla etkilenerek fotoelektrik olay meydana gelir.
2. Atomun dış yörünge elektronları ile Compton olayı meydana gelir.
3. Atomun çekirdeğine yakın bir yerde bir pozitron ve bir elektron meydana getirme olayına çift oluşumu oluşur.

Bu üç olayın olma ihtimali, x ve gama ışıklarının enerjileri ile etkileşen maddenin atom numarasına bağlı olarak değişir.

Elektromanyetik dalgalar madde ile etkileşmesi sonucu aşağıdaki olaylar meydana gelebilir.

- a) Fotoelektrik olay
- b) Compton saçılması
- c) Çift oluşumu

3.2.1. Fotoelektrik olay

Elektron vermeye meyilli bir atomun yörüngesindeki, elektronun bağlanma enerjisinden eşit veya büyük ($h\nu \geq E_B$) bir enerji yollandığında, elektron serbest kalır.

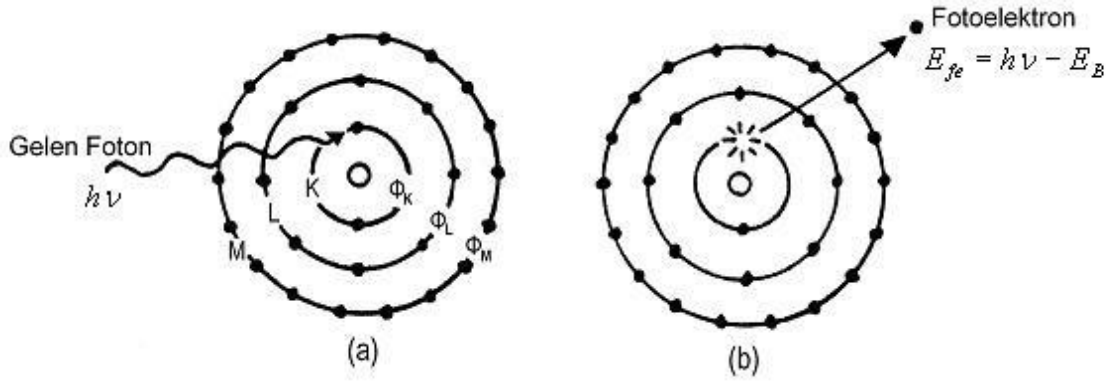
Enerjisi 0.001 – 0,5 MeV arasında olan fotonlar hedef maddenin atomları ile etkileşimlerinde foton soğurulurken yerine bir serbest elektron (Şekil 3.6).’de görülmektedir. Bu olaya fotoelektrik olay, dolayısıyla maddeden kopan elektrona da foto elektron denir. Fotonun enerjisinin tamamını soğuran elektronun kazandığı kinetik enerji;

$$E_{fe} = h\nu - E_B \quad (3.2)$$

ifadesine eşittir. Burada E_{fe} elektronun kazandığı kinetik enerji, $h\nu$ gelen fotonun enerjisi, E_B ise elektronun bağlanma enerjisidir. Enerji ve momentum ikisi birden korunumlu olamayacağından, serbest bir elektronun bir foton soğurması imkânsızdır. Ancak bağımlı elektron durumunda atom geri tepme ve böylece momentumun korunması sağlanır. Atomun kütlesi çok büyük olduğundan geri tepme enerjisi çok küçüktür ve kinetik enerji ifadesi ihmal edilmiştir (Şahin,1998).

Fotoelektrik etkileşim ihtimaliyeti, gelen ışın demetinin enerjisi elektronun bağlanma enerjisine ne kadar yakın bir değerde ise o derecede artmaktadır. O halde bir elementin atomunun verilen bir seviyesinden bir elektronu sökebilmek için gerekli minimum foton enerjisi, o atomun soğurma kıyısı olarak adlandırılır.

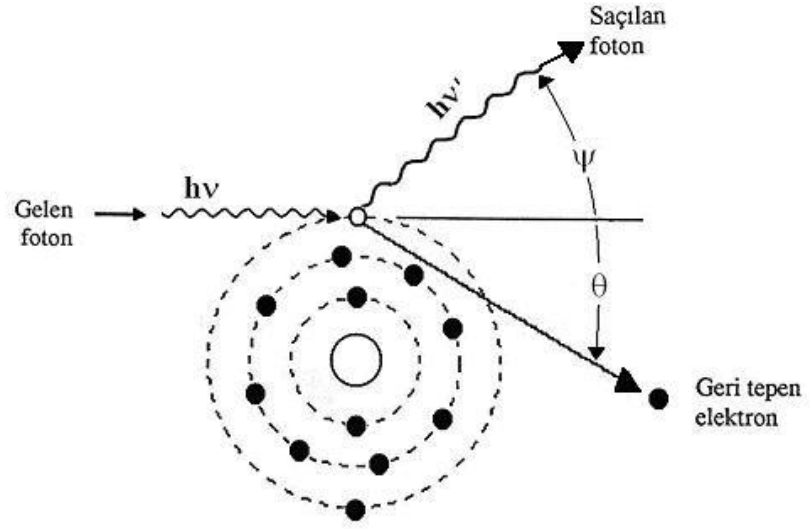
Her bir atomun çeşitli soğurma kıyıları vardır. Bir atomun K kabuğu için bir, L kabuğu için üç, M kabuğu için beş, N kabuğu için yedi soğurma kıyısı vardır. Her atomun soğurma kıyısı enerjisi, dış yörüngeden iç yörüngeye doğru artmaktadır.



Şekil 3.6. Fotoelektrik olay.

3.2.2. Compton saçılması

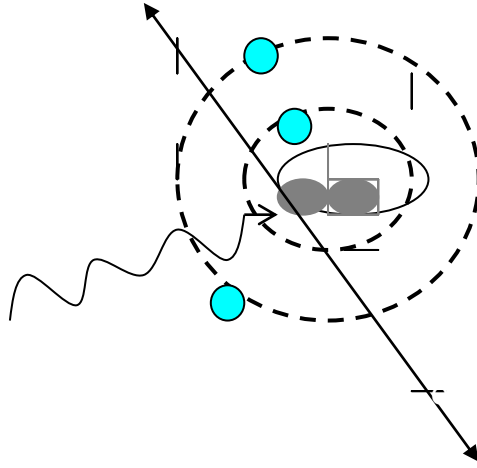
Compton saçılması, bir fotonun atoma zayıf bağlı olan elektron ile çarpışmasıdır. Bu olay ışığın kuantum teorisini dolayısıyla ışığın tanecikli yapısını ortaya koyan önemli bir olaydır. Compton olayının meydana gelmesinde dış tabaka elektronları daha baskındır. Compton olayı öncesinde, gelen fotonun enerjisi, fotonun etkileştiği elektronun bağlanma enerjisinden daha büyüktür. Gelen foton, elektron ile etkileştikten sonra enerjisinin bir kısmını kaybetmiş olarak geliş doğrultusundan sapar. (Şekil 3.7).



Şekil 3.7. Compton saçılması.

3.2.3. Çift oluşumu

Çift oluşumu, çekirdeğin etki alanına giren bir fotonun bir elektron ile bir pozitrona dönüşmesi olayıdır. Bu olayın meydana gelebilmesi için eşik enerjisi $2m_0c^2$ yani 1,02 MeV'dir. Elektron ile pozitronun kütleleri birbirine eşit, yükleri ise eşit fakat zıt işaretlidir. Bu olay çekirdek etrafında olduğundan hiçbir korunum ilkesi bozulmuş olmaz. (Şekil 3.8).



Şekil 3.8. Çift oluşum.

3.3. Geçişler

Kararsız halde bulunan bir atomda değişik geçişler gözlenebilir. Bunlar;

- 1- Işımalı geçişler
- 2- Auger geçişleri
- 3- Coster-Kronig geçişler
- 4- Kendiliğinden geçişler

Herhangi bir olay sonucu atomda meydana gelen boşluk üst tabakadaki başka bir elektron tarafından ışımalı veya ışımaz olarak doldurulabilir. Bunlardan Auger, Coster-Kronig ve kendiliğinden geçişler ışımaz olaylardır. Işımasız geçişlerin her biri ayrı ayrı isimlendirilmiş olsa da, aslında hepsi Auger olayıdır (Ferreira, 1987).

Auger olay, atomda herhangi bir sebeple iç kabukta oluşan boşluk daha dış bir kabuktaki elektronla doldurulur. Salınan foton üst kabuktaki bir elektronu daha söker. Sökülen elektrona Auger elektronu denir.

Coster-Kronig geçişi auger geçişinin özel bir durumudur. Auger olayından farklı olarak boşluğun bulunduğu kabukla, bu boşluğu dolduran elektronun kabuk düzeyi aynıdır. Yani $\Delta n = 0$ 'dır.

Bir kabuğun alt kabukları arasındaki enerji seviyelerinin farkları oldukça düşük olacağından, elektron, ilgili atomun en düşük seviyesinden kopacaktır. Böylece Coster-Kronig elektronun enerjisi de auger elektronunun enerjisine göre daha düşük olacaktır. Kendiliğinden geçişler ise en üst seviyedeki iki elektron eş zamanlı olarak doldurulmamış daha yüksek bir seviyeye uyarılır. Elektronlar eski hallerine döndürüldüğünde diğer bir elektron sökülür. Bu işlemde ikiden fazla elektron da kullanılabilir.

Auger olayı daha ziyade düşük atom numaralı elementlerde yaygındır. Çünkü bu atomların değerlik elektronları daha gevşek bağlıdır ve karakteristik X -ışınların daha kolay soğurlar. Aynı nedenlerden dolayı, K serisinden çok L serisinde rastlanır (Ferreira, 1987).

3.3.1. Flüoresans verimler ve coster-kronig geçişler

Atomun tabaka veya alt tabaka flüoresans verimi, o tabaka veya alt tabakada herhangi bir yolla meydana getirilmiş bir boşluğun karakteristik X-ışını yayımlanarak doldurulması ihtimalidir. Atomda bir boşluk meydana getirilmiş ise o atomun uyarılmış halidir. Uyarılmış halin ortalama ömrü τ ise halin toplam seviye genişliği, belirsizlik ilkesine göre $\Gamma = \hbar/\tau$ ile verilir. Γ toplam seviye genişliği; Γ_R ışıklı seviye genişliği, Γ_A ışımsız seviye genişliği ve Γ_{CK} , Coster-Kronig seviye genişliğinin toplamıdır ($\Gamma = \Gamma_R + \Gamma_A + \Gamma_{CK}$). Bundan dolayı ω flüoresans verimi,

$$\omega = \frac{\Gamma_R}{\Gamma} \quad (3.3)$$

ile verilir.

Bir atomda K tabakasında meydana getirilen bir boşluğun karakteristik X-ışını yayımlayarak doldurulması ihtimaline K tabakasına ait flüoresans verim denir. Flüoresans verim,

$$\omega_K = \frac{I_K}{n_K} \quad (3.4)$$

ile verilir. Bir atomda K tabakasında meydana getirilen bir boşluğun karakteristik X-ışını yayımlayarak doldurulması ihtimaline K tabakasına ait flüoresans verim denir.

Burada I_K numuneden yayımlanan karakteristik K X- ışınlarının sayısı; n_K ise K tabakasında meydana getirilen boşlukların sayısıdır. Daha yüksek atomik tabakalar için flüoresans verim tanımı iki sebepten dolayı daha karışıktır.

Herhangi bir yol ile, x tabakasının (x=L, M, N, ...) x_i alt tabakasında meydana getirilmiş bir boşluğun, daha yüksek x_j alt tabakasına kayma ihtimali Coster-Kronig geçiş ihtimali olup f_{ij}^x ile gösterilir. Örneğin, L tabakası için f_{13} Coster-Kronig geçişi, L_3 alt tabakasından L_1 alt tabakasına bir elektronun geçiş ihtimalidir. Coster-Kronig geçişler ışımali ve ışımasız olmak üzere iki kısımdan ibarettir. Bunlar ışımali kısmı $f_{ij}^x(R)$ ile, ışımasız kısmı ise $f_{ij}^x(A)$ ile gösterilir. $f_{ij}^x(R) \ll f_{ij}^x(A)$ olup, x tabakasının i ve j alt tabakaları arasında Coster -Kronig geçişleri için;

$$f_{ij}^x = f_{ij}^x(R) + f_{ij}^x(A) \quad (3.5)$$

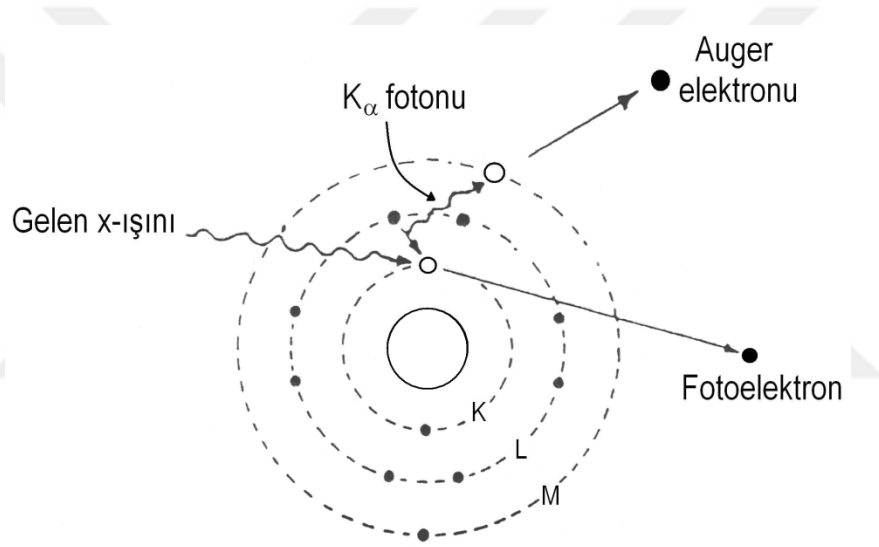
yazılabilir. $f_{ij}^x(R)$, $f_{ij}^x(A)$ nın yanında ihmal edilirse,

$$f_{ij}^x = \frac{\Gamma_A(L_i L_j X)}{\Gamma(L_i)}; X=M,N,O \text{ ve } j>i \quad (3.6)$$

olur. Burada Γ_A Auger kısmi genişliğidir. (Auger geçiş hızlarının toplamı).

3.3.2. Auger geçişleri

Atomda herhangi bir yolla, meydana getirilen bir boşluk diğer üst tabaka elektronları tarafından, ışıklı olarak doldurulabildiği gibi ışısız olarak da doldurulabilir. Auger olayında yayımlanan ışın, atomun üst tabaka elektronlarından birini daha söker ve böylece atom iki defa uyarılmış duruma geçer. Bu olay değişik adlarla ışısız geçişler ve auger olayı olarak bilinmektedir. Bu olayda sökülen elektrona Auger elektronu denir. Bu olay (Şekil 3.9).’ de gösterilmiştir.



Şekil 3.9. Auger olayı.

K tabakasında meydana gelen boşluğun L tabakası elektronlarca doldurulması sonucunda bir auger olayının meydana geldiğini göz önüne alırsak, bu olay iki şekilde izah edilir

a) Atomun L'den K'ya geçişinde fazla enerjisini bir L veya M elektronu yayımlaması ile serbest bıraktığı kabul edilir; ya da

b) L'den K' ya elektron geçişinde normal olarak bir $K\alpha$ fotonu yayımlandığı kabul edilir. Ancak bu foton atomu terk etmeden, bir L veya M elektronu fırlatılmasına sebep olacak şekilde soğurulacaktır. Bu olay iç fotoelektrik soğurma olarak düşünülebilir. Bu her iki izaha göre de atom iki kere iyonlaşmış olmaktadır.

Auger olayı elektronları daha gevşek bağlı ve karakteristik fotonların daha kolay soğurulduğu küçük atom numaralı elementlerde daha yaygın görülür.

Aynı sebepten dolayı bu olay L serisi için K serisinden daha baskındır. Atomdan yayımlanan $K\alpha$ fotonunun enerjisi azalan atom numarası ile L tabakasının soğurulma kıyısına yaklaşır ve dolayısıyla soğurulma şansı artar. Auger olayı, flüoresans verimin ve satellite çizgilerinin temelini oluşturur.

K tabakası için auger olayının meydana gelme ihtimali a_K , ışımasız geçişlerin sayısı I_{KA} , meydana getirilen boşluk sayısı n_K olmak üzere

$$a_K = \frac{I_{KA}}{n_K} \quad (3.7)$$

ile verilir. Auger verimi ve Coster-Kronig verim arasında

$$\omega_i^x + a_i^x + \sum_{j=i+1}^k f_{ij}^x = 1 \quad (3.8)$$

bağıntısı vardır. Bu bağıntıdan faydalanılarak L tabakası için aşağıdaki bağıntılar yazılabilir.

$$\omega_1 + a_1 + f_{12} + f_{13} = 1$$

$$\omega_2 + a_2 + f_{23} = 1$$

$$\omega_3 + a_3 = 1 \quad (3.9)$$

3.3.3. Coster- Kronig şiddetlendirme faktörlerinin teorik olarak hesaplanması

Coster-Kronig geçişlerinden dolayı L X-ışını şiddetlerinde bir artma olduğu bilinmektedir. Bu olay Coster-Kronig şiddetlendirmesi ya da boşluk transferi şiddetlendirmesi olarak adlandırılır. Teorik olarak karakteristik L X-ışını tesir kesitleri, Coster- Kronig şiddetlendirmesi olmadığı zaman ($f_{ij}^x=0$)

$$\sigma_{Ll} = \sigma_3 \omega_3 F_{3l} \quad (3.10)$$

$$\sigma_{L\alpha} = \sigma_3 \omega_3 F_{3\alpha} \quad (3.11)$$

$$\sigma_{L\beta} = \sigma_1 \omega_1 F_{1\beta} + \sigma_2 \omega_2 F_{2\beta} + \sigma_3 \omega_3 F_{3\beta} \quad (3.12)$$

olur. Fakat gerçekte Coster-Kronig geçişleri vardır ve bu durumda tesir kesitleri

$$\sigma_{Ll} = [\sigma_1 (f_{13} + f_{12}f_{23}) + \sigma_2 f_{23} + \sigma_3] \omega_3 F_{3l} \quad (3.13)$$

$$\sigma_{L\alpha} = [\sigma_1 (f_{13} + f_{12}f_{23}) + \sigma_2 f_{23} + \sigma_3] \omega_3 F_{3\alpha} \quad (3.14)$$

$$\sigma_{L\beta} = \sigma_1 \omega_1 F_{1\beta} + (\sigma_1 f_{12} + \sigma_2) \omega_2 F_{2\beta} + [\sigma_3 + \sigma_2 f_{23} + \sigma_1 (f_{13} + f_{12}f_{23})] \omega_3 F_{3\beta} \quad (3.15)$$

şeklinde ifade edilir. Buradan Coster-Kronig şiddetlendirmelerini ise; aynı X-ışınlarını dikkate alarak verilen denklemlerin taraf tarafa bölünmesi sonucu Coster-Kronig şiddetlendirme faktörleri elde edilir. Dolayısıyla buradan Coster-Kronig şiddetlendirme faktörleri ise;

$$\kappa_{l,\alpha} = \frac{\sigma_1 (f_{13} + f_{12}f_{23}) + \sigma_2 f_{23} + \sigma_3}{\sigma_3} \quad (3.16)$$

$$\kappa_{\beta} = \frac{\sigma_1 \omega_1 F_{1\beta} + (\sigma_1 f_{12} + \sigma_2) \omega_2 F_{2\beta} + [\sigma_3 + \sigma_2 f_{23} + \sigma_1 (f_{13} + f_{12}f_{23})] \omega_3 F_{3\beta}}{\sigma_1 \omega_1 F_{1\beta} + \sigma_2 \omega_2 F_{2\beta} + \sigma_3 \omega_3 F_{3\beta}} \quad (3.17)$$

şeklinde ifade edilir.

3.3.4. Tesir Kesit

Mikroskobik fizik sahasında teoriler genellikle kesinlik ifade etmez. Yani meydana gelen herhangi bir olay belirli ihtimaliyetler ile açıklanır. Örneğin herhangi bir atomun herhangi bir t anında bozunması ihtimaliyeti ile verilir. Yine benzer olarak herhangi bir parçacığın herhangi bir t anındaki konumu, bir nükleer reaksiyonun meydana gelmesi vb. olaylar belirli ihtimaliyetler ile verilir.

Tesir kesiti, bir numune üzerine gelen parçacıkla hedef numunedeki her bir parçacığın ilgilenilen herhangi bir olayı meydana getirme ihtimalinin bir ölçüsüdür. Bu ölçü hedef parçacığı kuşatan hayali bir alanla karakterize edilir. Bir hedef parçacığın tesir kesiti, ilgili olayın tabiatına ve gelen parçacığın enerjisine bağlıdır ve parçacığın geometrik kesitinden daha büyük veya daha küçük olabilir.

A yüzeyine ve dt kalınlığına sahip ince bir levha üzerine I şiddetiyle düşürülen parçacıklar demeti düşünelim. Bu parçacıklar demeti ince levhadan geçerken, bir miktarının madde atomları tarafından azaltılma ihtimali vardır. Eğer σ , bir atomu kuşatan ve ilgilenilen herhangi bir olayın meydana gelmesi ile ilgili etkin alan ise, gelen parçacık bu alana düştüğü zaman ilgilenilen olay gerçekleşecektir. Levhanın birim hacmi başına n tane hedef atomu düştüğü ve bu levhanın (hiçbir atomunun diğer atomu üzerine binmeyecek şekilde) ince olduğu kabul edilirse, bu durumda her bir atom gelen parçacıklarla, ilgilenilen olayı gerçekleştirmede eşit şansa sahip olacaktır. Bu durumda ndt , birim yüzey başına düşen atom sayısı ve $A\sigma dt$, A alanındaki toplam atom sayısı olacaktır. Her bir atom ilgilenilen olaya σ etkin alanıyla katıldığından dolayı bu olayın meydana gelmesi için mümkün olan toplam etkin alan, $\sigma A\sigma dt$ olur. Bir ışın demetindeki parçacık sayısı ışının şiddetiyle orantılı olduğundan eğer bir bombardıman demetinde N parçacık varsa ve dilimdeki atomlar ile etkileşen parçacık sayısı dN ise,

$$\frac{dN}{N} = \frac{\text{Toplam etkin alan}}{\text{Hedef alan}} \quad (3.18)$$

ifadesi yazılabilir. Bu durumda

$$\frac{dN}{N} = n\sigma dt \quad (3.19)$$

elde edilir. Belirli bir kalınlıkta, bir dilimdeki atomlar ile gelen parçacıkların etkileşme oranını bulmak için dN/N 'nin integralinin alınması gerekir. Gelen her parçacığın yalnız bir etkileşme oluşturduğu kabul edilirse, dilimin ilk dt kalınlığı içinden geçerken dN adet parçacığın demetten ayrılmış olduğu düşünülebilir. Böylece ifade (-) işareti alır.

$$-\frac{dN}{N} = n\sigma dt \quad (3.20)$$

“Eş (3.20)” ifadesinin integrali alınırsa,

$$N = N_0 e^{-n\sigma t} \quad (3.21)$$

elde edilir. Burada N_0 ince levhaya gelen parçacıkların sayısı ve N , levhanın t kalınlığını geçen parçacıkların sayısıdır. Tesir kesiti σ ile gösterilir ve birimi barn'dır ($1\text{b}=10^{-24}\text{cm}^2$). $n\sigma t$ yeterince küçük olduğu zaman,

$$N = N_0 (1 - n\sigma t) \quad (3.22)$$

yazılabilir. Bu durumda t kalınlığını geçen soğurulan parçacıkların sayısı

$$dN = N_0 n\sigma t \quad (3.23)$$

ifadesi ile verilir. Buradan tesir kesiti için

$$\sigma = \frac{dN}{N_o nt} \tag{3.24}$$

genel ifadesi elde edilir.



4. BULGULAR

4.1. L X-Işınlarının Tesir Kesitleri

Bu çalışmada, atom numarası $40 \leq Z \leq 50$ arasındaki bazı elementlerin Nb, Mo, Tc, Ru, Rh, Pd, Ag, Cd ve In için L alt tabakalarına ait L X-ışını tesir kesitleri ve Coster-Kronig şiddetlendirme faktörleri hesaplanmıştır. Coster-Kronig şiddetlendirme faktörlerini hesaplamak için önce L X-ışını tesir kesitleri “Eş (3.10)”– “Eş (3.15)” denklemleri kullanılarak teorik olarak hesaplandı. Elde edilen L X-ışını flüoresans tesir kesitlerine ait hesaplanan teorik değerler, uyarma enerjisi soğurma kıyı enerjisine yakın enerjiler için, (Çizelge 4.1). – (Çizelge 4.4). verilmektedir.

4.2. Coster-Kronig Şiddetlendirme Faktörleri

Işımasız geçişlerden dolayı L X-ışını şiddetlerinde bir artma olduğu bilinmektedir. Bu olay daha öncede belirtildiği gibi Coster-Kronig şiddetlendirmesi ya da boşluk transferi şiddetlendirmesi olarak adlandırılır. Coster-Kronig şiddetlendirme faktörleri “Eş (3. 16)” ve “Eş (3. 17)” denklemleri kullanılarak Coster-Kronig şiddetlendirme faktörleri teorik olarak hesaplanmıştır. Bu hesaplanan değerler uyarma enerjisi soğurma kıyı enerjilerine yakın enerjiler için, (Çizelge 4.8). ve (Çizelge 4.9). da verilmektedir.

Çizelge 4. 1. Sadece L_3 alt tabakası uyarıldığında elde edilen L X-ışını flüoresans tesir kesitlerine ait teorik değerler (barns/atom)

Element	E(keV)	$\sigma_{L\alpha}$	$\sigma_{L\beta}$	$\sigma_{L\gamma}$
^{41}Nb	2.386	7625.568	228.603	285.754
^{42}Mo	2.539	7631.860	239.010	288.461
^{43}Tc	2.696	7594.797	364.020	281.288
^{44}Ru	2.858	7592.429	463.154	281.201
^{45}Rh	3.025	7406.914	543.777	271.888
^{46}Pd	3.193	7179.044	630.591	266.788
^{47}Ag	3.373	7143.136	706.196	252.413
^{48}Cd	3.560	7152.512	769.280	269.992
^{49}In	3.754	6961.347	812.827	257.528

Çizelge 4. 2 L_3 alt tabakasının, L_2 ve L_1 alt tabakalarının uyarılma enerjilerine göre uyarıldığında elde edilen L_3 X-ışını flüoresans tesir kesitlerine ait teorik değerler (barns/atom)

Element	E(keV)	$\sigma_{L\alpha}$	$\sigma_{L\beta}$	$\sigma_{L\gamma}$
^{41}Nb	2.674	5697.343	2839.378	213.497
	3.000	4188.616	2456.635	157.044
^{42}Mo	2.648	6744.817	3342.646	254.933
	3.000	5020.601	2827.232	187.736
^{43}Tc	2.818	6700.373	3683.536	248.159
	4.000	2640.682	1716.435	097.803
^{44}Ru	2.993	6690.843	3747.400	247.911
	4.000	3113.195	2058.982	115.303
^{45}Rh	3.174	6526.900	3714.000	239.585
	4.000	3570.090	2428.620	131.048
^{46}Pd	3.356	6429.333	3843.551	238.830
	4.000	4100.701	2888.952	152.389
^{47}Ag	3.553	6292.457	3954.592	222.353
	4.000	4683.993	3396.644	165.516
^{48}Cd	3.757	6966.109	4052.371	236.747
	4.022	5295.610	3918.681	200.637
^{49}In	3.970	6194.265	3941.396	229.152
	4.244	5265.774	3925.979	194.688

Çizelge 4. 3. L_2 alt tabakası uyarıldığında elde edilen L X-ışını flüoresans tesir kesitlerine ait teorik değerler (barns/atom)

Element	E(keV)	$\sigma_{L\alpha}$	$\sigma_{L\beta}$	$\sigma_{L\gamma}$
^{41}Nb	2.674	6108.629	2851.708	228.886
^{42}Mo	2.648	7257.042	3388.869	274.294
^{43}Tc	2.818	7220.373	3708.668	267.266
^{44}Ru	2.993	7224.441	3779.950	267.495
^{45}Rh	3.174	7053.793	3822.853	258.752
^{46}Pd	3.356	6942.178	3885.831	257.212
^{47}Ag	3.553	6809.397	4005.698	281.943
^{48}Cd	3.757	6768.870	4108.506	256.397
^{49}In	3.970	6706.630	4241.221	248.106

Çizelge 4. 4. L_I alt tabakası uyarıldığında elde edilen L X-ışını flüoresans tesir kesitlerine ait teorik değerler (barns/atom)

Element	E(keV)	$\sigma_{L\alpha}$	$\sigma_{L\beta}$	σ_{L_I}
^{41}Nb	3.000	5316.673	2607.498	199.289
^{42}Mo	3.000	6244.808	3021.255	233.355
^{43}Tc	4.000	6223.393	3708.668	128.708
^{44}Ru	4.000	4070.968	2222.024	150.701
^{45}Rh	4.000	4620.362	2621.057	169.577
^{46}Pd	4.000	5260.494	3117.180	195.211
^{47}Ag	4.000	5940.055	3662.148	179.088
^{48}Cd	4.022	6659.311	4060.067	252.200
^{49}In	4.244	6653.893	4001.221	246.155

Soğurma kıyı enerjilerine uzak uyarma enerjisinde L X-ışını flüoresans tesir kesitlerine ait teorik değerler (barns/atom) (Çizelge 4.5). – (Çizelge 4.7). ve Coster – Kronig şiddetlendirme faktörleri. (Çizelge 4.10). ve (Çizelge 4.11).de verilmektedir.

Çizelge 4. 5. L_3 alt tabakasının, L_2 ve L_1 alt tabakalarının uyarılma enerjilerine göre uyarıldığında elde edilen L_3 X-ışını flüoresans tesir kesitlerine ait teorik değerler (barns/atom). (Uyarma enerjisi soğurma kıyı enerjisine uzak enerjiler için)

Element	E(keV)	$\sigma_{L\alpha}$	$\sigma_{L\beta}$	$\sigma_{L\gamma}$
^{41}Nb	2.695	5583.339	2787.361	209.225
	4.000	1894.626	1164.554	070.997
^{42}Mo	2.844	5706.678	2796.619	215.695
	4.000	2252.623	1273.443	085.142
^{43}Tc	3.000	5782.665	3126.733	214.172
	5.000	1408.542	0965.655	052.168
^{44}Ru	3.201	5708.729	3156.636	211.434
	5.000	1663.671	1152.588	061.617
^{45}Rh	3.388	5586.511	3211.117	205.066
	5.000	1913.325	1359.586	070.233
^{46}Pd	3.605	5408.541	3392.380	201.222
	5.000	2200.314	1613.727	081.768
^{47}Ag	3.780	5422.560	3407.000	197.184
	5.000	2511.400	1921.502	091.270
^{48}Cd	4.000	5370.237	3493.566	203.464
	5.000	2919.386	2264.099	110.600
^{49}In	4.000	6082.060	3991.672	225.004
	6.000	2019.948	1639.340	074.726

Çizelge 4. 6. L_2 alt tabakası uyarıldığında elde edilen L X-ışını flüoresans tesir kesitlerine ait teorik değerler (barns/atom). (Uyarma enerjisi soğurma kıyı enerjisine uzak enerjiler için)

Element	E(keV)	$\sigma_{L\alpha}$	$\sigma_{L\beta}$	σ_{LI}
^{41}Nb	2.695	5887.238	2799.469	224.289
^{42}Mo	2.844	6130.816	2809.902	232.519
^{43}Tc	3.000	6223.393	3147.858	230.449
^{44}Ru	3.201	6157.500	3184.012	228.137
^{45}Rh	3.388	6032.992	3243.895	221.266
^{46}Pd	3.605	5846.604	3430.553	217.010
^{47}Ag	3.780	5867.911	3451.123	213.353
^{48}Cd	4.000	5818.940	3542.788	220.351
^{49}In	4.000	6598.061	4040.626	244.262

Çizelge 4. 7. L_I alt tabakası uyarıldığında elde edilen L X-ışını flüoresans tesir kesitlerine ait teorik değerler (barns/atom). (Uyarma enerjisi soğurma kıyı enerjisine uzak enerjiler için)

Element	E(keV)	$\sigma_{L\alpha}$	$\sigma_{L\beta}$	σ_{L_I}
^{41}Nb	4.000	2533.348	1268.200	094.924
^{42}Mo	4.000	2985.482	1384.233	112.813
^{43}Tc	5.000	1942.690	1054.580	071.940
^{44}Ru	5.000	2273.575	1259.831	084.169
^{45}Rh	5.000	2579.149	1485.808	094.604
^{46}Pd	5.000	2940.096	1766.050	104.826
^{47}Ag	5.000	3325.721	2098.281	120.842
^{48}Cd	5.000	3838.101	2453.548	145.329
^{49}In	6.000	2726.847	1813.878	100.877

Çizelge 4. 8. $\kappa_{\alpha 1} - \kappa_{l1}$ - and $\kappa_{\alpha 2} - \kappa_{l2}$ - Coster–Kronig şiddetlendirme faktörleri, atom numarası $40 \leq Z \leq 50$ için

Element	E(keV) (L ₂ için)	$\kappa_{\alpha 1} - \kappa_{l1}$	E(keV) (L ₁ için)	$\kappa_{\alpha 2} - \kappa_{l2}$
⁴¹ Nb	2.674	1.072	3.000	1.269
⁴² Mo	2.648	1.075	3.000	1.243
⁴³ Tc	2.818	1.077	4.000	1.316
⁴⁴ Ru	2.993	1.079	4.000	1.307
⁴⁵ Rh	3.174	1.080	4.000	1.294
⁴⁶ Pd	3.356	1.079	4.000	1.282
⁴⁷ Ag	3.553	1.082	4.000	1.268
⁴⁸ Cd	3.757	1.083	4.022	1.257
⁴⁹ In	3.970	1.082	4.244	1.263

Çizelge 4. 9. $\kappa_{\beta 1}$ and $\kappa_{\beta 2}$ Coster–Kronig şiddetlendirme faktörleri, atom numarası $40 \leq Z \leq 50$ için

Element	E(keV) (L ₂ için)	$\kappa_{\beta 1}$ Calculated	E(keV) (L ₁ için)	$\kappa_{\beta 2}$ Calculated
⁴¹ Nb	2.674	1.004	3.000	1.061
⁴² Mo	2.648	1.013	3.000	1.068
⁴³ Tc	2.818	1.007	4.000	1.080
⁴⁴ Ru	2.993	1.008	4.000	1.081
⁴⁵ Rh	3.174	1.020	4.000	1.079
⁴⁶ Pd	3.356	1.011	4.000	1.079
⁴⁷ Ag	3.553	1.012	4.000	1.078
⁴⁸ Cd	3.757	1.013	4.022	1.076
⁴⁹ In	3.970	1.019	4.244	1.076

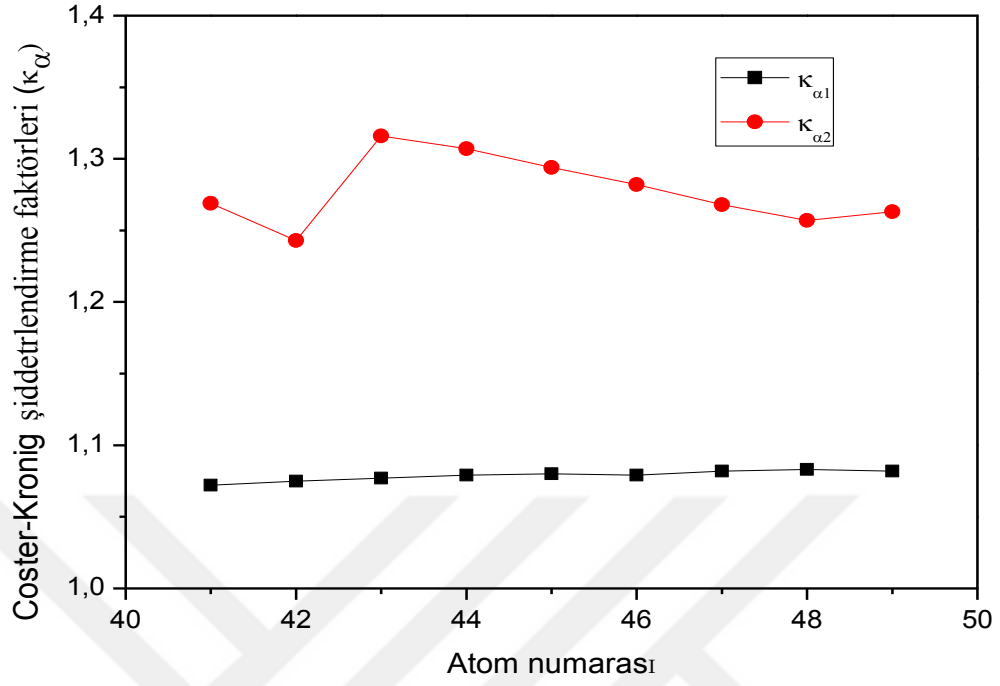
Çizelge 4.10. $\mathcal{K}_{\alpha 1} - \mathcal{K}_{l1}$ - and $\mathcal{K}_{\alpha 2} - \mathcal{K}_{l2}$ Coster–Kronig şiddetlendirme faktörleri, atom numarası $40 \leq Z \leq 50$ için. (Uyarma enerjisi soğurma kıyı enerjisine uzak enerjiler için)

Element	E(keV)	$\mathcal{K}_{\alpha 1} - \mathcal{K}_{l1}$	E(keV)	$\mathcal{K}_{\alpha 2} - \mathcal{K}_{l2}$
	(L ₂ için)		(L ₁ için)	
⁴¹ Nb	2.695	1.072	4.000	1.337
⁴² Mo	2.844	1.078	4.000	1.325
⁴³ Tc	3.000	1.076	5.000	1.379
⁴⁴ Ru	3.201	1.079	5.000	1.366
⁴⁵ Rh	3.388	1.079	5.000	1.347
⁴⁶ Pd	3.605	1.080	5.000	1.336
⁴⁷ Ag	3.780	1.082	5.000	1.324
⁴⁸ Cd	4.000	1.083	5.000	1.314
⁴⁹ In	4.000	1.085	6.000	1.349

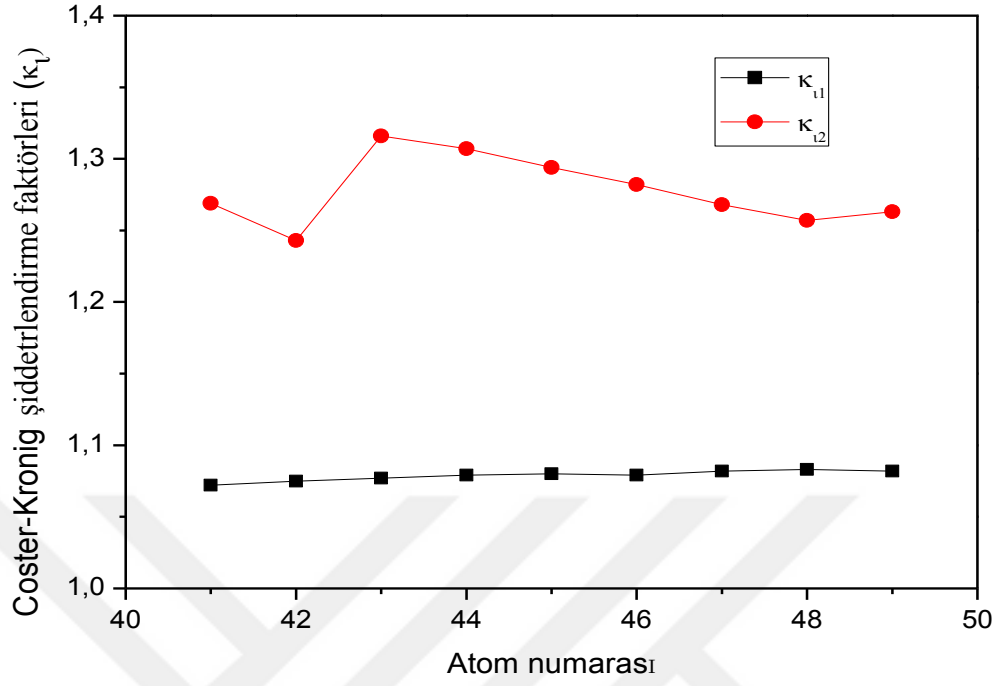
Çizelge 4.11. $\kappa_{\beta 1}$ and $\kappa_{\beta 2}$ Coster–Kronig şiddetlendirme faktörleri, atom numarası $40 \leq Z \leq 50$ için. (Uyarma enerjisi soğurma kıyı enerjisine uzak enerjiler için)

Element	E(keV)	$\kappa_{\beta 1}$	E(keV)	$\kappa_{\beta 2}$
	(L ₂ için)		(L ₁ için)	
⁴¹ Nb	2.695	1.004	4.000	1.132
⁴² Mo	2.844	1.005	4.000	1.087
⁴³ Tc	3.000	1.006	5.000	1.091
⁴⁴ Ru	3.201	1.008	5.000	1.093
⁴⁵ Rh	3.388	1.010	5.000	1.092
⁴⁶ Pd	3.605	1.011	5.000	1.094
⁴⁷ Ag	3.780	1.012	5.000	1.092
⁴⁸ Cd	4.000	1.014	5.000	1.084
⁴⁹ In	4.000	1.012	6.000	1.106

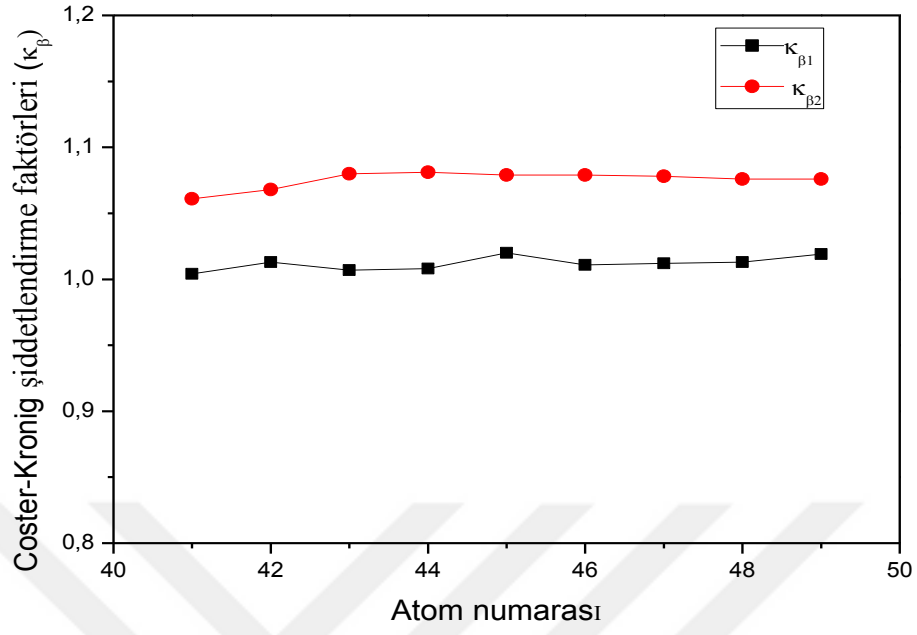
Bu çalışmada elde edilen Coster-Kronig Şiddetlendirme faktörlerine ait değerlerin atom numarasına göre değişimini veren grafikler (Şekil 4.1). – (Şekil 4.6). da verilmektedir.



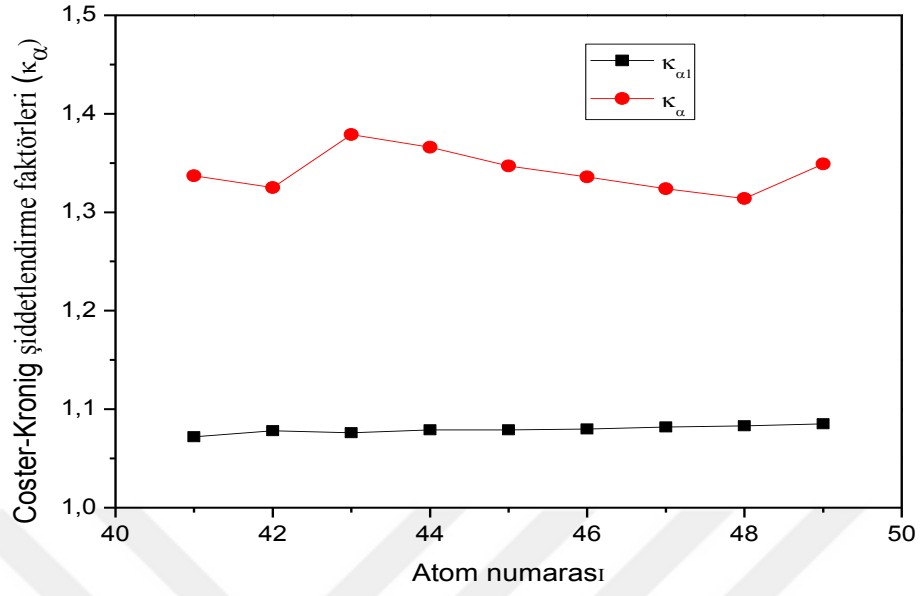
Şekil 4. 1. $\kappa_{\alpha 1}$, $\kappa_{\alpha 2}$ Coster-Kronig şiddetlendirme faktörlerinin atom numarasına göre değişimi.



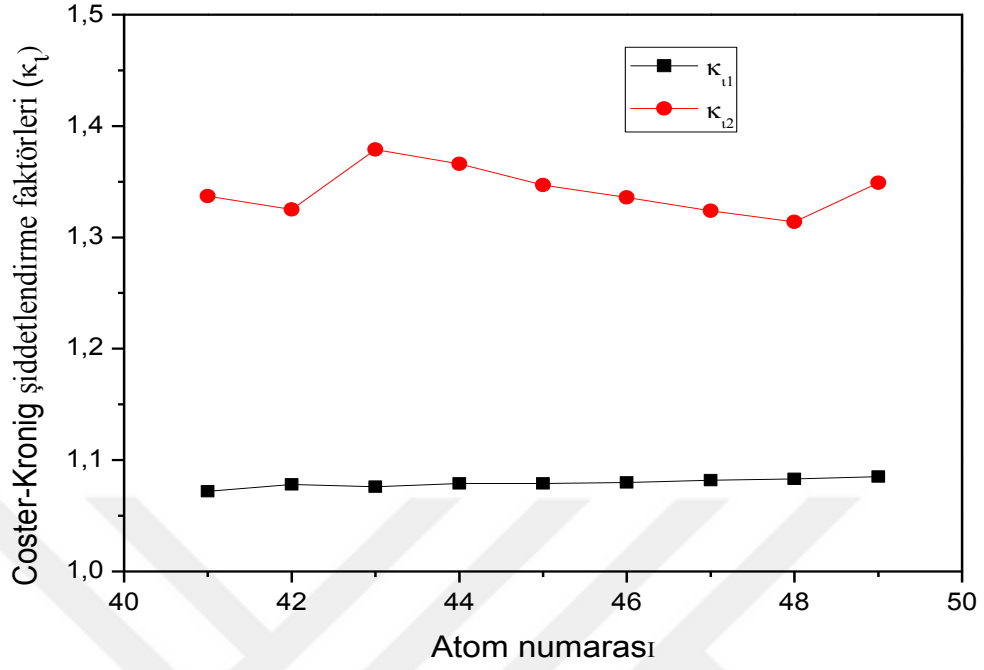
Şekil 4.2. κ_{11} , κ_{12} Coster-Kronig şiddetlendirme faktörlerinin atom numarasına göre değişimi.



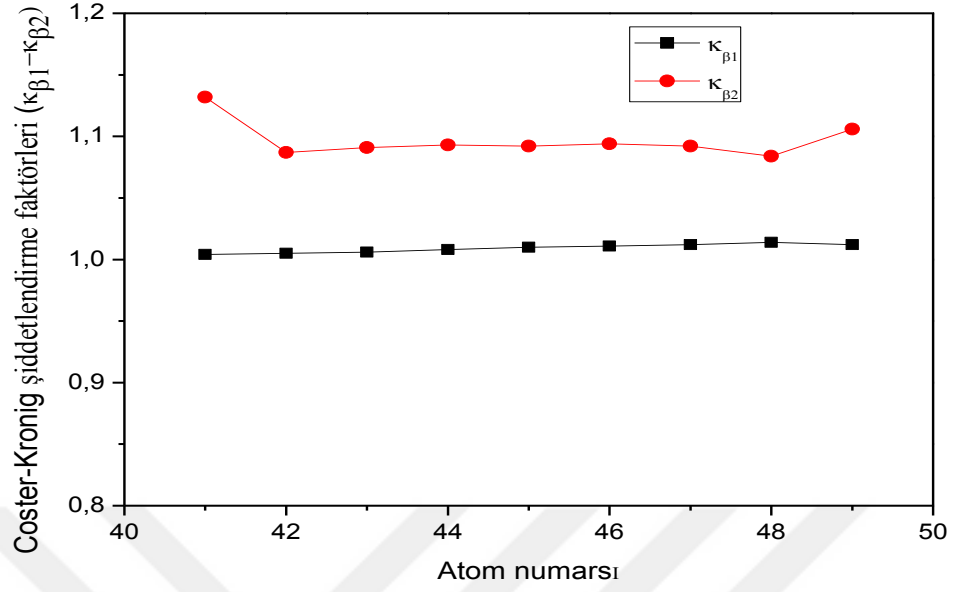
Şekil 4.3. $\kappa_{\beta 1}$ ve $\kappa_{\beta 2}$ Coster-Kronig şiddetlendirme faktörlerinin atom numarasına göre değişimi.



Şekil 4.4. $\kappa_{\alpha 1}$, $\kappa_{\alpha 2}$ Coster-Kronig şiddetlendirme faktörlerinin atom numarasına göre değişimi. (Uyarma enerjisi soğurma kıyı enerjisine uzak enerjiler için).



Şekil 4.5. κ_{11} , κ_{12} Coster-Kronig şiddetlendirme faktörlerinin atom numarasına göre değişimi. (Uyarma enerjisi soğurma kıyı enerjisine uzak enerjiler için).



Şekil 4. 6. $\kappa_{\beta 1}$ ve $\kappa_{\beta 2}$ Coster-Kronig şiddetlendirme faktörlerinin atom numarasına göre değişimi. (Uyarma enerjisi soğurma kıyı enerjisine uzak enerjiler için).

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışmada, atom numarası $40 \leq Z \leq 50$ Aralığında bulunan Nb, Mo, Tc, Ru, Rh, Pd, Ag, Cd, In elementleri için farklı uyarma enerjilerinde L alt tabakalarına ait L X -ışını tesir kesitleri teorik olarak hesaplanmıştır. Daha sonra bu değerlerden yararlanarak incelenen elementlerin L tabakalarına ait Coster-Kronig şiddetlendirme faktörleri hesaplanmıştır.

Elde edilen L X- ışını tesir kesitlerine bakıldığında artan atom numarasına göre arttığı görülmekle beraber, elementlerin L alt tabakalarına ait tesir kesit ve Coster-Kronig şiddetlendirme faktörlerinin uyarma enerjileri bağlı olduğu ve değiştiği görülmektedir. Yapılan incelemelerde, uyarma enerjileri önce absorpsiyon kıyı enerjisine yakın durumda iken L alt tabakalarına ait X ışını flüoresans tesir kesitleri hesaplandı. Daha sonra uyarma enerjisi, absorpsiyon kıyı enerjisinden büyük enerji için L alt tabakası X ışını tesir kesitleri teorik olarak hesaplanmıştır. Absorpsiyon kıyı enerjisine yakın olan uyarma enerjilerinde L-X ışını tesir kesit değerleri uyarma enerjisi absorpsiyon kıyı enerjisinden büyük olanlara göre daha büyük değerler aldığı görülmektedir. Burada, uyarma enerjisinin absorpsiyon kıyı enerjisi ile uyum içinde olduğu zaman beklenen olayın meydana gelmesi daha fazla olduğu görülmektedir. Fakat uyarma enerjisi absorpsiyon kıyı enerjisinden büyük olduğu zaman L-X ışını tesir kesit değerlerinin küçüldüğü görülmüştür.

Bir atomda alt tabakalar arasındaki geçişlerden meydana gelen Coster-Kronig geçişler, bir tabaka içerisindeki boşlukların düzenlenmesine neden olduğu için, yayımlanan X- ışını çizgilerinin şiddetini doğrudan etkiler. Yapılan çalışmada, incelenen elementler için Coster-Kronig şiddetlendirme faktörleri teorik olarak hesaplanmıştır. Absorpsiyon kıyı enerjisine yakın durumda iken şiddetlendirme faktörleri; $\kappa_{\alpha 1}$ 1.072 ile 1.083 arasında değerler alıp % 8,3'lere ; κ_{I1} % 8,3'lere arttığı görülmektedir. Aynı şekilde absorpsiyon kıyı enerjisine yakın durumda iken şiddetlendirme faktörleri; $\kappa_{\beta 1}$ 1.004 ile 1.019 arasında değerler alıp % 2'lere kadar arttığı görülmektedir.

L_1 uyarma enerjisine göre yapılan değerlendirmelerde; $\kappa_{\alpha 2}$, $\kappa_{l 2}$ 1.243 ile 1.316 arasında değerler alıp % 31.6'lara kadar, Absorbsiyon kıyı enerjisine yakın durumda iken şiddetlendirme faktörleri; $\kappa_{\beta 2}$ 1.061 ile 1.081 arasında değerler alıp % 8.1'lere kadar arttığı görülmektedir.

Absorbsiyon kıyı enerjisine uzak durumda iken L_2 uyarma enerjisine göre, şiddetlendirme faktörleri; $\kappa_{\alpha 1}$, $\kappa_{l 1}$ 1.072 ile 1.085 arasında değerler alıp % 8,5'lere kadar şiddetlendirme olduğu görüldü. $\kappa_{\beta 1}$ 1.004 ile 1.014 arasında değerler alıp % 1.4'lere, L_1 uyarma enerjisine göre $\kappa_{\alpha 2}$, $\kappa_{l 2}$ 1.314 ile 1.379 arasında değerler alıp % 37.9'lara, $\kappa_{\beta 2}$ 1.084 ile 1.132 arasında değerler alıp % 13.2'lere kadar arttığı görülmektedir.

Coster-Kronig geçişlerin sebep olduğu şiddetlendirme ile ilgili çalışmalarda; Öz ve ark. (2003, 2004), atom numarası 66 ve 90 arasındaki bazı elementler için $\kappa_{\alpha 1}$, $\kappa_{l 1}$ teoriksel değerleri % 8–9 ve deneysel değerleri %4–6 olarak tespit ettiler. Aynı zamanda $\kappa_{\alpha 2}$, $\kappa_{l 2}$ teoriksel değerleri % 20–30 deneysel değerleri % 14–24; teoriksel $\kappa_{\beta 1}$, %2; $\kappa_{\beta 2}$, % 9–11; deneysel $\kappa_{\beta 1}$, %1–2 ; $\kappa_{\beta 2}$, %8–11 olarak rapor ettiler. Yılmaz ve ark. (2009, 2010a-b, 2011) tarafından yapılan deneysel ve teorik çalışmaları sonucu elde edilen değerler κ_{α} , κ_{l} lerde % 25, teorik hesaplamalarda %31'lere kadar, κ_{β} larda %11'lere kadar X-ışınlarında bir artış olduğunu rapor etmişlerdir. Dolayısıyla yapılan çalışmanın sonuçları ile bu sonuçlar iyi bir uyum içindedir.

Bu çalışmalar sonucunda hesaplanan değerler, absorbsiyon kıyı enerjisine uzak durumda iken X-ışını tesir kesitlerin tersine Coster- Kronig şiddetlendirme faktör değerleri, absorbsiyon kıyı enerjisine yakın iken ki durumdan daha büyük olduğu görülmüştür. Burada meydana gelen L X-ışını şiddetlerindeki artışın enerjiye göre değiştiği ve artışların, Coster-Kronig geçişlerin sebep olduğu teorik

hesaplamalar sonucu görüldü. Elde edilen sonuçlara göre en az şiddetlendirmenin L_{β} X-ışını tesir kesit değerlerinde olduğu görüldü.

KAYNAKLAR

- Ertuğrul, M., 2002. Measurement of L subshell production cross-section and Coster-Kronig transition probability (f_{12}) for Hg and Au elements at the 59.5 keV. **J. Quantitative Spect. and Radiative Transfer**, **72**: 567–574.
- Ferreira, J.G., 1987. *X-ray Spectroscopy, In Atomic And Solid State Physics*. Plenum Press. New York. 423.
- Krause, M. O., Nestor, C. W., Sparks, C. J., Ricci, E., 1978. X-ray fluorescence cross sections for K and L rays of the elements, **Oak Ridge National Laboratory Report**. (ORNL)-5399.
- Krause, M. O., Ricci, E., Sparks, C. J., Nestor, C. W., 1978. Calculation of X-ray fluorescence cross sections for K and L shells, **Adv. X-Ray Anal.** **21**:119–127.
- Öz, E., Ekinci, N., Ertuğrul, M., Şahin, Y., 2003. Measurements of Coster-Kronig enhancement factors of some elements in the atomic number range $66 \leq Z \leq 72$, **X-Ray Spectrum**, **32**:153-157.
- Öz, E., Sahin, Y., Ertuğrul, M., 2004. Measurement of Coster-Kronig enhancement factors of some elements in the atomic number range $74 \leq Z \leq 90$, **Radiation Physics and Chemistry**. **69**: 17–21.
- Öz, E., Ekinci, N., Özdemir, Y., Ertuğrul, M., Şahin, Y., Erdoğan, H., 2001. Measurement of atomic L shell Coster-Kronig yields (f_{12} , f_{23} and f_{13}) for some elements in the atomic number range $59 \leq Z \leq 90$. **J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys.**, **34**: 631-638.
- Öz, E., Özdemir, Y., Ekinci, N., Ertuğrul, M., Şahin, Y. ve Erdoğan, H., 2000. Measurement of atomic L shell fluorescence (L_1 , L_2 , L_3) and Auger (a_1 , a_2 and a_3) yields for some elements in the atomic number range $59 \leq Z \leq 85$, **Spect. Acta Part B** **55**: 1869–1877.
- Puri, S., Singh, N., 2006. Li ($i=1-3$) subshell fluorescence and Coster-Kronig yields for elements with $70 \leq Z \leq 92$, **Radiation Physics and Chemistry** **75**: 2232–2238.
- Rao, P.V., Cesareo, R. and Gigante, G. E., 1995. L X-Ray Fluorescence Cross-Section, Fluorescence Yield and Intensity Ratios For Au and Pb At Excitation Energies. 21.56, 31.64 and 34.17, **Rational Physics Chem.**, **46**: 17-22.
- Scofield, J.H., 1973. **Theoretical Photoionization Cross-Section From 1 keV to 1500 keV**. Lawrence Livermore Laboratory, UCRL 51326 Livermore, California, 374.
- Şahin, M., 1998. **Bazı Elementlerin M Tabakası X-Işınlarnın Üretimi Tesir Kesiti ve Açıl Dağılımlarının Enerji Ayrımlı X-Işını Spektrometrisi ile Ölçülmesi**. Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi, 47.
- Van Grieken, R., Markowich, A., 1993. **Handbook of X-ray spectrometry**. Marcel Dekker, Inc., New York, **14**: 9-10.
- Yılmaz, R., Öz, E., Tan, M., Durak, M. R., Demirel, A. İ., Şahin, Y., 2009. Measurement of Coster-Kronig enhancement factors for Yb, Lu, Os and Pt Elements. **Radiation Physics and Chemistry**, **78**: 318–322.

- Yılmaz, R. and Arıcı K., 2010. Measurements of Coster-Kronig enhancement factors and L Subshell X-Ray Fluorescence Cross-Sections for ^{55}Cs *Asian Journal of Chemistry*, **Vol. 22**, No 7: 5463–5467.
- Yılmaz, R., Taş, R., Babayiğit, R., Arıcı, K., 2011a. Calculation of Coster-Kronig Enhancement Factors for ^{60}Nd and ^{61}Pm at Different Excitation Energies *Asian Journal of Chemistry*, **Vol. 23**, No. 7: 3148-3150.
- Yılmaz, R., Arıcı K., Öz, E., Tan, M., 2011b. Measurement of Coster-Kronig enhancement factors for ^{69}Tm . *Journal of Electron Spectroscopy and Related Phenomena*, **184**: 1-4.
- Bambynek, W., Craseman, N., Fink, R. W., Freund, H.U., Mark, H., Swift, C.D., Price, R.E., Rao, P.V., 1972. X-ray fluorescence yields, Auger and Coster- Kronig transition probabilities. *Rev. Mod. Phys*, **44**: 716-813.
- Ertuğral, B., Apaydın, G., Çevik, U., Ertuğrul, M., Kobyay, A.İ., 2007. K_{β}/K_{α} X-ray intensity ratios for elements in the range $16 \leq Z \leq 92$ excited by 5.9, 59.5 and 123.6 keV photons. *Radiation Physics and Chemistry*, **76**: 15- 22.
- Ertuğrul, M., Söğüt, Ö., Şimşek, Ö., Büyükkasap, E., 2001. Measurement of K_{β}/K_{α} for elements in the range $22 \leq Z \leq 69$ at 59.5 keV, *J. Ph.B*, **34**: 909-914. intensity ratios
- Hubbell, J.H., Trehan, P.N., Singh, Nirmal, Chand. B., Mehta, D., Garg, M.L., Garg, R. R., Singh, Surinder, Puri, S., 1994. A review, bibliography, and tabulation of K, L, and higher atomic shell X-ray fluorescence yields. *J.Phys. Chem. Ref. Data*, **23**: 339-364.
- Kostroun, V.O., Chen, M.H., Crasemana, B., 1971. Atomic radiation transition probabilities to the 1s state and theoretical K- shell fluorescence yields. *Phys. Rev. A*, **3**: 533-545.
- Kumar, R., Rani, A., Singh, R.M., Tiwari, M.K., Singh, A.K., 2016. Measurement of L-XRF cross-sections and Coster–Kronig enhancement factors for ^{62}Sm at excitation energies 6.8, 7.4 and 8 KeV. *Journal of Electron Spectroscopy and Related Phenomena*, **209**: 34-39.

ÖZ GEÇMİŞ

1998 yılında, Ankara Üniversitesi Fen Fakültesi Fizik Bölümü'nde Fizikçi unvanı ile mezun oldu. Daha sonra sırasıyla Anadolu Üniversitesi İktisat Fakültesi Çalışma Ekonomisi ve Endüstriyel İlişkiler (Lisans), Atatürk Üniversitesi Bilgisayar Programcılığı (Ön Lisans), Yüzüncü Yıl Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü İktisat Anabilim Dalı'nda (Tezsiz Yüksek Lisans) ve Kıbrıs Doğu Akdeniz Üniversitesi Eğitim Fakültesi Formasyon Sertifika Programı bölümlerinden mezun oldu. MEB bünyesinde Van'da Fizik Öğretmeni olarak görev yapmaktadır. Eylül 2015'de Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Anabilim Dalı'nda başladığı Yüksek Lisans eğitimine devam etmektedir.



VAN YÜZÜNCÜ YIL ÜNİVERSİTESİ
Fen Bilimler Enstitüsü

LİSANSÜSTÜ TEZ ORJİNALLİK RAPORU

27/06/2019

Tez Başlığı : Atom Numarası $40 \leq Z \leq 50$ Arasındaki Elementlerin L Tabakasına Ait X-Işınları Üzerine Coster-Kronig Geçişlerin Etkisi


Yukarıda başlığı/konusu belirlenen tez çalışmamın Kapak sayfası, Giriş, Ana bölümler ve Sonuç bölümlerinden oluşan toplam 52 sayfalık kısmına ilişkin, 27/06/2019 tarihinde şahsım/tez danışmanım tarafından Turnitin intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtreleme uygulanarak alınmış olan orijinallik raporuna göre, tezimin benzerlik oranı % 3(yüzde üç) tür.

Uygulanan Filtreler Aşağıda Verilmiştir:

- Kabul ve onay sayfası hariç,
- Teşekkür hariç,
- İçindekiler hariç,
- Simge ve kısaltmalar hariç,
- Gereç ve yöntemler hariç,
- Kaynakça hariç,
- Alıntılar hariç,
- Tezden çıkan yayınlar hariç,
- 7 kelimeden daha az örtüşme içeren metin kısımları hariç (Limit match size to 7 words)

Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Lisansüstü Tez Orijinallik Raporu Alınması ve Kullanılmasına İlişkin Yönergeyi İnceledim ve bu yönergede belirtilen azami benzerlik oranlarına göre tez çalışmamın herhangi bir intihal içemediğini; aksinin tespit edileceği muhtemel durumda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve yukarıda vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Gereğini bilgilerinize arz ederim.


27/06/2019
Turgay ÖZMEN
Adı, Soyadı, İmza

Adı Soyadı : Turgay ÖZMEN
Öğrenci No : 149102023
Anabilim Dalı : Fizik
Programı : Yüksek Lisans
Statüsü : Y. Lisans Doktora

DANIŞMAN
Doç. Dr. Rafet YILMAZ
27/06/2019



