

**ATOM NUMARASI $38 \leq Z \leq 101$ OLAN ELEMENTLER İÇİN
N TABAKASINA AİT ORTALAMA FLÖRESANS VERİMLERİN
HESAPLANMASI**

İlkay YAVUZ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İLERİ TEKNOLOJİLER**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**EKİM 2012
ANKARA**

İlkay YAVUZ tarafından hazırlanan “ATOM NUMARASI $38 \leq Z \leq 101$ OLAN ELEMENTLER İÇİN N TABAKASINA AİT ORTALAMA FLÖRESANS VERİMLERİN HESAPLANMASI” adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. Elif ORHAN

.....

Tez Danışmanı, İleri Teknolojiler Anabilim Dalı, G.Ü.

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile İleri Teknolojiler Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Sema Bilge OCAK

.....

Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü, G.Ü.

Doç. Dr. Elif ORHAN

.....

İleri Teknolojiler Anabilim Dalı, G.Ü.

Doç. Dr. Şükrü ÇAVDAR

.....

Fizik Anabilim Dalı, G.Ü.

Tarih: 03/10 /2012

Bu tez ile G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Şeref SAĞIROĞLU

.....

Fen Bilimleri Enstitüsü 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.

İlkay YAVUZ

**ATOM NUMARASI $38 \leq Z \leq 101$ OLAN ELEMENTLER İÇİN
N TABAKASINA AİT ORTALAMA FLÖRESANS VERİMLERİN
HESAPLANMASI
(Yüksek Lisans Tezi)**

İlkay YAVUZ

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

Ekim 2012

ÖZET

Bu tez çalışmasında, $38 \leq Z \leq 101$ arası tüm elementler için N tabakasına ait ortalama flöresans verimler (ϖ_N) ve 6 keV’da toplam N tabakası X-ışını flöresans tesir kesitleri (σ_N^x) teorik olarak hesaplanmıştır.

McGuire’nin [1] vermiş olduğu $38 \leq Z \leq 103$ arası 25 element için N tabakasına ait alttabaka flöresans verimler (ω_i), süper Coster-Kronig geçiş ihtimaliyetleri (S_{ij}) kullanılarak $38 \leq Z \leq 101$ arası tüm elementleri için en küçük kareler metoduyla alttabaka flöresans verimler ($\omega_{N1...N7}$) ve süper Coster- Kronig geçiş ihtimaliyetlerinin (S_{ij}) fit değerleri hesaplandı. Bu fit değerlerinden istifade ile N tabakası etkin alttabaka flöresans verimler (v_i) hesaplandı. N tabakasına ait ortalama flöresans verimler (ϖ_N) türetildi. Ayrıca, 6 keV’da toplam N tabakası X-ışını flöresans tesir kesitleri (σ_N^x) teorik olarak hesaplandı.

Küçük atom numaralı elementlerde Auger geçiş ihtimaliyeti yüksek, büyük atom numaralı elementlerde ise karakteristik X- ışını yayınlama ihtimaliyeti yüksek olduğundan, atom numarası (Z) arttıkça, N tabakası için ortalama flöresans verimler artmaktadır. N tabakasına ait ortalama flöresans verim ve

toplam N tabakası X- ışını flöresans tesir kesit değerlerinde artan Z ile bir artış (~%2.00-13.50) olduğu gözlemlendi.

Literatürde, N tabakası ve daha üst tabakalara ait teorik ve deneysel veriye rastlanmadığı için, N tabakasına ait ortalama flöresans verim (ω_N) ve 6 keV’da toplam N tabakası X-ışını flöresans tesir kesitleri (σ_N^x) için bir karşılaştırma yapılamamıştır.

Bilim Kodu : 202.1.008

**Anahtar kelimeler : Flöresans Verim, X-ışını Flöresans Tesir Kesiti, Etkin
Alttabaka Flöresans Verim, Ortalama Flöresans Verim**

Sayfa adedi : 64

Tez Yöneticisi : Doç. Dr. Elif ORHAN

**CALCULATION OF AVERAGE FLUORESCENCE YIELDS OF N SHELL
FOR ELEMENTS $38 \leq Z \leq 101$**

(M.Sc. Thesis)

İlkay YAVUZ

**GAZİ UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY**

October 2012

ABSTRACT

In this thesis, N shell average fluorescence yields (ω_N) and total N shell X-ray fluorescence cross-sections (σ_N^x) at 6 keV have been calculated theoretically for the elements $38 \leq Z \leq 101$.

Fit values of N subshell fluorescence yields ($\omega_{N1}... \omega_{N7}$) and super Coster-Kronig transitions probabilities (S_{ij}) for elements $38 \leq Z \leq 101$ have been calculated by using the method of least squares from the N shell fluorescence yields (ω_i) and super Coster-Kronig transitions probabilities (S_{ij}) which were given by McGuire [1]. The effective subshell fluorescence yields (v_i) for N shell have been calculated by using these fit values. The average N shell fluorescence yields (ω_N) have been derived from the effective fluorescence yields and total N shell X-ray fluorescence cross-sections (σ_N^x) at 6 keV have been calculated theoretically.

As the atomic number (Z) increases, average fluorescence yields increase for N shell because Auger transition probability increases for low atomic number and the probability of characteristic X-ray emission for high Z. The results show an increase (~2.00%-13.50%) in N shell average fluorescence yield (ω_N) and total N shell X-ray fluorescence cross-sections (σ_N^x) with increasing Z.

There was no the theoretical and experimental data for N shell and higher shell in literature. Therefore, there was no comparison for average fluorescence yield (ω_N) and total X-ray fluorescence cross-sections (σ_N^x) at 6 keV for N shell.

Science Code : 202.1.008

**Key Words : Fluorescence Yield, X-Ray Fluorescence Cross-section,
Effective Subshell Fluorescence Yield, Average
Fluorescence Yield**

Page Number : 64

Adviser : Assoc. Prof. Dr. Elif ORHAN

TEŞEKKÜR

Tez çalışmamın her aşamasında yakın ilgi ve desteğini gördüğüm; çalışmalarımın yönlendirilmesi ve sonuçlandırılmasında büyük emeği geçen tez danışmanım Sn. Doç. Dr. Elif ORHAN' a teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER.....	ix
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	xi
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xiv
1. GİRİŞ.....	1
2. TEORİK BİLGİLER.....	5
2.1. Elektromanyetik Radyasyonun Madde ile Etkileşimi.....	5
2.1.1. Fotoelektrik olay.....	5
2.1.2. Saçılma olayı.....	6
2.1.3. Çift Oluşumu.....	10
2.2. Soğurma Katsayıları ve Soğurma Kırılırları	10
2.3. X-Işınlarının Meydana Gelmesi.	12
2.3.1. Sürekli X-ışınları.....	12
2.3.2. Karakteristik X-ışınları.....	14
2.4. X-Işını Enerji Seviyeleri.....	18
2.5. Genel Birincil Flöresans Şiddet Denklemi.....	21
2.6. Flöresans Verim ve Coster-Kronig Geçişler.....	24
2.7. Auger Olayı	29

Sayfa

2.8. Karakteristik X-Işını Tesir Kesitleri.....	30
3. N TABAKASINA AİT ORTALAMA FLÖRESANS VERİMLERİN HESAPLANMASI.....	33
4. SONUÇ	58
KAYNAKLAR.....	60
ÖZGEÇMİŞ	64

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. X-Işını diyagram çizgilerinin Siegbahn ve IUPAC gösterimleri.....	20
Çizelge 3.1. N_1 alttabakası için flöresans ve Coster- Kronig verimler.....	35
Çizelge 3.2. N_2 alttabakası için flöresans ve Coster- Kronig verimler.....	37
Çizelge 3.3. N_3 alttabakası için flöresans ve Coster- Kronig verimler.....	39
Çizelge 3.4. N_4 , N_5 ve $N_{6,7}$ alttabakaları için flöresans ve Coster- Kronig verimler..	41
Çizelge 3.5. N tabakasına ait etkin alttabaka flöresans verimler.....	46
Çizelge 3.6. N tabakasına ait toplam X-ışını flöresans verimler.....	51
Çizelge 3.7. N tabakasına ait ilk boşluk bağlı sayıları.....	54
Çizelge 3.8. N tabakasına ait ortalama flöresans verimler.....	55

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Fotoelektrik olay.....	6
Şekil 2.2. Compton olayı.....	9
Şekil 2.3. Çift oluşumu.....	10
Şekil 2.4. Soğurma kıyıları.....	12
Şekil 2.5. X-ışınlarının oluşumu.....	13
Şekil 2.6. Sürekli X-ışını.....	14
Şekil 2.7. Karakteristik X-ışını oluşumu.....	15
Şekil 2.8. Karakteristik X-ışını spektrumu.....	15
Şekil 2.9. Orbitaler arasındaki elektron geçişi ve oluşan X-ışınlarının isimlendirilmesi.....	16
Şekil 2.10. X-ışını enerji seviyeleri diyagramı.....	19
Şekil 2.11. X-ışını flöresans şiddeti hesaplamasındaki bileşenler.....	21
Şekil 2.12. Auger Olayı, Coster-Kronig ve Süper Coster-Kronig Geçişler.....	26
Şekil 2.13. İnce bir levha üzerine gelen ışın demeti.....	31
Şekil 3.1. N_1 alttabaka flöresans verim.....	43
Şekil 3.2. N_2 alttabaka flöresans verim.....	43
Şekil 3.3. N_3 alttabaka flöresans verim.....	44
Şekil 3.4. N_4 alttabaka flöresans verim.....	44
Şekil 3.5. N_5 alttabaka flöresans verim.....	45
Şekil 3.6. $N_{6,7}$ alttabaka flöresans verim.....	45
Şekil 3.7. N_1 etkin alttabakası için flöresans verim.....	48
Şekil 3.8. N_2 etkin alttabakası için flöresans verim	48

Şekil	Sayfa
Şekil 3.9. N_3 etkin alttabakası için flöresans verim	49
Şekil 3.10. N_4 etkin alttabakası için flöresans verim	49
Şekil 3.11. N_5 etkin alttabakası için flöresans verim	50
Şekil 3.12. $N_{6,7}$ etkin alttabakası için flöresans verim	50
Şekil 3.13. N tabakasına ait ortalama flöresans verim.....	57

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler	Açıklama
c	ışık hızı ($2,9979 \cdot 10^8 \text{ m.s}^{-1}$)
e	elektronun yükü
$\varepsilon (E_i)$	dedektör verimi
E	enerji (J) ($1 \text{ J} = 10^7 \text{ erg.}$)
f_i	analit ışını yayınlanmasına sebep olan yörüngesel elektron geçiş olasılığı
f_{ij}	Coster-Kronig geçiş ihtimaliyeti
h	Planck Sabiti ($6.62 \times 10^{-34} \text{ J.s}$)
I	X- ışını demeti şiddeti
J_{Ki}	K-L atlama faktörü
μ	lineer soğurma katsayısı
N	boşluk geçiş ihtimaliyeti
S_{ij}	süper Coster-Kronig geçiş ihtimaliyeti
τ_i	i elementinin fotoelektrik kütle soğurma katsayısı
f	frekans
v	etkin alttabaka flöresans verim
ω	flöresans verim
$\bar{\omega}$	ortalama flöresans verim
λ	dalgaboyu
ρ	madde yoğunluğu
σ	tesir Kesiti
Z	atom Numarası

Kısaltmalar**Açıklama****CK**

Coster-Kronig

SCK

süper Coster-Kronig

1. GİRİŞ

Atom içerisinde elektronların düzenlenişi ve tabakalara bölünüşü hakkındaki bilgiler atomların verdikleri spektrumların incelenmesi sonunda elde edilmektedir. İç tabaka elektronları, çeşitli yollarla sökülerek iyon haline getirilmiş atomlarda, radyoaktif bozunmalarda, elektronların yeniden düzenlenişi ışımalı (radiative) ve ışımasız (nonradiative) geçişlerle olmaktadır. Işımasız geçişler ve Coster-Kronig (CK) geçişlerin keşfedilmesinden bu yana ışımalı ve ışımasız geçişler ve bunlar arasındaki bağıntılar birçok teorik ve deneysel çalışmanın konusu olmuştur. Elementlerin K, L, M ve N tabakalarına ait flöresans tesir kesitleri ve flöresans verim değerlerinin bilinmesi; bilimsel araştırmalarda özellikle nükleer santrallerde ve diğer nükleer tesislerde radyasyondan korunma, radyoaktif maddelerin muhafazası, uzay çalışmalarında, hatta cep telefonlarının kullanımı ve üretilmesinde kullanılmaktadır. Bununla birlikte medikal uygulamalarda, tıpta biyolojik doku analizinde, radyasyon terapisinde doktor ve hasta sağlığı için, plastik materyallerde, polimerlerde, mineral içeren ve içermeyen bileşiklerin incelenmesinde, içeriği bilinmeyen maddelerin konsantrasyon analizi ve yapısal özelliklerinin belirlenmesinde, atom ve moleküllerde elektron yoğunluğu ve kütle yoğunluğu, kütle soğurma katsayısı gibi sabitlerin elde edilmesinde ve buna benzer bir çok alanda geniş bir şekilde kullanılmaktadır.

İç tabaka boşlukların yeniden düzenlenmesine neden olan CK ve süper Coster-Kronig (SCK) geçişler aynı tabakanın alttabakaları arasında boşlukların yeniden dağılımına sebep olmaktadır. Bu geçişler, L, M, N ve daha üst tabakalarında gerçekleşmektedir. Bu geçişler enerjik olarak müsadeli olduğu zaman, CK ve SCK geçişler, boşlukları 10^{-17} s gibi kısa bir zaman aralığında ilgili tabakanın daha yüksek alttabakalarına kaydırır. Bu geçişlerin bozunma zamanları, ışımalı ve Auger geçişleri ile kıyaslandığında çok büyük bir farklılığa sahiptir. CK geçiş aynı baş kuantum sayısına sahip ($\Delta n=0$) iki seviye arasında gerçekleşir ve daha dış kabukdan (farklı n) bir elektron fırlatılır. SCK ışımasız geçiş, aynı tabaka (CK gibi, $\Delta n=0$) içinde gerçekleşir fakat, elektron aynı tabaka içinden fırlatılır. Bu ışımasız geçişler iki

elektron işlemi olup, L_i , M_i veya N_i alttabakalarındaki ilk boşlukların dağılımını tabakadan tabakaya geçişlerdeki zamandan daha hızlı bir sürede (yaklaşık 10^{-17} s) değiştirir, yani yeniden dağılımına sebep olur. Bu yüzden alttabaka flöresans verimler ve ortalama flöresans verimler hesaplanırken bu geçişle dikkate alınmalıdır.

Alttabaka flöresans verimler, X-ışını flöresans (XRF) tesir kesitlerinin incelenmesinde, XRF tekniğiyle yüzeylerin kimyasal analizinde ve sağlık fiziği, madde içerisinde ışınımsal enerji ve radyasyondan korunmada, atom fiziği çalışmalarında, kanser tedavisinde, endüstriyel ışınlama işlemlerinde ve astrofizik için dozimetrik hesaplamalarda önem arz etmektedir [1-8]. Buna ek olarak, nicel analizler, CK verimler hakkında doğru bir bilgi gerektirmektedir. Literatür incelemesinde, K, L ve M tabakalarına ait flöresans verimler, periyodik cetveldeki tüm aralıktaki elementler için teorik ve deneysel olarak çalışılmıştır. L tabakasına ait alttabaka ve ortalama flöresans verimler, flöresans tesir kesitleri ve CK geçişler için teorik ve deneysel veriler, K tabakası kadar yaygın olmamasına rağmen çok sayıdaki elementler için mevcuttur [9-22]. Buna ilaveten M tabakasına ait mevcut teorik ve deneysel veriler çok azdır [7, 23-25]. Özellikle N tabakasına ait teorik veriler çok yetersizdir. Literatürde N tabakası X-ışınları üzerine birkaç çalışma mevcuttur [26-28]. N tabakasına ait alttabaka flöresans verimler ve CK geçiş ihtimaliyetleri sadece $38 \leq Z \leq 103$ aralığındaki 25 element için teorik olarak hesaplanmıştır. Söğüt, çalışmasında $38 \leq Z \leq 103$ arasındaki elementler için McGuire'ın vermiş olduğu N tabakasına ait alttabaka flöresans verimler ve CK geçiş değerlerinden istifadeyle en küçük kareler metodunu kullanarak $38 \leq Z \leq 103$ tüm elementler için N tabakasına ait alttabaka flöresans verim ve CK geçişlerin fit değerlerini hesaplamıştır [1, 29]. Tuzluca, tez çalışmasında, L tabakası flöresans verim ve X-ışını şiddet oranlarının deneysel değerlerini kullanarak Hf, Ta, W, Re, Pt, Au, Hg, Tl, Pb, Bi, Th, U elementleri için L tabakasından M ve N tabakasına boşluk geçiş ihtimalleri, η_{L3M} ve η_{L3N} , deneysel olarak ölçmüştür [30]. Apaydın, tez çalışmasında, $65 \leq Z \leq 92$ arasındaki atom numarasına sahip bazı elementlerin K ve L tabakasına ait üretim tesir kesitleri, flöresans verim ve şiddet oranları gibi X-ışını flöresans parametrelerini deneysel olarak ölçmüş, teorik olarak da hesaplamıştır [31]. Dözen, tez çalışmasında

atom numarası $73 \leq Z \leq 83$ aralığındaki elementlerin toplam M tabakası X-ışını üretim tesir kesitleri, 5.96 keV' lik uyarıcı fotonlarla deneysel olarak ölçmüş ve teorik olarak hesaplamıştır [32]. Tarakçıoğlu, tez çalışmasında flöresans veriminin deneysel değerlerini kullanarak K, Ca, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As, Se, Sr, Mo, Ag, Cd, Ba, La ve Ce element ve bileşikleri için Auger verimini ve K tabakasından L tabakasına toplam boşluk geçiş ihtimalleri deneysel olarak hesaplamıştır [33]. Hubbell ve arkadaşlarının, K, L ve M tabakalarına ait 1978-1993 yıllarını kapsayan X-ışını flöresans verim değerleri üzerine bir inceleme çalışması mevcuttur. X-ışını verim ölçümleri, analizler ve fit değerleri bu çalışmada sunulmuştur [34]. Öz, tez çalışmasında, atom numarası $25 \leq Z \leq 101$ olan elementler için L ve M tabakalarına ait ortalama flöresans verimleri, ortalama Auger verimleri ve toplam X-ışını flöresans tesir kesitlerini hesaplamış ve diğer araştırmacıların sonuçları ile karşılaştırmıştır [35]. Öz, ve arkadaşları, bir başka çalışmada, $29 \leq Z \leq 100$ aralığındaki elementler için M tabakasına ait ortalama flöresans verimleri hesaplamıştır [36]. Öz, ve arkadaşlarının, $25 \leq Z \leq 101$ aralığındaki elementler için L tabakasına ait ortalama flöresans verimlerinin hesaplanması üzerine çalışması da mevcuttur [37].

Yukarıdaki tartışmalardan ve literatür araştırmasından açıkça anlaşılmaktadır ki karakteristik X-ışını şiddetleri üzerine boşlukların yeniden düzenlenişinin etkisi araştırılmalıdır. Çünkü bu etki karakteristik X-ışını şiddetini direk etkilemektedir. X-ışını spektroskopik çalışmalarda nicel analizler için bu etkinin doğru olarak belirlenmesi gerekmektedir. Bu tez çalışmasının, X-ışını spektroskopi alanında birçok araştırmaya katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Literatürde N tabakası ve üzeri tabakalara ait ortalama flöresans verimler değerleri için teorik ve deneysel verilere pek rastlamak mümkün değildir. Bu tez çalışmasının amacı, literatürdeki bu eksikliğin giderilmesi ve X-ışını spektroskopi alanında birçok araştırmaya katkı sağlaması üzerine temellenmektedir.

Bu tez çalışmasında $38 \leq Z \leq 101$ arası tüm elementler için N tabakasına ait ortalama flöresans verimler (ϖ_N) ve 6 keV'da toplam N tabakası X-ışını flöresans tesir kesitleri (σ_N^x) teorik olarak hesaplanmıştır. N tabakası ortalama flöresans verimlere (ϖ_N) ait teorik ve deneysel bir bilgiye literatürde rastlanmadığı için karşılaştırma yapılamamıştır.

2. TEORİK BİLGİLER

2.1. Elektromanyetik Radyasyonun Madde ile Etkileşimi

Herhangi bir dalgaboyundaki bir X-ışını demeti, bir madde içine girdiğinde çıkan ışın demetinin şiddetinde bir azalma olur. I_0 şiddetinde bir X-ışını demeti, t kalınlığındaki bir madde içine girdikten sonra şiddetindeki azalma,

$$I(E) = I_0(E).e^{-\mu t} \quad (2.1)$$

olarak ifade edilir. Buna Lambert Beer kanunu denir. Burada μ ; lineer soğurma katsayısı olup etkileşen maddeye ve demetin enerjisine bağlıdır. Lineer soğurma katsayısı, birim kalınlık başına düşen soğurulmadır.

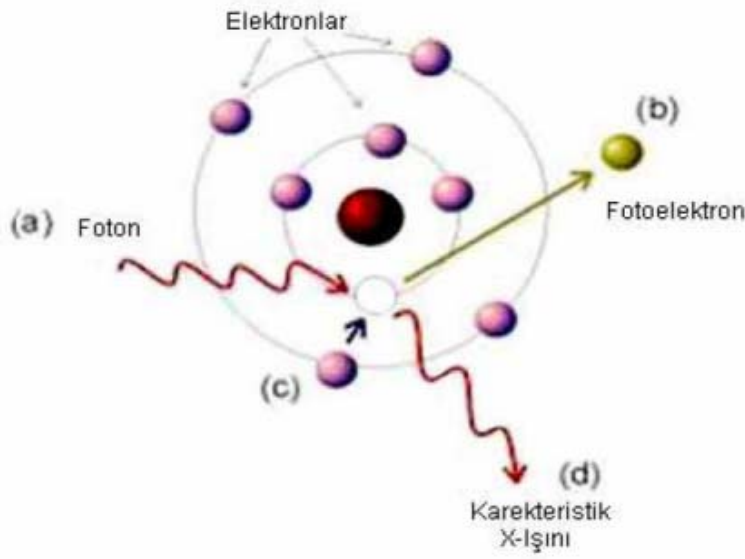
Madde içine giren elektromanyetik radyasyon, madde atomuna bağlı elektronlar, serbest elektronlar ve çekirdekle etkileşirler. Bu etkileşim sonucunda;

- ◆ Fotoelektrik Olay ($0,001 \text{ MeV} < E < 0,5 \text{ MeV}$)
- ◆ Saçılma ($0,1 \text{ MeV} < E < 10 \text{ MeV}$)
- ◆ Çift oluşumu ($> 1,02 \text{ MeV}$)

olayları meydana gelir.

2.1.1. Fotoelektrik olay

Düşük enerjili bir foton genellikle içinden geçtiği ortamdaki atomların K veya L yörüngesindeki bir elektrona bütün enerjisini vererek onu pozitif yüklü çekirdeğin bağlayıcı kuvvetinden kurtarır. Dışarıya fırlatılan bu elektrona fotoelektron denir. Şekil 2.1’de gösterildiği gibi oluşan elektron boşluğu dış yörüngedeki başka bir elektron tarafından doldurulur ve bu sırada X-ışını yayınlanır [38].



Şekil 2.1. Fotoelektrik olay [38]

Bu olay sırasında gelen fotonun enerjisinin bir kısmı elektronu bağlı olduğu atomdan koparabilmek için harcanır, geri kalan kısmı ise koparılan elektrona kinetik enerji olarak aktarılır.

$$h\nu = E_{Bağlanma} + E_{Kinetik} \quad (2.2)$$

2.1.2. Saçılma Olayı

Elektromanyetik radyasyonun madde ile etkileşimi olaylarından biri olan saçılma, gelen ve saçılan ışının enerjisine göre koherent ve inkoherent olarak iki şekilde gruplandırılır [32].

Koherent saçılma

Koherent saçılma, fotonların atomdan, enerjilerinde bir değişiklik olmadan saçılması olarak tarif edilir. Elastik veya Rayleigh saçılması olarak da adlandırılabilir. Bu saçılmada gelen fotonla saçılan fotonun dalga boyları aynıdır. Gelen ve saçılan radyasyonun toplam şiddeti, her bir elektron tarafından saçılan radyasyonun

genliklerinin toplamı ile bulunur. Bu saçılma, Rayleigh, Delbruck, Thomson ve Nükleer Rezonans saçılmaları olarak sınıflandırılır.

Rayleigh saçılması

Bu olay, gelen bir foton bağlı bir elektron üzerine düştüğünde, elektronun atomdan sökülecek kadar enerji alamadığı hallerde meydana gelir. Bu yüzden düşük foton enerjilerinde ve yüksek atom numaralı ağır elementlerde daha çok meydana gelmektedir. Bu saçılmada gelen fotonun enerjisi, 0,1- 0,5 MeV arasında olması gereklidir. Büyük enerjili fotonların hafif elementlerden saçılmasında Rayleigh saçılması, Compton saçılması yanında ihmal edilebilir. Rayleigh saçılması, elektronun etkileşmeden sonra orijinal pozisyonuna döndüğü saçılma olarak da tanımlanabilir.

Delbruck saçılması

Bu saçılmaya elastik nükleer potansiyel saçılma da denilmektedir. Delbruck saçılması fotonun, çekirdeğin oluşturduğu Coulomb alanından saçılmasıdır. Bu olayda çekirdek çevresindeki durgun Coulomb alanında bir elektron-pozitron çifti oluşur. Atomun tamamen geri tepmesiyle bu çiftin yok olması enerji ve faz bakımından, gelen fotonun aynısı olan yeni bir foton meydana getirir. Bu olayın etkisi oldukça küçük olduğundan deney sonuçlarında çok net olarak gözlenememektedir.

Thomson saçılması

Klasik olarak bir tek yük sistemi gibi düşünülen çekirdek, gelen dalga tarafından salındırılır. Çekirdeğin kütlesi çok büyük olduğundan bu etki çok küçüktür. Gelen fotonun dalga boyunun nükleer yarıçaptan çok büyük olması durumunda maksimum etki gözlenir.

Nükleer rezonans saçılma

Bu saçılma olayı, fotonun atom çekirdeği ile etkileşmesi sonucu meydana gelir. Bu olayda çekirdek iki nükleer enerji seviyesi arasındaki farka eşit enerjiye sahip olan bir fotonun soğurulması ile uyarılır. Daha sonra bunu çekirdeğin uyarılmış durumdan kurtulması (deeksitasyonu) takip eder.

İnkohorent saçılma

İnkohorent saçılmada gelen ve saçılan fotonlar arasında enerji farkı vardır. Yani gelen ve saçılan fotonların dalga boyları birbirinden farklıdır. Bu saçılmada fazlar arasında bir bağlantı yoktur. Bu sebeple de saçılan dalgalar arasında bir girişim gözlenemez. Bu durumda atom tarafından saçılan ışının toplam şiddeti, atomun her bir elektronu tarafından saçılma şiddetleri toplanarak elde edilir. İnkohorent saçılma, Compton saçılması, Nükleer saçılma ve Raman saçılması olmak üzere üç çeşittir.

Compton saçılması

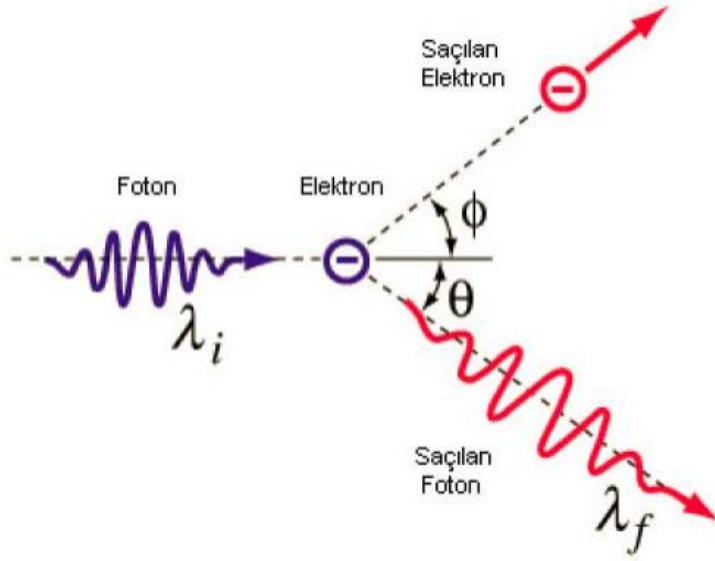
Atoma gevşek olarak bağlanmış bir dış yörünge elektronu, enerjisi kendisine kıyasla çok daha büyük olan bir fotonla çarpışması sonucunda meydana gelen olaya Compton saçılması denir (Şekil 2.2). Elektron kütleli bir parçacık olduğu için fotonun bütün enerjisini soğurulması momentumun korunumu gereği mümkün değildir. Dolayısıyla foton, enerjisinin bir kısmını elektrona aktarır saçılma uğrayarak yoluna devam eder. Foton ile elektron arasında oluşan açı fotonun enerjisine bağlıdır. Gelen fotonun dalgaboyu ile saçılan fotonun dalgaboyu arasındaki fark:

$$\Delta\lambda = \lambda_f - \lambda_i = \frac{h}{m_0c}(1 - \cos \theta) \quad (2.3)$$

denklemi ile verilir. Buradaki $\frac{h}{m_0c}$ Compton dalgaboyu olarak adlandırılır.

Energileri 0,5 – 2,0 MeV arasında olan fotonların hafif elementlerden oluşan ortamlar

tarafından soğurulmasında bu olay diğerlerine göre daha önemlidir. Yüksek enerjili fotonlar enerjileri belirli bir seviyeye düşene kadar Compton saçılımına uğrarlar bu andan sonra da fotoelektrik olayla soğurulurlar. Çünkü sadece Compton saçılımı ile fotonlar tamamen soğurulamazlar [38].



Şekil 2.2. Compton olayı [38]

Nükleer saçılma

Bu saçılma İnkohherent saçılma olarak da adlandırılabilir. Fotonun atomun çekirdeği ile etkileşmesi sonucu meydana gelmektedir. Bu saçılmanın toplam İnkohherent saçılmadaki hissesi oldukça azdır.

Raman saçılması

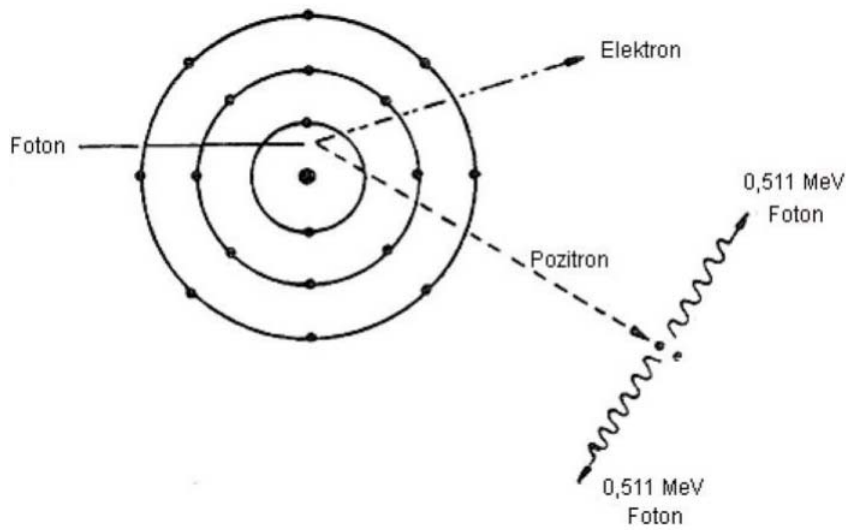
Fotonun moleküller tarafından soğurulması olayıdır. Bu saçılmada, fotunu soğuran molekül, soğurmadan önce uyarılmış bir durumda değilse, gelen fotondan daha az enerjiye sahip bir foton yayınlar. Fakat molekül uyarılmış titreşim veya dönme enerji seviyesinde ise o zaman daha fazla enerjiye sahip bir foton yayınlar.

2.1.3. Çift Oluşumu

Eğer, fotonun enerjisi yeteri kadar büyük ise ve bu foton atom çekirdeğinin çok yakınından geçerse, kütlesi olmayan fotonun enerjisinden çekirdek yakınında aynı anda biri negatif yüklü elektron diğeri pozitif yüklü pozitron olmak üzere iki parçacık oluşur. Böylece elektromanyetik bir dalgadan madde oluşur.

$$h\nu = m_{e^+} + m_{e^-} + T_{e^+} + T_{e^-} \quad (2.4)$$

Şekil 2.3'teki gibi bir çift oluşumunun meydana gelebilmesi için, fotonun enerjisinin en az $2 \times 0,511 = 1,022$ MeV olması gerekir. Foton enerjisinin daha büyük olduğu durumlarda ise bu enerjinin artı kalan kısmı elektron ve pozitrona kinetik enerji olarak aktarılır.



Şekil 2.3. Çift oluşumu [38]

2.2. Soğurma Katsayıları ve Soğurma Kısılları

Eş. 2.1'de tanımlanan lineer soğurma katsayısı μ' nün madde yoğunluğuna oranına kütle azaltma katsayısı denir. Kütle azaltma katsayısı $\frac{\mu}{\rho}$ ile ifade edilir. Hem

fotoelektrik olay, hem saçılma hem de çift oluşum olayı madde ile etkileşen ışın demetinin şiddetinde azalmaya neden olmaktadır. Öyleyse bu olayların her birinin tesir kesitlerinin toplamı, toplam soğurma katsayısını verir.

Bu ifade,

$$\frac{\mu}{\rho} = \frac{\tau}{\rho} + \frac{\sigma}{\rho} + \frac{\kappa}{\rho} + \dots \quad (2.5)$$

olarak yazılır. Yukarıdaki ifadede, ρ (gr/cm³) maddenin yoğunluğu, τ/ρ fotoelektrik kütle soğurma katsayısı, σ/ρ saçılma kütle soğurma katsayısı, κ/ρ ise çift oluşumu kütle soğurma katsayısını temsil etmektedir [33].

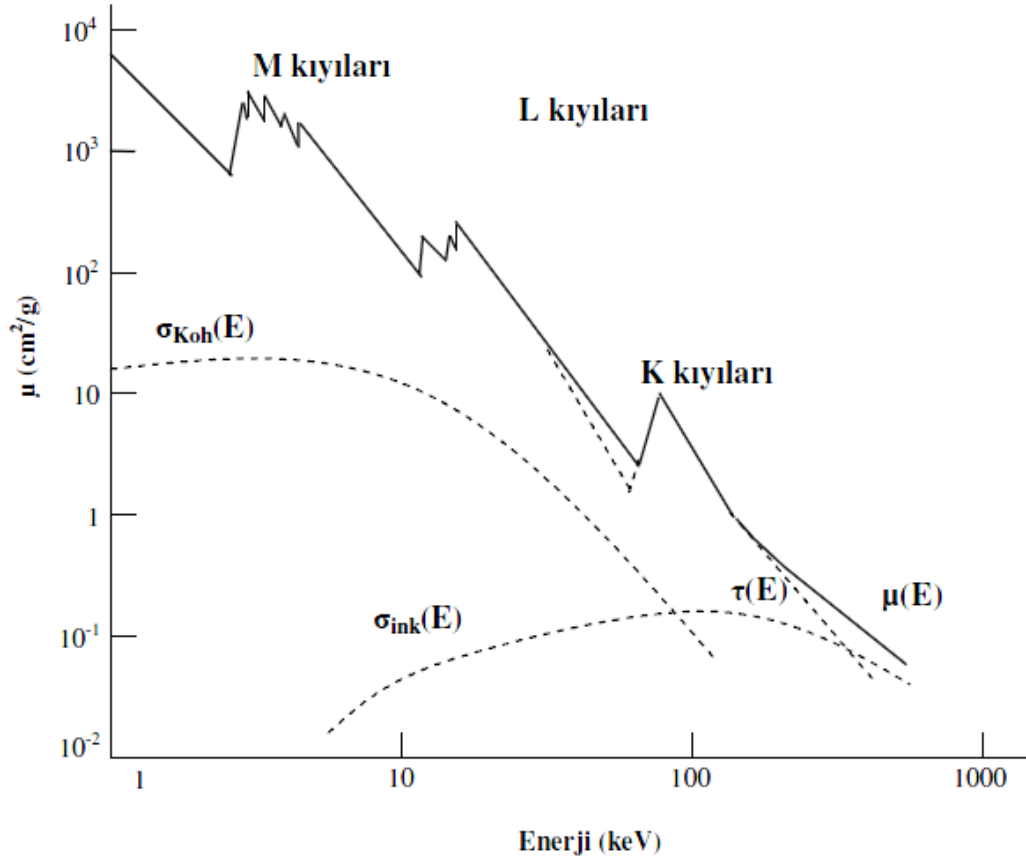
τ/ρ toplam fotoelektrik soğurma katsayısı, atomun enerji seviyelerine bağlı olarak yazılırsa;

$$\left(\frac{\tau}{\rho}\right)_E = \left(\frac{\tau}{\rho}\right)_{E,K} + \left(\frac{\tau}{\rho}\right)_{E,L_I} + \left(\frac{\tau}{\rho}\right)_{E,L_{II}} + \left(\frac{\tau}{\rho}\right)_{E,L_{III}} + \dots \quad (2.6)$$

$$\left(\frac{\tau}{\rho}\right)_E = \sum_i \left(\frac{\tau}{\rho}\right)_{E_i} \quad (i = K, L_I, L_{II}, L_{III}, \dots) \quad (2.7)$$

Eş. 2.7, E enerjili bir foton için fotoelektrik soğurma katsayısını verir [33].

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 kısıtı olarak adlandırılır. Her bir atomun çeşitli soğurma kısıtları vardır. Bir atomun K kabuğu için bir, L kabuğu için üç, M kabuğu için beş, N kabuğu için yedi soğurma kısıtı vardır. Her atomun soğurma kısıtı enerjisi, dış yörüngeden iç yörüngeye doğru artmaktadır [33].



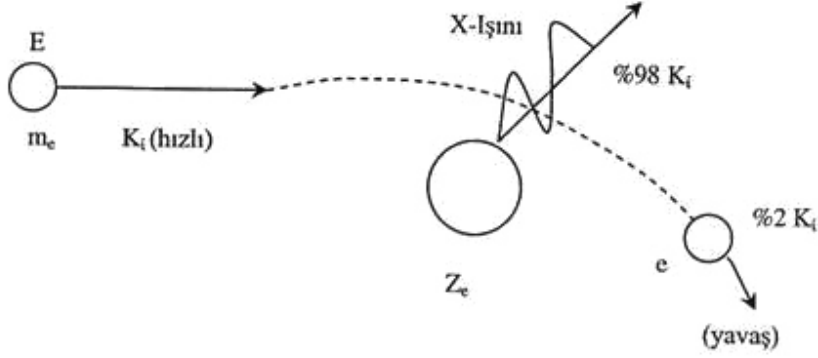
Şekil 2.4. Soğurma kırıyaları [33]

2.3. X-Işınlınının Meydana Gelmesi

2.3.1. Sürekli X-ışınları

Hedefe gelen yüksek hızlı elektron, atomun çekirdeğine yaklaşırken elektronun negatif yükü ile çekirdeğin pozitif yükü etkileşir ve çekirdeğe doğru bir sapma olur. Sapan elektronun hızı dolayısı ile enerjisi azalır. Bu enerji azalması sürekli X-ışını (bremsstrahlung) olarak ortaya çıkar (Şekil 2.5). Bu ışınlar sürekli denmesinin sebebi ise enerji spektrumlarının sürekli olmasındandır. Yani, sürekli X-ışınlarının enerji aralığı, hemen hemen sıfırla yüksek hızlı elektronun maksimum enerjisi arasındadır. Sürekli X-ışınlarının enerjisi üç faktöre bağlıdır. Bunlar; yüksek hızlı elektronun enerjisi, hedef malzemenin yoğunluğu ve elektronun hareket doğrultusu

ile frenleyici çekirdek arasındaki uzaklık arttıkça, çekim kuvveti azalır. Sürekli X-ışını spektrumları geniş bir frekans aralığını kapsayan sürekli bir ışımaya karşılık gelmektedir. Bu nedenle sürekli X-ışınlarına beyaz X-ışınları denilir [30].



Şekil 2.5. X-ışınlarının oluşumu [30]

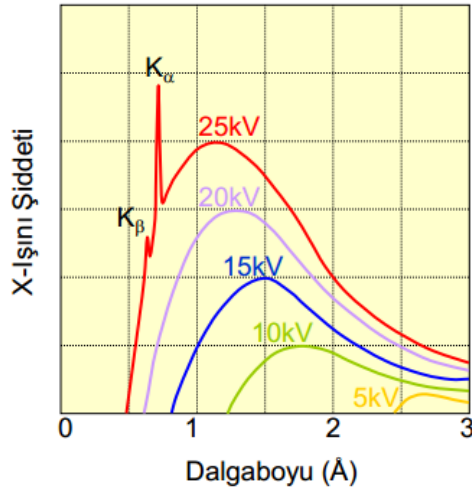
Kuantum teorisinde, bir X-ışını tüpünde elektronlarla meydana getirilen sürekli X-ışını spektrumu, uyarıcı elektronların maksimum enerjilerine karşılık gelen, $\lambda_{\min}$ kısa dalgaboyu sınırıyla karakterize edilir;

$$\lambda_{\min} = \frac{hc}{eV_0} \quad (2.8)$$

Burada, h Planck sabiti ($6.62 \cdot 10^{-27}$ erg.s.), c ışık hızı, e elektronun yükü ve V_0 tüpe uygulanan potansiyeldir.

Bir X-ışını tüpünde elektronlar tarafından meydana getirilen sürekli X-ışını spektrumu (Şekil 2.6) aşağıdaki özelliklerle karakterize edilir [30].

- 1- Kısa dalgaboyu limiti $\lambda_{\min}$ altında dalgaboyu gözlenemez.
- 2- Maksimum şiddetin dalgaboyu $\lambda_{\max}$ yaklaşık olarak $\lambda_{\min}/2$ ' dir .
- 3- Toplam şiddet, tüp voltajı ve hedef maddesinin atom numarası (Z) ile orantılıdır.

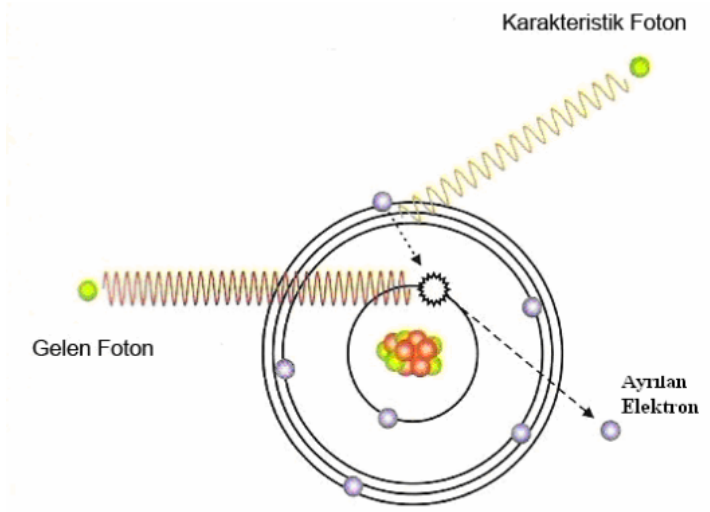


Şekil 2.6. Sürekli X-ışını

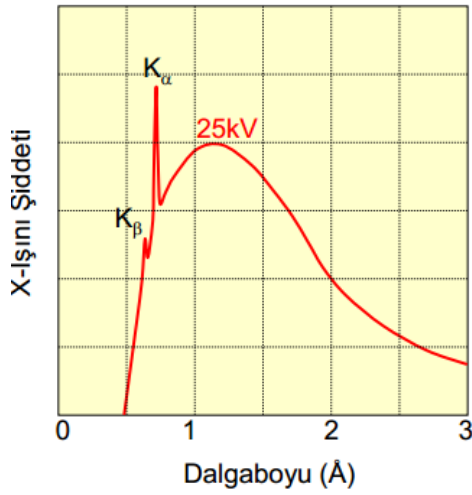
2.3.2. Karakteristik X-ışınları

Hedefe gelen yüksek hızlı elektron yörüngede bulunan bir elektronla çarpışabilir. Bu çarpışma sonucunda yüksek hızlı elektrondan yörünge elektronuna uyarılma enerjisi aktarılır. Yörünge elektronuna aktarılan bu uyarılma enerjisi ya elektronu atomdan dışarı atacak ya da bulunduğu yörüngeden bir üst yörüngeye çıkaracaktır. Her iki durumda da yüksek hızlı elektron, enerjisinin bir kısmını orbital elektronuna verir (Şekil 2.7). Orbital elektronu atomdan çıkarsa yerinde bir boşluk kalacaktır. Bu boşluğu doldurmak için daha üst yörüngelerde bulunan bir elektron buraya geçer. Bu hareketlilik atomik denge için gereklidir. Çekirdekten daha uzaktaki orbitallerde bulunan elektronlar daha büyük enerjiye sahiptirler. Bu yüzden üst yörüngeden alt yörüngeye geçen bir elektron, aradaki enerji farkını karakteristik X-ışını olarak verir [30].

Karakteristik X-ışınının enerjisi bombardıman elektronunun enerjisi ile tayin edilmez. Karakteristik X-ışınlarının enerjisi, bir orbital elektronunun bir yörüngede bulunan boşluğu doldururken verdiği enerjidir.

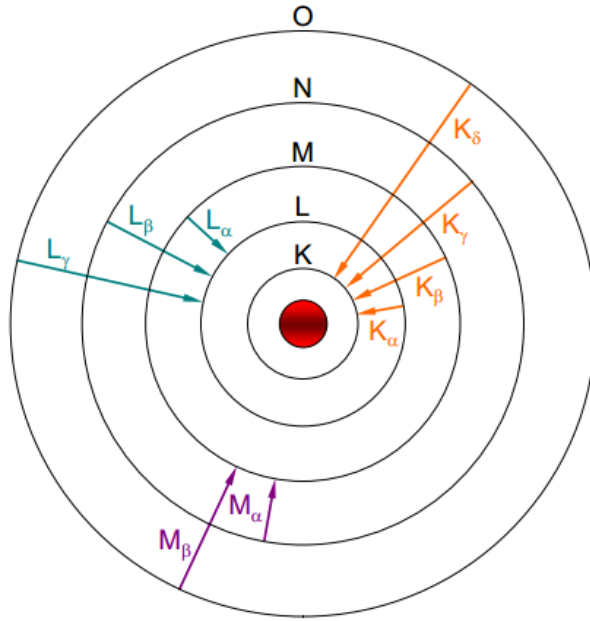


Şekil 2.7. Karakteristik X-ışını oluşumu [30]



Şekil 2.8. Karakteristik X-ışını Spektrumu

Yayınlanan tüm X-ışını fotonlarının enerjileri elektronik seviyeler arasındaki enerji farkı ile orantılı olduğundan verilen bir elementten elde edilen çizgiler o elementi karakterize ederler. K_α X-ışınlarının şiddetinin, K_β X-ışınlarının şiddetine göre daha yüksek olmasının sebebi K kabuğunda oluşacak bir elektron boşluğunun L tabakasından gelecek bir elektronla doldurulma olasılığının, M tabakasından gelecek bir elektronla doldurulma olasılığından daha yüksek olmasıdır (Şekil 2.8).



Şekil 2.9. Orbitaler arasındaki elektron geçişi ve oluşan X-ışınlarının isimlendirilmesi

K tayfı, K tabakasındaki boşluklara elektronların geçişlerini takiben oluşur. K tayfı basit bir yapıya sahiptir ve genellikle çok yüksek atom numaralı elementler için oluşan ekstra iki çift çizgiden meydana gelir. L tayfı, L tabakalarındaki boşlukları doldurmak için elektronların bu boşluklara geçişlerine takiben oluşur. Üç alttabakaya sahip L tabakası ile tekli K tabakası karşılaştırıldığında, seçim kuralları ile kabul edilen L geçişlerinin sayısı K geçişleri sayısından çok daha fazla olmuş olacaktır. Bu yüzden L tayfı K tayfından çok daha karmaşıktır ve yüksek atom numaralı elementlerde, 20 ile 30 arasında diyagram çizgileri gözlemek mümkündür. K serilerindeki gibi önemli sayıda yasak geçişler ve karakteristik çizgiler gözlenebilir. Fakat birincil foton etkisinden sadece çift iyonlaşma ile oluşan çizgiler ve başlıca foto-iyonlaşmadan oluşan L serisi çizgileri K serisine benzemez [32].

K ve L tabakalarına kıyasla beklenildiği gibi, beş alttabakaya sahip M tayfı K ve hatta üç alttabakaya sahip L tayflarından daha karmaşık ve daha kararsızdır. Buna ilaveten diğer tabakalara göre daha fazla geçişler içeren yüksek numaralı tabakalardır. Hatta yayınlama spektrumunda öz-soğurmaya neden olduğu önemli değişiklikler bulunur. Birçok analitik X-ışını spektrometrelerinin ölçülebilen

dalgaboyu bölgesi sadece yaklaşık 20 Å kadar uzatılabildiği için M tayfına çok az sıklıkta rastlanır ve sadece 3 Å' dan büyük vakumlu ortamda görülebilir. Buna rağmen atom numarası $Z > 57$ olan elementlere yaklaşıldığında güçlü M çizgilerine rastlanır. M çizgilerinin büyük çoğunluğu, M yayınlama spektrumları geçiş durumlarına göre adlandırılmıştır. Bir elementin L spektrumu ile farklı bir elementin M spektrumu arasında birtakım benzerlikler gözlenmektedir. Her iki tayf yüksek enerji kıyısındaki zayıf çizgilerle yayılan oldukça güçlü bir α ve güçlü bir β ile temsil edilir [39].

Karakteristik X-ışınları tayfinin oluşmasına neden olan geçişler, tesadüfî olmayıp elektronik dipol seçim kaidelerine göre sınırlanmıştır. Buna seçim kuralı denir.

$$\Delta n \geq 1 \quad (2.9)$$

$$\Delta n \neq 0 \quad (2.10)$$

$$\Delta \ell = \pm 1 \text{ veya } \Delta j = 0 \quad (2.11)$$

Bunların dışındaki geçişler yasak geçişlerdir.

Karakteristik X-ışını fotonlarının dalgaboyu ile uyarılan elementin Z atom numarası arasındaki bağıntı;

$$\frac{1}{\lambda} = K(Z - \sigma) \quad (2.12)$$

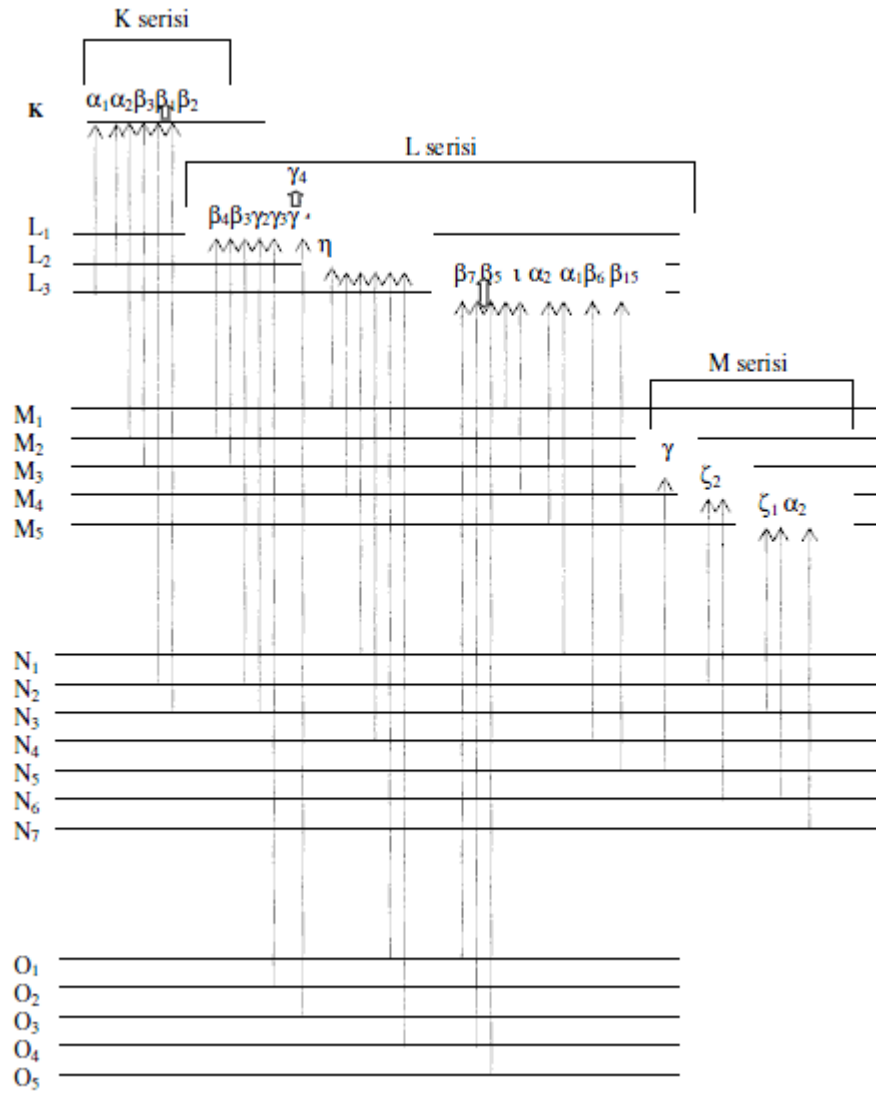
olan Moseley kanunu ile verilir. Burada K, her bir spektral seri için farklı değerler alan bir sabittir. σ perdeleme sabitidir ve atomdaki diğer elektronlardan dolayı meydana gelen itme için bir düzeltme katsayısıdır ve birden küçüktür. λ ise X -ışını fotonunun dalgaboyudur [39].

2.4. X-Işını Enerji Seviyeleri

Bir atomun herhangi bir alt kabuğundan bir elektron sökülerek uyarıldığında, oluşan boşluklar, daha yüksek tabakalardaki elektronlar tarafından 10^{-8} s içerisinde seçim kurallarına göre doldurulur. Eğer doldurulan tabaka K tabakası ise bu ışınlar K X-ışınları adını alırken, L tabakasında meydana getirilen bir boşluk daha üst tabaka elektronu tarafından doldurulmuş ise L X-ışınları adını alır. K' da meydana gelen boşluğu L tabakası elektronu doldurmuş ise K_{α} , M tabakası elektronu tarafından doldurulmuş ise K_{β} olarak adlandırılır.

Eğer doldurulan tabaka M tabakası ise bu ışınlar M X-ışınları adını alır. M tabakasına geçişler N ve O tabakalarından olur ve $M_{\gamma}, M_{\zeta 1}, M_{\zeta 2}, M_{\beta}, M_{\alpha 1}, M_{\alpha 2}$ ve M_m gibi adlarla ifade edilirler.

Bu geçişlerle ilgili Siegbahn ve International Union of Applied and Pure Chemistry (IUAPC) gösterimleri Çizelge 2.1' de verilmiştir. Bu geçişlerden meydana gelen X-ışını enerji seviyeleri diyagramı ise Şekil 2.10' da gösterilmiştir.



Şekil 2.10. X-ışını enerji seviyeleri diyagramı [40]

Çizelge 2.1. X-ışını diyagram çizgilerinin Siegbahn ve IUPAC gösterimleri [41]

Siegbahn	IUPAC	Siegbahn	IUPAC	Siegbahn	IUPAC	Siegbahn	IUPAC
$K_{\alpha 1}$	K-L ₃	$L_{\alpha 1}$	L ₃ -M ₅	$L_{\gamma 1}$	L ₂ -N ₄	$M_{\alpha 1}$	M ₅ -N ₇
$K_{\alpha 2}$	K-L ₂	$L_{\alpha 2}$	L ₃ -M ₄	$L_{\gamma 2}$	L ₁ -N ₂	$M_{\alpha 2}$	M ₅ -N ₆
$K_{\beta 1}$	K-M ₃	$L_{\beta 1}$	L ₂ -M ₄	$L_{\gamma 3}$	L ₁ -N ₃	M_{β}	M ₄ -N ₆
$K_{\beta 2'}$	K-N ₃	$L_{\beta 2}$	L ₃ -N ₅	$L_{\gamma 4}$	L ₁ -O ₃	M_{γ}	M ₃ -N ₅
$K_{\beta 2''}$	K-N ₂	$L_{\beta 3}$	L ₁ -M ₃	$L_{\gamma 4'}$	L ₁ -O ₂	$M_{\xi 1}$	M ₅ -N ₃
$K_{\beta 3}$	K-M ₂	$L_{\beta 4}$	L ₁ -M ₂	$L_{\gamma 5}$	L ₂ -N ₁	$M_{\xi 2}$	M ₄ -N ₂
$K_{\beta 4'}$	K-N ₅	$L_{\beta 5}$	L ₃ -O _{4,5}	$L_{\gamma 6}$	L ₂ -O ₄		
$K_{\beta 4''}$	K-N ₄	$L_{\beta 6}$	L ₃ -N ₁	$L_{\gamma 8}$	L ₂ -O ₁		
$K_{\beta 4X}$	K-N ₄	$L_{\beta 7}$	L ₃ -O ₁	$L_{\gamma 8'}$	L ₂ -N ₆		
$K_{\beta 5'}$	K-M ₅	$L_{\beta 7'}$	L ₃ -N _{6,7}	L_{η}	L ₂ -M ₁		
$K_{\beta 5''}$	K-M ₄	$L_{\beta 9}$	L ₁ -M ₅	L_{λ}	L ₅ -M ₁		
		$L_{\beta 10}$	L ₁ -M ₄	L_s	L ₃ -M ₃		
		$L_{\beta 15}$	L ₃ -N ₄	L_t	L ₃ -M ₂		
		$L_{\beta 17}$	L ₂ -M ₃	L_u	L ₃ -N ₆		
				L_v	L ₂ -N ₆		

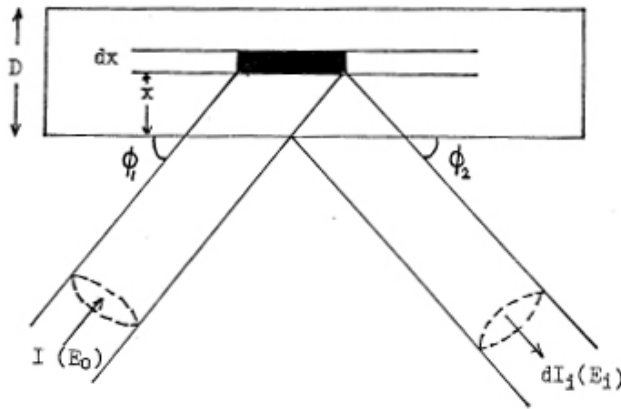
2.5. Genel Birincil Flöresans Şiddet Denklemi

Birincil flöresans, gelen X-ışını demetinin ya da oluşan birincil radyasyonun, analiz edilecek elementle etkileşmesi ile meydana gelir. Düzgün dağılımlı homojen ve D kalınlığında olan numunede analitin K_α şiddeti denklemi şöyle hesaplanır: Yüzeyden x derinliğinde dx tabakası içinde i elementi tarafından yayınlanan K_α şiddeti üç önemli faktöre bağlıdır. Radyasyon kaynağından çıkan E_0 enerjili ışın demeti numuneye ϕ_1 açısıyla gelerek numuneyle etkileşip ϕ_2 açısıyla numuneden ayrılır. X-ışını flöresans şiddeti hesaplamasındaki bileşenler Şekil 2.10'da görülmektedir [42].

1. E_0 enerjili uyarıcı kaynağından yayınladığı fotonların x menziline ulaşma olasılığı aşağıdaki bağıntı ile verilebilir [8].

$$\exp\left[-\mu_m(E_0)\rho_m \frac{x}{\sin\phi_1}\right] = A \quad (2.13)$$

Burada, m matrisi, μ_m E_0 enerjisine bağlı matrisin kütle soğurma katsayısı, ρ_m yoğunluk ve ϕ_1 geliş açısıdır.



Şekil 2.11. X-ışını flöresans şiddet hesaplamasındaki bileşenler [42]

2. Uyarıcı fotonun x ile $x+dx$ tabakasındaki bir i analitini uyarması sonucu bir boşluk yaratarak K_{α} flöresans fotonu yayınlama olasılığı (P) aşağıdaki bağıntı ile verilebilir [42].

$$\tau_i(E_0) \omega_{Ki} \left(1 - \frac{1}{J_{Ki}}\right) f_i \rho_i dx = P \quad (2.14)$$

Burada; i analiti ifade eder. Analit, analizi yapılan elementtir. $\tau_i E_0$ enerjisine bağlı olarak i elementinin fotoelektrik kütle soğurma katsayısı, ω_{Ki} K tabakasındaki flöresans verim, J_{Ki} K - L atlama faktörü, f_i Analit ışını yayınlanmasına sebep olan yörüngesel elektron geçiş olasılığı, $\rho_i dx$ dx tabakasındaki bir i elementinin birim alan başına düşen kütlesi (g/cm²) dir.

Eş. 2.14' deki $\tau_i(E_0) \omega_{Ki} \left(1 - \frac{1}{J_{Ki}}\right) f_i$ ifadesine K_i dersek Eş. 2.14,

$$K_i \rho_i dx = P \quad (2.15)$$

olur [42].

3. dx tabakasından yayınlanan flöresans fotonların dedektöre ulaşma olasılığı (R) aşağıdaki bağıntı ile verilebilir [42].

$$\varepsilon(E_i) \exp \left[-\mu_m(E_i) \rho_m \frac{x}{\sin \phi_2} \right] = R \quad (2.16)$$

Burada, $\varepsilon(E_i)$ dedektör verimi, $\mu_m(E_i)$ matrisin E_i enerjisinde kütle soğurma katsayısı, E_i i analitinin flöresans foton enerjisi, ϕ_2 fotonun numuneden çıkış açısıdır.

Toplam kütle soğurma katsayısını tanımlarsak,

$$x_i = \mu_m(E_0)/\sin \phi_1 + \mu_m(E_i)/\sin \phi_2 \quad (2.17)$$

Numunenin dx tabakasında i analitinin flöresans şiddeti yukarıda hesaplanan 3 faktörün çarpımına eşittir [42].

$$dI_i = G\varepsilon(E_i)K_i\rho_i dx_i \left[\exp(-\mu_m(E_0)\rho_m x/\sin \phi_1) + \exp(-\mu_m(E_i)\rho_m x/\sin \phi_2) \right] \quad (2.18)$$

$$dI_i = G\varepsilon(E_i)K_i \left[\exp(-\mu_m(E_0)\rho_m x/\sin \phi_1) - \exp(-\mu_m(E_i)\rho_m x/\sin \phi_2) \right] \rho_i dx_i \quad (2.19)$$

Yukarıdaki denklemin D kalınlığındaki numune boyunca integralini alırsak;

$$dI_i = \int_0^D G\varepsilon(E_i)K_i \left[\exp(-\mu_m(E_0)\rho_m x/\sin \phi_1) - \exp(-\mu_m(E_i)\rho_m x/\sin \phi_2) \right] \rho_i dx_i \quad (2.20)$$

x=0 dan D' ye kadar yapılan integrasyon sonucunda i analitinin flöresansının şiddeti:

$$I_i = G\varepsilon(E_i)K_i\rho_i \frac{1}{\chi_i\rho_m} [1 - \exp(-\chi_i D\rho_m)] \quad (2.21)$$

G, geometriye ve kaynak şiddetine bağlı orantı sabiti:

$$\frac{\rho_i}{\rho_m} = C_i \quad (2.22)$$

i elementinin ağırlık konsantrasyonu:

$$I_i = G\varepsilon(E_i)K_i C_i \frac{[1 - \exp(-\chi_i D\rho_m)]}{\chi_i} \quad (2.23)$$

$G\varepsilon(E_i)K_i$ terimine S_i dersek, S_i , i elementinin X-ışını spektrometreye hassasiyetidir.

Eş. 2.20' yi düzenlersek,

$$I_i = S_i C_i \frac{1 - \exp[-\chi_i D \rho_m]}{\chi_i} \quad (2.24)$$

I_i , D kalınlığındaki numunenin genel primer flöresans şiddet ifadesini $\rho_m D$, birim alan başına kütleyi göstermektedir [42].

2.6. Flöresans Verim ve Coster-Kronig Geçişler

Bir atomun herhangi bir yolla, tabaka veya alttabakalardaki oluşturulan bir boşluğun ışımalı geçişle doldurulması ihtimaliyetine bu atomun flöresans verimi, bu esnada yayınlanan ışına da karakteristik X-ışını denir.

K tabakasına ait flöresans verimi,

$$\omega_K = \frac{I_K}{n_k} \quad (2.25)$$

şeklinde yazılır. Burada ω_K , K tabakasına ait flöresans verimi, I_K yayınlanan toplam K X-ışınları sayısı ve n_k , K tabakasında meydana getirilen boşlukların sayısıdır. K tabakasından daha yüksek tabakaların birden fazla alttabakaya sahip olmalarından ve dolayısıyla ortalama flöresans verimi bu tabakaların iyonize edilişlerine göre değişeceğinden ancak belli boşluk dağılımları için ortalama flöresans verimi tarif edilebilir. Ayrıca alttabakalardaki boşluk dağılımı, aynı baş kuantum sayısına sahip alttabakalar arasındaki ışımasız CK geçişlerinden dolayı farklılık göstermektedir. Bu iki sebepten dolayı yüksek atomik seviyelerdeki flöresans verimi karmaşık bir hal almaktadır.

Bir atomda tabakalar arası geçişler $\Delta n \neq 0$, $\Delta \ell = \pm 1$ ve $\Delta j = 0, \pm 1$ gibi şartlara bağlı olarak yapılır. Bunun dışındaki geçişler yasak geçişlerdir. $\Delta n = 0$ olduğu alttabakalar

arasındaki geçişlere ya da boşluk transferine CK geçişler denilir. CK geçiş ihtimaliyetleri gösterimi f_{ij}^x şeklinde olup alt ve üst olarak iki indis taşımaktadır. Alt indis geçisin meydana geldiği alttabakaları, üst indis ise ana tabakayı göstermektedir. Örneğin f_{ij}^x , herhangi bir yolla x tabakasının x_i alttabakasında meydana getirilen bir boşluğun daha yüksek x_j alttabakasına geçme ihtimalidir [32]. CK geçişler ışımalı $f_{ij}^x(R)$ ve ışımasız $f_{ij}^x(A)$ olmak üzere iki kısımdan oluşur ve

$$f_{ij}^x(R) \ll f_{ij}^x(A) \quad (2.26)$$

yazılabilir. X tabakasının i ve j alttabakaları arasında CK geçişleri için

$$f_{ij}^x = f_{ij}^x(R) + f_{ij}^x(A) \quad (2.27)$$

yazılabilir [32].

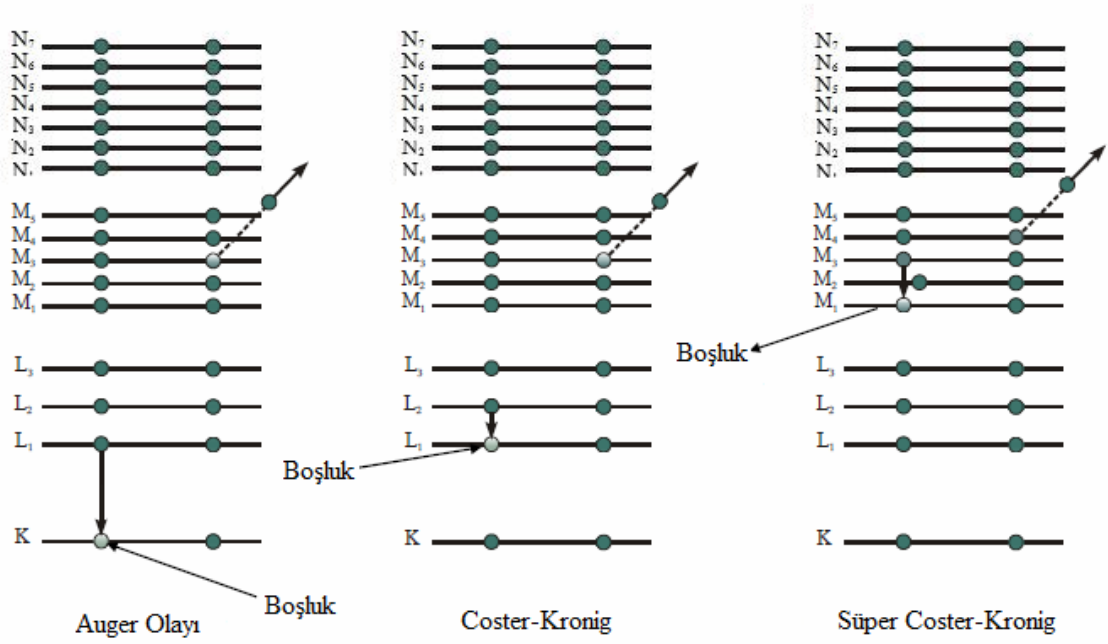
$f_{ij}^x(R)$, $f_{ij}^x(A)$ 'nın yanında ihmal edilirse,

$$f_{ij}^x = \frac{\Gamma_A(L_i L_j X)}{\Gamma(L_i)} \quad X=M, N, O \text{ ve } j>i \quad (2.28)$$

olur. Burada, $L_{i,j}$ seviye genişliği, Γ_A Auger kısmı genişliği (Auger geçiş hızlarının toplamı) dir [32].

İç tabaka boşlukların yeniden düzenlenmesine neden olan CK ve SCK geçişler aynı tabakanın alttabakaları arasında boşlukların yeniden dağılımına sebep olmaktadır. Bu geçişler, L, M, N ve daha üst tabakalarında gerçekleşmektedir. Bu geçişler enerjik olarak müsadeli olduğu zaman, CK ve SCK geçişler, boşlukları 10^{-17} s gibi kısa bir zaman aralığında ilgili tabakanın daha yüksek alttabakalarına kaydırır. Bu geçişlerin bozunma zamanları ışımalı ve Auger geçişleri ile kıyaslandığında çok büyük bir

farklılığı sahiptir. Bu yüzden alttabaka flöresans verimler ve ortalama flöresans verimler hesaplanırken bu geçişler dikkate alınmalıdır. N tabakasındaki boşluklar, N-NX şeklindeki CK geçişlerle ve N-NN şeklindeki SCK geçişlerle doldurulmaktadır. Böyle geçişlerde düşük enerjili elektron, iyondan fırlatılır. Geçiş hızları da fırlatılan elektronun enerjisine hassastır (Şekil 2.12).



Şekil 2.12. Auger Olayı, Coster-Kronig ve Süper Coster-Kronig Geçişler

CK geçişlerin dikkate alınmadığı durumlarda X (X= K, L, M, N,...) ile gösterilen bir tabakanın i. alttabakasının flöresans verimi,

$$\omega_x^i = \frac{I_i^x}{n_i^x} \quad (2.29)$$

şeklinde ifade edilir [30].

X tabakası için ortalama flöresans verim ifadesi ise,

$$\varpi_x = \sum N_i^x \omega_i^x \quad (2.30)$$

şeklindedir [30]. Burada N_i^x , x tabakasının i. alttabakasındaki ilk bağıl boşluk sayısıdır ve

$$N_i^x = \frac{n_i^x}{\sum_{i=1}^k n_i^x} \quad \sum_{i=1}^k N_i^x = 1 \quad (2.31)$$

şeklinde tanımlanır [30].

Eğer bir tabakada meydana getirilen bir boşluk daha üst tabakalardan yapılacak geçişlerle doldurulmadan önce CK geçişleri ile doldurulursa yukarıdaki denklemler kullanılamaz. Bu durumda,

1- ω floresans verimi CK geçişleri tarafından değiştirilen boşluk dağılımları V_i^x ve ω_i^x alttabaka flöresans verimlerinin kombinasyonu olarak yazılabilir.

$$\varpi_x = \sum_{i=1}^k V_i^x \omega_i^x \quad (2.32)$$

$$\sum_{i=1}^k V_i^x > 1 \quad (2.33)$$

Buradaki V_i^x , CK geçişler olduktan sonra x tabakasının i. alttabakasındaki boşlukların bağıl sayısını göstermektedir. Başlangıçtaki ilk bağıl boşluk sayısı olan N_i^x , V_i^x cinsinden ifade edilebilir.

$$V_1^x = N_1^x \quad (2.34)$$

$$V_2^x = N_2^x + f_{12}^x N_1^x \quad (2.35)$$

$$V_3^x = N_3^x + f_{23}^x N_2^x + (f_{13}^x + f_{12}^x f_{23}^x) N_1^x \quad (2.36)$$

$$V_k^x = N_k^x + f_{k-1,k}^x N_{k-1}^x + (f_{k-2,k-1}^x + f_{k-1,k}^x) N_{k-2}^x + \dots + (f_{1k}^x + f_{12}^x f_{2k}^x + f_{12}^x f_{23}^x f_{3k}^x + \dots) N_1^x \quad (2.37)$$

2- ϖ_x ortalama flöresans verimi, N_i^x ilk bağıl boşluk sayısının lineer kombinasyonu olarak

$$\varpi_x = \sum_{i=1}^k N_i^x \nu_i^x \quad (2.38)$$

şeklinde yazılabilir.

V_i^x , i. alttabakadaki bir boşluk için karakteristik X-ışını yayınlanma ihtimaliyetidir [1]. $V_i^x \omega_i^x$ ve $N_i^x \nu_i^x$ çarpanları eşit değildir. $V_i^x \omega_i^x$ niceliği, bir x tabakasının herhangi bir alttabakasındaki boşluk sayısı başına i. alt tabakaya daha üst tabakalardan ışımalı geçişlerin sayısını belirtir. $N_i^x \nu_i^x$ niceliği ise, i. tabakadaki boşluk sayısı başına x tabakasının tüm alttabakalarına geçişlerde yayınlanan X-ışınlarının sayısını belirtir. ν_i^x ile ω_i^x alttabaka floresans verimleri arasındaki dönüşüm denklemleri,

$$\nu_1^x = \omega_1^x + f_{12}^x \omega_2^x + (f_{13}^x + f_{12}^x f_{23}^x) \omega_3^x + \dots + (f_{1k}^x + f_{12}^x f_{2k}^x + f_{13}^x f_{3k}^x + \dots + f_{1,k-1}^x f_{k-1,k}^x + \dots) \omega_k^x \quad (2.39)$$

$$\nu_{k-1}^x = \omega_{k-1}^x + f_{k-1,k}^x \omega_k^x \quad (2.40)$$

$$\nu_k^x = \omega_k^x \quad (2.41)$$

şeklindedir [30].

2.7. Auger Olayı

Atomlarda herhangi bir yolla meydana getirilen boşluk, diğer üst tabaka elektronları tarafından ısımalı olarak doldurulabildiği gibi ışımasız olarak da doldurulabilir. Atomdan yayınlanan K tabakasına ait karakteristik X-ışınları yine aynı atomun üst tabakalarında bulunan bir elektronu sökerek boşluk meydana getirebilirler (Şekil 2.12). Bu olaya Auger olayı, yayınlanan elektrona da Auger elektronu denir. Herhangi bir seviyede meydana gelen bir boşluğun ışımasız bir geçişle doldurulması ihtimaline Auger verimi dersek, I_{KA} ışımasız geçişlerin sayısı, η_K meydana gelen boşlukların sayısı olmak üzere, K tabakası için Auger verimi,

$$a_K = \frac{I_{KA}}{\eta_K} \quad (2.42)$$

ile verilir [5]. Auger verimi, flöresans verim ve CK verimi arasında,

$$\omega_i^x + a_i^x + \sum_{j=i+1}^k f_{ij}^x = 1 \quad (2.43)$$

bağıntısı mevcuttur. Herhangi bir tabaka için ortalama Auger verimi,

$$\overline{a_x} = \sum_{i=1}^k V_i^x a_i^x \quad (2.44)$$

bağıntısı ile verilir. Burada, V_i^x değiştirilmiş boşluk sayısıdır. Aynı boşluk dağılımı için tabakanın ortalama flöresans verimi ω_i^x ile ortalama Auger verimi $\overline{a_x}$ arasındaki bağıntı,

$$\omega_i^x + \overline{a_x} = 1 \quad (2.45)$$

şeklinde yazılabilir [40].

2.8. Karakteristik X-Işını Tesir Kesitleri

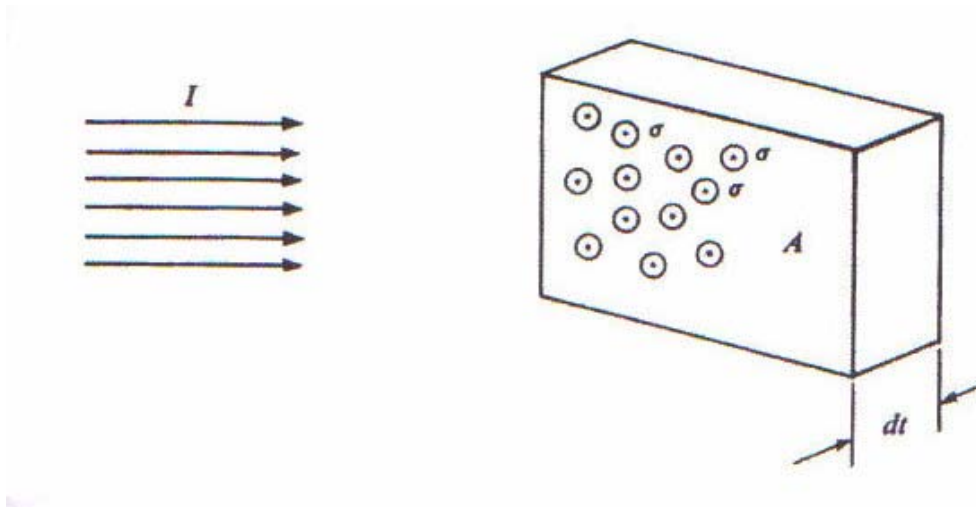
Tesir kesiti, herhangi bir olayın meydana gelme ihtimalinin bir ölçüsüdür. Bu ölçü hedef parçacığı kuşatan hayali bir alanla karakterize edilir. Bir hedef parçacığı tesir kesiti, ilgili olayın tabiatına ve gelen parçacığın enerjisine bağlıdır ve parçacığın geometrik kesitinden daha büyük ya da daha küçük olabilir. Bu nicelik, ışının madde ile etkileşmesine bağlı olarak, soğurma ve saçılma tesir kesiti olarak isimlendirilir.

Moleküldeki atomlar birbirlerine elektron yapılarının farklı olması nedeniyle farklı şekilde bağlıdır. Atomları bir arada tutan bağlar tesir kesitlerini etkilemektedir. Çünkü molekülde yer alan atomlar artık serbest halde değildir. Moleküldeki atomların sahip oldukları elektronlar hem kendi hem de elektron ve çekirdeklerinin etkisi altındadır. Ayrıca moleküllerin bağlanma enerjilerindeki değişimde, tesir kesitini etkileyen faktörlerden biridir.

Tesir kesiti deneysel olarak ölçülebilen ve teorik değerlerle karşılaştırılabilen bir ifade olduğundan nükleer işlemlerin ayrıntılı olarak incelenmesinde kolaylık sağlar. Suni radyoizotopların üretilmesinde, soğurmada, saçılmada veya herhangi bir nükleer reaksiyonda gelen ışınlar parçacıklar hedef çekirdeğe çarptığı zaman neler olabileceği ihtimaliyetini ifade etmek için tesir kesitine ihtiyaç duyulmuştur. Tesir kesitinin tam olarak bilinmesi, reaktör zırhlama, endüstriyel radyografi, tıbbi fizikte, enerji taşıma ve depolamada, radyasyon soğurma katsayılarının hesaplanmasında, farklı elementlerin değişik fotoiyonizasyon enerjilerinde, karakteristik K, L ve M tabaka ve alttabaka X-ışını flöresans tesir kesitlerinin deneysel olarak ölçülmesinde, atomların yapısı, yaş tayini, tahribatsız miktar analizlerinde, ilaç sanayi gibi fiziksel ve kimyasal bir çok alanda kullanılmaktadır. Bununla birlikte bu ölçümler, fotoiyonizasyon tesir kesitleri, sıçrama oranı, X-ışını yayınlanma hızları ve flöresans verim gibi fiziksel parametrelerin doğrudan kontrolünü sağlar.

A yüzeyine ve dt kalınlığına sahip ince bir levhanın birim hacminde I şiddetinde düşürülen n tane atom varsa ve atomik tesir kesiti, yani bir tür olayın meydana gelmesi ile orantılı olarak atomu kuşatan etkin alan σ ise, gelen parçacıklar bu alana

düştüğü zaman bir nükleer reaksiyon meydana gelecektir. Bu parçacıklar demeti ince levhadan geçerken, bir miktarının madde atomları tarafından azaltılma ihtimali vardır (Şekil 2.12). Bu levhanın (hiçbir atomun diğer atom üzerine binmeyecek şekilde) ince olduğu kabul edilirse, bu durumda her bir atom gelen parçacıklarla, ilgilenen olayı gerçekleştirmede eşit şansa sahiptir. Bu durumda birim yüzey başına düşen atom sayısı ndt ve A alanındaki toplam atom sayısı $Andt$ ' dir. Her bir atom ilgilenilen olaya σ etkin alanıyla katıldığından dolayı bu olayın meydana gelmesi için mümkün olan toplam hassas veya etkin alan, $\sigma Andt$ ' dir [32].



Şekil 2.13. İnce bir levha üzerine gelen ışın demeti [32]

Etkin alan kesri (f) ise;

$$f = \text{Toplam etkin alan} / \text{toplam yüzey alanı} = \sigma Andt / A = \sigma ndt \quad (2.46)$$

şeklindedir. Bu etkin alan kesri, gelen ışın demetinin ince levhadan geçerken I şiddetinde meydana gelen değişimi olarak da ifade edilir ve

$$dI = -fI \quad (2.47)$$

şeklindedir [32]. Buradan f ' nin değeri yerine yazılırsa,

$$- dI/I = \sigma n dt \quad (2.48)$$

olur. Buradaki (-) işareti dt kalınlığı arttıkça I şiddetinin azalacağını gösterir. T= 0 anında I = I₀ olduğu kabul edilirse,

$$I = I_0 e^{-\sigma n t} \quad (2.49)$$

elde edilir. Gelen ışın demetindeki N parçacık sayısı, ışın demetinin şiddetiyle orantılı olduğundan bu denklem,

$$N = N_0 e^{-\sigma n t} \quad (2.50)$$

olarak yazılabilir. Burada N₀ ince levhaya gelen parçacıkların sayısı ve N, levhanın t kalınlığını geçen parçacıkların sayısıdır. Buna göre ilgilenilen olayın gerçekleşmesi ihtimaliyeti yani tesir kesiti,

$$\sigma = \frac{dN}{N_0 n t} \quad (2.51)$$

olarak ifade edilir.

Fotoelektrik tesir kesiti, soğurucu malzemenin atom numarasının beşinci kuvvetiyle orantılıdır ve foton enerjisi arttıkça hızla azalır.

$$\sigma \approx \frac{Z^5}{(h\nu)^{7/2}} \quad E_\gamma > m_e c^2 \quad (2.52)$$

3. N TABAKASINA AİT ORTALAMA FLÖRESANS VERİMİN HESAPLANMASI

K,L,M ve N tabakasına ait ortalama flöresans verimin genel tanımı,

$$\varpi_{K/L/M/N} = \frac{\sigma_{K/L/M/N}^x}{\sigma_{K/L/M/N}^I} \quad (3.1)$$

şeklinde yazılabilir [34]. Burada $\sigma_{K/L/M/N}^x$, ilgili tabakanın toplam X-ışını flöresans tesir kesitidir. $\sigma_{K/L/M/N}^I$ ise ilgili tabakanın fotoiyonizasyon tesir kesitidir. Fotoiyonizasyon tesir kesitleri J.H. Scofield'in [45] 1973 yılında yayınlamış olduğu tablodan yararlanılarak elde edilen değerlerdir.

N tabakası için,

$$\sigma_N^x = \nu_1 \sigma_{N1}^I + \nu_2 \sigma_{N2}^I + \nu_3 \sigma_{N3}^I + \nu_4 \sigma_{N4}^I + \nu_5 \sigma_{N5}^I + \nu_{6,7} \sigma_{N6,7}^I \quad (3.2)$$

$$\sigma_N^I = \sigma_{N1}^I + \sigma_{N2}^I + \sigma_{N3}^I + \sigma_{N4}^I + \sigma_{N5}^I + \sigma_{N6,7}^I \quad (3.3)$$

şeklinde yazılabilir. Burada, ν_i , x tabakasına ait i. alttabakasındaki bir boşluk için bir ışın yayınlanması ihtimaliyetidir ve etkin alttabaka flöresans verim olarak adlandırılır. Etkin alttabaka flöresans verim, x tabakasının alttabaka flöresans verimleri (ω_i^x) ve SCK geçiş ihtimaliyetleri (S_{ij}^x) ile aşağıdaki gibi tanımlanır.

$$\nu_1^x = \omega_1^x + S_{12}^x \omega_2^x + (S_{13}^x + S_{12}^x S_{13}^x) \omega_3^x + \dots + (S_{1k}^x + S_{12}^x S_{2k}^x + S_{13}^x S_{3k}^x + \dots + S_{1,k-1}^x S_{k-1,k}^x + \dots) \omega_k^x \quad (3.4)$$

$$\nu_{k-1}^x = \omega_{k-1}^x + S_{k-1,k}^x \omega_k^x \quad (3.5)$$

$$\nu_k^x = \omega_k^x \quad (3.6)$$

Eş. 3.1, Eş. 3.2 ve Eş. 3.3 genel denklemleri N tabakası için aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\begin{aligned}
 \nu_1^N = & \omega_1^N + S_{12}^N \omega_2^N + (S_{13}^N + S_{12}^N S_{23}^N) \omega_3^N + (S_{14}^N + S_{13}^N S_{34}^N + S_{12}^N S_{24}^N + S_{12}^N S_{23}^N S_{34}^N) \omega_4^N + \\
 & (S_{15}^N + S_{14}^N S_{45}^N + S_{13}^N S_{35}^N + S_{12}^N S_{25}^N + S_{13}^N S_{34}^N S_{45}^N + S_{12}^N S_{24}^N S_{45}^N + S_{12}^N S_{23}^N S_{35}^N + S_{12}^N S_{23}^N S_{34}^N S_{45}^N) \omega_5^N + \\
 & (S_{1,67}^N + S_{15}^N S_{5,67}^N + S_{14}^N S_{4,67}^N + S_{13}^N S_{3,67}^N + S_{12}^N S_{2,67}^N + S_{12}^N S_{24}^N S_{4,67}^N + S_{12}^N S_{23}^N S_{3,67}^N + \\
 & S_{12}^N S_{25}^N S_{5,67}^N + S_{13}^N S_{34}^N S_{4,67}^N + S_{13}^N S_{35}^N S_{5,67}^N + S_{14}^N S_{45}^N S_{5,67}^N + S_{12}^N S_{24}^N S_{45}^N S_{5,67}^N + \\
 & S_{12}^N S_{23}^N S_{35}^N S_{5,67}^N + S_{12}^N S_{23}^N S_{34}^N S_{4,67}^N + S_{13}^N S_{34}^N S_{45}^N S_{5,67}^N + S_{12}^N S_{23}^N S_{34}^N S_{45}^N S_{5,67}^N) \omega_{6,7}^N \quad (3.7)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \nu_2^N = & \omega_2^N + S_{23}^N \omega_3^N + (S_{24}^N + S_{23}^N S_{34}^N) \omega_4^N + (S_{25}^N + S_{23}^N S_{35}^N + S_{24}^N S_{45}^N + S_{23}^N S_{34}^N S_{45}^N) \omega_5^N + \\
 & (S_{2,67}^N + S_{23}^N S_{3,67}^N + S_{24}^N S_{4,67}^N + S_{25}^N S_{5,67}^N + S_{23}^N S_{34}^N S_{4,67}^N + S_{23}^N S_{35}^N S_{5,67}^N + S_{24}^N S_{45}^N S_{5,67}^N + \\
 & S_{23}^N S_{34}^N S_{45}^N S_{5,67}^N) \omega_{6,7}^N \quad (3.8)
 \end{aligned}$$

$$\nu_3^N = \omega_3^N + S_{34}^N \omega_4^N + (S_{35}^N + S_{34}^N S_{45}^N) \omega_5^N + (S_{3,67}^N + S_{34}^N S_{4,67}^N + S_{35}^N S_{5,67}^N + S_{34}^N S_{45}^N S_{5,67}^N) \omega_{6,7}^N \quad (3.9)$$

$$\nu_4^N = \omega_4^N + S_{45}^N \omega_5^N + (S_{4,67}^N + S_{45}^N S_{5,67}^N) \omega_{6,7}^N \quad (3.10)$$

$$\nu_5^N = \omega_5^N + S_{5,67}^N \omega_{6,7}^N \quad (3.11)$$

$$\nu_{6,7}^N = \omega_{6,7}^N \quad (3.12)$$

N tabakasına ait alttabakalar için flöresans verimlerin ve SCK geçiş ihtimaliyetlerin bulunduğu Çizelge 3.1-4' deki değerler, Eş. 3.7-12'de kullanılarak N tabakası etkin alttabaka flöresans verimler hesaplanmıştır. N tabakasına ait yedi alttabaka için etkin alttabaka flöresans verim değerleri Çizelge 3.5' te verilmiştir.

Çizelge 3.1. N₁ alttabakası için flöresans ve Coster- Kronig verimler

Z	ω_1 (McGuire[1])	ω_1 (Fit)	S(1,2) (McGuire[1])	S(1,2) (Fit)	S(1,3) (McGuire[1])	S(1,3) (Fit)	S(1,4) (McGuire[1])	S(1,4) (Fit)	S(1,5) (McGuire[1])	S(1,5) (Fit)	S(1,67) (McGuire[1])	S(1,67) (Fit)
38	1,200E-05	1,200E-05	0,330	0,330	0,660	0,660	-	-	-	-	-	-
39	-	7,050E-06	-	0,320	-	0,645	-	-	-	-	-	-
40	2,100E-06	2,100E-06	0,310	0,310	0,630	0,630	0,360	0,360	0,530	0,530	-	-
41	-	1,780E-06	-	0,320	-	0,645	-	0,380	-	0,560	-	-
42	1,300E-06	1,300E-06	0,330	0,330	0,660	0,660	0,400	0,400	0,590	0,590	-	-
43	-	1,290E-06	-	0,325	-	0,656	-	0,405	-	0,600	-	-
44	1,100E-06	1,100E-06	0,320	0,320	0,650	0,650	0,410	0,410	0,610	0,610	-	-
45	-	9,900E-07	-	0,320	-	0,648	-	0,410	-	0,613	-	-
46	-	8,900E-07	-	0,320	-	0,644	-	0,410	-	0,617	-	-
47	8,000E-07	8,000E-07	0,320	0,320	0,640	0,640	0,410	0,410	0,620	0,620	-	-
48	-	7,340E-07	-	0,323	-	0,643	-	0,407	-	0,613	-	-
49	-	6,740E-07	-	0,327	-	0,647	-	0,403	-	0,606	-	-
50	6,200E-07	6,200E-07	0,330	0,330	0,650	0,650	0,400	0,400	0,600	0,600	-	-
51	-	1,410E-06	-	0,290	-	0,574	-	0,347	-	0,522	-	-
52	-	3,140E-06	-	0,256	-	0,508	-	0,302	-	0,456	-	-
53	-	6,920E-06	-	0,226	-	0,450	-	0,263	-	0,399	-	-
54	1,500E-05	1,500E-05	0,200	0,200	0,400	0,400	0,230	0,230	0,350	0,350	-	-
55	-	1,730E-06	-	0,203	-	0,411	-	0,211	-	0,319	-	-
56	-	2,000E-06	-	0,206	-	0,422	-	0,193	-	0,291	-	-
57	2,300E-05	2,300E-05	0,220	0,220	0,430	0,430	0,200	0,200	0,300	0,300	-	-
58	2,200E-05	2,200E-05	0,230	0,230	0,470	0,470	0,150	0,150	0,230	0,230	0,170	0,170
59	-	2,230E-05	-	0,216	-	0,455	-	0,150	-	0,223	-	0,275
60	2,200E-05	2,200E-05	0,240	0,240	0,480	0,480	0,140	0,140	0,210	0,210	0,380	0,380
61	-	2,390E-05	-	0,220	-	0,477	-	0,128	-	0,189	-	0,411
62	-	2,590E-05	-	0,225	-	0,489	-	0,119	-	0,174	-	0,444
63	2,800E-05	2,800E-05	0,250	0,250	0,500	0,500	0,110	0,110	0,160	0,160	0,480	0,480
64	-	3,080E-05	-	0,232	-	0,495	-	0,110	-	0,160	-	0,515
65	3,300E-05	3,300E-05	0,250	0,250	0,490	0,490	0,110	0,110	0,160	0,160	0,590	0,590
66	-	3,720E-05	-	0,238	-	0,495	-	0,105	-	0,155	-	0,596
67	3,700E-05	3,700E-05	0,250	0,250	0,500	0,500	0,100	0,100	0,150	0,150	0,640	0,640
68	-	4,470E-05	-	0,244	-	0,500	-	0,094	-	0,140	-	0,643

Çizelge 3.1. (Devam) N₁ alttabakası için flöresans ve Coster- Kronig verimiler

69	-	4,890E-05	-	0,247	-	0,500	-	0,088	-	0,130	-	0,647
70	4,900E-05	4,900E-05	0,250	0,250	0,500	0,500	0,080	0,080	0,120	0,120	0,650	0,650
71	-	5,820E-05	-	0,233	-	0,520	-	0,078	-	0,112	-	0,644
72	-	6,340E-05	-	0,218	-	0,540	-	0,073	-	0,105	-	0,637
73	6,100E-05	6,100E-05	0,200	0,200	0,560	0,560	0,073	0,073	0,110	0,110	0,630	0,630
74	7,500E-05	7,500E-05	0,190	0,190	0,560	0,560	0,062	0,062	0,092	0,092	0,590	0,590
75	-	8,270E-05	-	0,190	-	0,563	-	0,061	-	0,092	-	0,580
76	-	9,100E-05	-	0,190	-	0,567	-	0,058	-	0,091	-	0,570
77	1,000E-04	1,000E-04	0,190	0,190	0,570	0,570	0,059	0,059	0,091	0,091	0,560	0,560
78	-	1,130E-04	-	0,227	-	0,535	-	0,052	-	0,083	-	0,531
79	1,300E-04	1,300E-04	0,270	0,270	0,500	0,500	0,049	0,049	0,074	0,074	0,450	0,450
80	-	1,510E-04	-	0,262	-	0,489	-	0,050	-	0,076	-	0,478
81	-	1,760E-04	-	0,254	-	0,479	-	0,052	-	0,078	-	0,454
82	-	2,030E-04	-	0,247	-	0,470	-	0,054	-	0,081	-	0,432
83	2,400E-04	2,400E-04	0,260	0,260	0,460	0,460	0,055	0,055	0,083	0,083	0,380	0,380
84	-	2,710E-04	-	0,233	-	0,463	-	0,054	-	0,082	-	0,391
85	-	3,130E-04	-	0,226	-	0,467	-	0,054	-	0,081	-	0,372
86	3,600E-04	3,600E-04	0,220	0,220	0,470	0,470	0,053	0,053	0,080	0,080	0,410	0,410
87	-	4,120E-04	-	0,240	-	0,430	-	0,055	-	0,082	-	0,338
88	-	4,700E-04	-	0,262	-	0,393	-	0,056	-	0,084	-	0,322
89	-	5,360E-04	-	0,285	-	0,360	-	0,058	-	0,086	-	0,308
90	6,100E-04	6,100E-04	0,310	0,310	0,330	0,330	0,059	0,059	0,088	0,088	0,270	0,270
91	-	6,430E-04	-	0,328	-	0,330	-	0,054	-	0,081	-	0,281
92	7,100E-04	7,100E-04	0,360	0,360	0,330	0,330	0,049	0,049	0,074	0,074	0,250	0,250
93	-	7,130E-04	-	0,366	-	0,305	-	0,050	-	0,075	-	0,257
94	-	7,510E-04	-	0,387	-	0,282	-	0,050	-	0,076	-	0,245
95	-	7,900E-04	-	0,408	-	0,261	-	0,051	-	0,076	-	0,235
96	8,300E-04	8,300E-04	0,420	0,420	0,250	0,250	0,051	0,051	0,077	0,077	0,230	0,230
97	-	9,110E-04	-	0,454	-	0,225	-	0,050	-	0,076	-	0,216
98	-	1,000E-03	-	0,478	-	0,208	-	0,050	-	0,074	-	0,207
99	-	1,096E-03	-	0,504	-	0,194	-	0,049	-	0,073	-	0,199
100	1,200E-03	1,200E-03	0,530	0,530	0,180	0,180	0,048	0,048	0,072	0,072	0,190	0,190
101	-	1,300E-03	-	0,505	-	0,187	-	0,048	-	0,072	-	0,206

Çizelge 3.2. N₂ alttabakası için flöresans ve Coster- Kronig verimler

Z	ω_2 (McGuire[1])	ω_2 (Fit)	S(2,3) (McGuire[1])	S(2,3) (Fit)	S(2,4) (McGuire[1])	S(2,4) (Fit)	S(2,5) (McGuire[1])	S(2,5) (Fit)	S(2,67) (McGuire[1])	S(2,67) (Fit)
38	1,300E-02	1,300E-02	-	-	-	-	-	-	-	-
39	-	6,510E-03	-	-	-	1,080	-	-	-	-
40	2,300E-05	2,300E-05	-	-	1,100	1,100	0,690	0,690	-	-
41	-	1,510E-05	-	-	-	1,120	-	0,796	-	-
42	7,200E-06	7,200E-06	-	-	1,120	1,120	0,850	0,850	-	-
43	-	6,700E-06	-	-	-	1,120	-	0,768	-	-
44	6,200E-06	6,200E-06	-	-	1,120	1,120	0,860	0,860	-	-
45	-	6,880E-06	-	-	-	1,120	-	0,742	-	-
46	-	7,610E-06	-	-	-	1,120	-	0,730	-	-
47	8,400E-06	8,400E-06	-	-	1,120	1,120	0,870	0,870	-	-
48	-	7,900E-06	-	-	-	1,116	-	0,768	-	-
49	-	7,430E-06	-	-	-	1,113	-	0,697	-	-
50	7,000E-06	7,000E-06	-	-	1,110	1,110	0,850	0,850	-	-
51	-	1,189E-05	-	-	-	1,007	-	0,593	-	-
52	-	2,001E-05	-	-	-	0,915	-	0,417	-	-
53	-	3,334E-05	-	-	-	0,833	-	0,295	-	-
54	5,500E-05	5,500E-05	-	-	0,760	0,760	0,210	0,210	-	-
55	-	6,960E-05	-	-	-	0,750	-	0,210	-	-
56	-	8,770E-05	-	-	-	0,740	-	0,210	-	-
57	1,100E-04	1,100E-04	0,018	0,018	0,730	0,730	0,210	0,210	-	-
58	8,100E-05	8,100E-05	0,061	0,061	0,720	0,720	0,160	0,160	0,440	0,440
59	-	8,020E-05	-	0,063	-	0,720	-	0,148	-	0,462
60	7,300E-05	7,300E-05	0,065	0,065	0,720	0,720	0,150	0,150	0,590	0,590
61	-	7,880E-05	-	0,083	-	0,706	-	0,127	-	0,507
62	-	7,810E-05	-	0,106	-	0,693	-	0,118	-	0,531
63	7,200E-05	7,200E-05	0,134	0,134	0,680	0,680	0,110	0,110	0,700	0,700
64	-	7,670E-05	-	0,131	-	0,680	-	0,110	-	0,580
65	7,000E-05	7,000E-05	0,127	0,127	0,680	0,680	0,110	0,110	0,750	0,750
66	-	7,540E-05	-	0,135	-	0,675	-	0,105	-	0,633
67	7,000E-05	7,000E-05	0,142	0,142	0,670	0,670	0,100	0,100	0,810	0,810

Çizelge 3.2. (Devam) N₂ alttabakası için flöresans ve Coster- Kronig verimler

68	-	7,420E-05	-	0,135	-	0,677	-	0,100	-	0,688
69	-	7,360E-05	-	0,128	-	0,683	-	0,100	-	0,717
70	6,500E-05	6,500E-05	0,122	0,122	0,690	0,690	0,100	0,100	0,840	0,840
71	-	6,850E-05	-	0,120	-	0,685	-	0,100	-	0,777
72	-	7,220E-05	-	0,118	-	0,680	-	0,100	-	0,808
73	7,500E-05	7,500E-05	0,118	0,118	0,680	0,680	0,100	0,100	0,840	0,840
74	8,000E-05	8,000E-05	0,114	0,114	0,670	0,670	0,100	0,100	0,840	0,840
75	-	8,900E-05	-	0,116	-	0,687	-	0,100	-	0,762
76	-	9,900E-05	-	0,117	-	0,683	-	0,100	-	0,727
77	1,000E-04	1,000E-04	0,119	0,119	0,680	0,680	0,100	0,100	0,770	0,770
78	-	1,190E-04	-	0,105	-	0,675	-	0,100	-	0,662
79	1,200E-04	1,200E-04	0,090	0,090	0,670	0,670	0,100	0,100	0,680	0,680
80	-	1,440E-04	-	0,101	-	0,646	-	0,100	-	0,604
81	-	1,580E-04	-	0,114	-	0,623	-	0,100	-	0,578
82	-	1,730E-04	-	0,128	-	0,601	-	0,100	-	0,553
83	1,900E-04	1,900E-04	0,144	0,144	0,580	0,580	0,100	0,100	0,530	0,530
84	-	1,933E-04	-	0,099	-	0,624	-	0,103	-	0,562
85	-	1,970E-04	-	0,067	-	0,670	-	0,106	-	0,595
86	2,000E-04	2,000E-04	0,047	0,047	0,720	0,720	0,110	0,110	0,630	0,630
87	-	2,590E-04	-	0,052	-	0,674	-	0,110	-	0,522
88	-	3,340E-04	-	0,058	-	0,631	-	0,110	-	0,433
89	-	4,300E-04	-	0,064	-	0,592	-	0,110	-	0,360
90	6,700E-04	6,700E-04	0,092	0,092	0,530	0,530	0,110	0,110	0,300	0,300
91	-	7,050E-04	-	0,078	-	0,521	-	0,110	-	0,284
92	9,000E-04	9,000E-04	0,111	0,111	0,490	0,490	0,110	0,110	0,220	0,220
93	-	9,360E-04	-	0,095	-	0,493	-	0,107	-	0,256
94	-	9,730E-04	-	0,105	-	0,495	-	0,105	-	0,243
95	-	1,012E-03	-	0,115	-	0,498	-	0,102	-	0,231
96	1,050E-03	1,050E-03	0,113	0,113	0,500	0,500	0,100	0,100	0,220	0,220
97	-	1,169E-03	-	0,139	-	0,469	-	0,100	-	0,227
98	-	1,300E-03	-	0,153	-	0,441	-	0,100	-	0,235
99	-	1,440E-03	-	0,167	-	0,415	-	0,100	-	0,242
100	1,600E-03	1,600E-03	0,183	0,183	0,390	0,390	0,100	0,100	0,250	0,250
101	-	2,190E-03	-	0,180	-	0,393	-	0,100	-	0,250

Çizelge 3.3. N₃ alttabakası için flöresans ve Coster- Kronig verimler

Z	ω_3 (McGuire[1])	ω_3 (Fit)	S(3,4) (McGuire[1])	S(3,4) (Fit)	S(3,5) (McGuire[1])	S(3,5) (Fit)	S(3,67) (McGuire[1])	S(3,67) (Fit)
38	1,300E-02	1,300E-02	-	-	-	-	-	-
39	-	6,510E-03	-	-	-	-	-	-
40	2,300E-05	2,300E-05	0,520	0,520	1,250	1,250	-	-
41	-	1,510E-05	-	0,546	-	1,300	-	-
42	7,200E-06	7,200E-06	0,620	0,620	1,350	1,350	-	-
43	-	6,700E-06	-	0,601	-	1,355	-	-
44	6,200E-06	6,200E-06	0,630	0,630	1,360	1,360	-	-
45	-	6,880E-06	-	0,630	-	1,360	-	-
46	-	7,610E-06	-	0,630	-	1,360	-	-
47	8,400E-06	8,400E-06	0,630	0,630	1,360	1,360	-	-
48	-	7,900E-06	-	0,626	-	1,353	-	-
49	-	7,430E-06	-	0,623	-	1,346	-	-
50	7,000E-06	7,000E-06	0,620	0,620	1,340	1,340	-	-
51	-	1,189E-05	-	0,463	-	1,162	-	-
52	-	2,001E-05	-	0,348	-	1,010	-	-
53	-	3,334E-05	-	0,263	-	0,881	-	-
54	5,500E-05	5,500E-05	0,200	0,200	0,770	0,770	-	-
55	-	6,380E-05	-	0,203	-	0,761	-	-
56	-	7,370E-05	-	0,207	-	0,753	-	-
57	8,500E-05	8,500E-05	0,210	0,210	0,745	0,745	-	-
58	5,900E-05	5,900E-05	0,180	0,180	0,760	0,760	0,410	0,410
59	-	5,750E-05	-	0,176	-	0,755	-	0,460
60	5,600E-05	5,600E-05	0,170	0,170	0,750	0,750	0,570	0,570
61	-	5,600E-05	-	0,168	-	0,753	-	0,573
62	-	5,600E-05	-	0,165	-	0,760	-	0,638
63	5,600E-05	5,600E-05	0,160	0,160	0,760	0,760	0,710	0,710
64	-	5,600E-05	-	0,160	-	0,755	-	0,740
65	5,600E-05	5,600E-05	0,160	0,160	0,750	0,750	0,770	0,770
66	-	5,600E-05	-	0,151	-	0,755	-	0,785
67	5,900E-05	5,900E-05	0,150	0,150	0,760	0,760	0,860	0,860

Çizelge 3.3. (Devam) N₃ alttabakası için flöresans ve Coster- Kronig verimler

68	-	5,650E-05	-	0,146	-	0,757	-	0,820
69	-	5,420E-05	-	0,143	-	0,753	-	0,840
70	5,200E-05	5,200E-05	0,150	0,150	0,750	0,750	0,860	0,860
71	-	5,430E-05	-	0,146	-	0,746	-	0,863
72	-	5,660E-05	-	0,143	-	0,743	-	0,867
73	5,900E-05	5,900E-05	0,140	0,140	0,740	0,740	0,870	0,870
74	6,900E-05	6,900E-05	0,140	0,140	0,730	0,730	0,820	0,820
75	-	6,820E-05	-	0,143	-	0,733	-	0,813
76	-	7,320E-05	-	0,147	-	0,737	-	0,807
77	7,700E-05	7,700E-05	0,150	0,150	0,740	0,740	0,800	0,800
78	-	8,410E-05	-	0,145	-	0,745	-	0,766
79	9,000E-05	9,000E-05	0,140	0,140	0,710	0,710	0,740	0,740
80	-	1,007E-04	-	0,140	-	0,694	-	0,703
81	-	1,126E-04	-	0,140	-	0,679	-	0,674
82	-	1,256E-04	-	0,140	-	0,664	-	0,646
83	1,400E-04	1,400E-04	0,140	0,140	0,650	0,650	0,620	0,620
84	-	1,250E-04	-	0,140	-	0,673	-	0,633
85	-	1,210E-04	-	0,140	-	0,696	-	0,647
86	1,200E-04	1,200E-04	0,140	0,140	0,720	0,720	0,660	0,660
87	-	1,680E-04	-	0,137	-	0,679	-	0,558
88	-	2,340E-04	-	0,135	-	0,640	-	0,472
89	-	3,250E-04	-	0,132	-	0,604	-	0,400
90	4,500E-04	4,500E-04	0,130	0,130	0,570	0,570	0,340	0,340
91	-	5,200E-04	-	0,130	-	0,560	-	0,323
92	5,900E-04	5,900E-04	0,130	0,130	0,550	0,550	0,290	0,290
93	-	6,140E-04	-	0,130	-	0,550	-	0,291
94	-	6,390E-04	-	0,130	-	0,550	-	0,276
95	-	6,640E-04	-	0,130	-	0,550	-	0,263
96	6,900E-04	6,900E-04	0,130	0,130	0,550	0,550	0,310	0,310
97	-	7,640E-04	-	0,127	-	0,534	-	0,311
98	-	8,450E-04	-	0,125	-	0,519	-	0,313
99	-	9,330E-04	-	0,122	-	0,504	-	0,314
100	1,030E-03	1,030E-03	0,120	0,120	0,490	0,490	0,310	0,310
101	-	1,120E-03	-	0,120	-	0,487	-	0,317

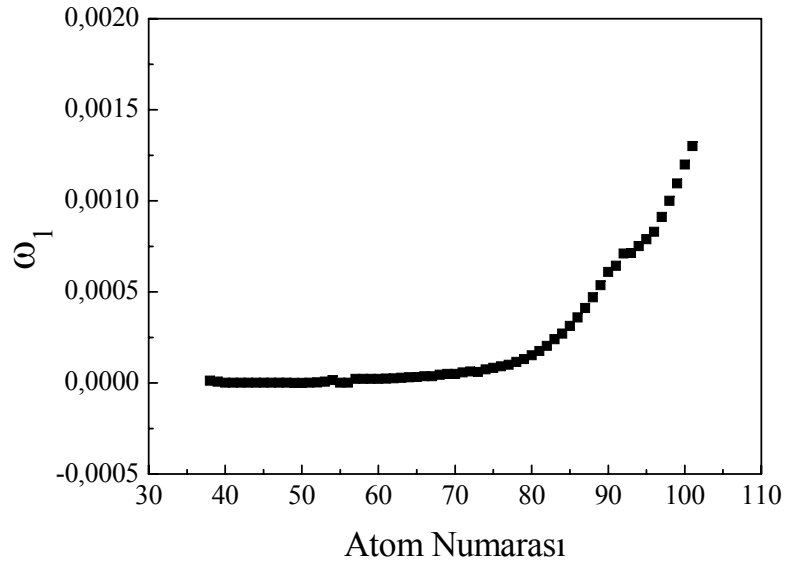
Çizelge 3.4. N₄, N₅ ve N_{6,7} alttabakaları için flöresans ve Coster- Kronig verimler

Z	ω_4 (McGuire[1])	ω_4 (Fit)	S(4,5) (McGuire[1])	S(4,5) (Fit)	S(4,67) (McGuire[1])	S(4,67) (Fit)	ω_5 (McGuire[1])	ω_5 (Fit)	S(5,67) (McGuire[1])	S(5,67) (Fit)	$\omega_{6,7}$ (McGuire[1])	$\omega_{6,7}$ (Fit)
50	4,200E-06	4,200E-06	-	-	-	-	4,200E-06	4,200E-06	-	-	-	-
51	-	8,430E-06	-	-	-	-	-	8,430E-06	-	-	-	-
52	-	1,670E-05	-	-	-	-	-	1,670E-05	-	-	-	-
53	-	3,264E-05	-	-	-	-	-	3,264E-05	-	-	-	-
54	6,300E-05	6,300E-05	-	-	-	-	6,300E-05	6,300E-05	-	-	-	-
55	-	8,300E-05	-	-	-	-	-	8,300E-05	-	-	-	-
56	-	1,080E-04	-	-	-	-	-	1,080E-04	-	-	-	-
57	1,400E-04	1,400E-04	-	-	-	-	1,400E-04	1,400E-04	-	-	-	-
58	1,900E-04	1,900E-04	-	-	1,020	1,020	1,900E-04	1,900E-04	1,020	1,020	-	-
59	-	1,740E-04	-	-	-	1,210	-	1,730E-04	-	1,210	-	-
60	1,300E-04	1,300E-04	-	-	1,400	1,400	1,300E-04	1,300E-04	1,400	1,400	-	-
61	-	1,450E-04	-	-	-	1,448	-	1,370E-04	-	1,440	-	-
62	-	1,330E-04	-	-	-	1,496	-	1,230E-04	-	1,480	-	-
63	1,100E-04	1,100E-04	-	-	1,620	1,620	1,100E-04	1,100E-04	1,670	1,670	-	-
64	-	1,130E-04	-	-	-	1,595	-	1,100E-04	-	1,563	-	-
65	1,100E-04	1,100E-04	-	-	1,720	1,720	1,100E-04	1,100E-04	1,720	1,720	-	-
66	-	9,600E-05	-	-	-	1,698	-	1,100E-04	-	1,647	-	-
67	1,100E-04	1,100E-04	-	-	1,750	1,750	1,100E-04	1,100E-04	1,750	1,750	-	-
68	-	8,200E-05	-	-	-	1,627	-	1,030E-04	-	1,732	-	-
69	-	7,600E-05	-	-	-	1,514	-	9,600E-05	-	1,776	-	-
70	7,000E-05	7,000E-05	0,450	0,450	1,410	1,410	9,000E-05	9,000E-05	1,820	1,820	0,000E+00	0,000E+00
71	-	8,400E-05	-	0,142	-	1,510	-	9,900E-05	-	1,797	-	1,200E-06
72	-	1,010E-04	-	0,046	-	1,623	-	1,090E-04	-	1,774	-	2,400E-06
73	1,200E-04	1,200E-04	0,015	0,015	1,740	1,740	1,200E-04	1,200E-04	1,770	1,770	3,600E-06	3,600E-06
74	1,200E-04	1,200E-04	0,021	0,021	1,700	1,700	1,300E-04	1,300E-04	1,730	1,730	7,200E-06	7,200E-06
75	-	1,230E-04	-	0,025	-	1,658	-	1,380E-04	-	1,753	-	1,034E-05
76	-	1,270E-04	-	0,030	-	1,619	-	1,480E-04	-	1,777	-	1,477E-05
77	1,300E-04	1,300E-04	0,034	0,034	1,610	1,610	1,400E-04	1,400E-04	1,800	1,800	2,150E-05	2,150E-05
78	-	1,400E-04	-	0,042	-	1,545	-	1,690E-04	-	1,695	-	3,000E-05
79	1,500E-04	1,500E-04	0,049	0,049	1,510	1,510	1,600E-04	1,600E-04	1,590	1,590	3,900E-05	3,900E-05

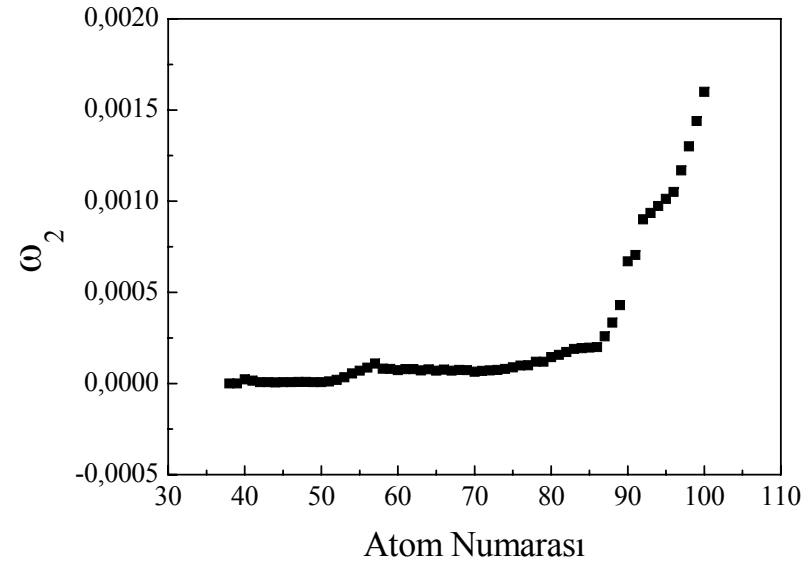
Çizelge 3.4. (Devam) N₄, N₅ ve N_{6,7} alttabakaları için flöresans ve Coster- Kronig verimler

80	-	1,860E-04	-	0,024	-	1,540	-	1,930E-04	-	1,600	-	5,760E-05
81	-	1,990E-04	-	0,012	-	1,570	-	2,050E-04	-	1,610	-	8,460E-05
82	-	1,990E-04	-	0,005	-	1,600	-	2,190E-04	-	1,620	-	1,237E-04
83	2,300E-04	2,300E-04	0,003	0,003	1,630	1,630	2,300E-04	2,300E-04	1,630	1,630	1,800E-04	1,800E-04
84	-	2,450E-04	-	0,003	-	1,414	-	2,480E-04	-	1,414	-	2,430E-04
85	-	2,620E-04	-	0,004	-	1,229	-	2,640E-04	-	1,229	-	3,280E-04
86	2,800E-04	2,800E-04	0,004	0,004	1,070	1,070	2,800E-04	2,800E-04	1,070	1,070	4,400E-04	4,400E-04
87	-	3,280E-04	-	0,003	-	1,053	-	3,190E-04	-	1,055	-	4,450E-04
88	-	3,830E-04	-	0,003	-	1,036	-	3,640E-04	-	1,040	-	4,500E-04
89	-	4,460E-04	-	0,002	-	1,200	-	4,140E-04	-	1,026	-	4,550E-04
90	4,700E-04	4,700E-04	0,002	0,002	1,020	1,020	4,700E-04	4,700E-04	1,020	1,020	4,600E-04	4,600E-04
91	-	6,030E-04	-	0,009	-	0,989	-	5,820E-04	-	0,998	-	3,850E-04
92	7,000E-04	7,000E-04	0,016	0,016	0,871	0,871	7,200E-04	7,200E-04	0,886	0,886	3,100E-04	3,100E-04
93	-	7,220E-04	-	0,018	-	0,959	-	7,420E-04	-	0,972	-	2,940E-04
94	-	7,440E-04	-	0,019	-	0,945	-	7,640E-04	-	0,959	-	2,780E-04
95	-	7,670E-04	-	0,021	-	0,831	-	7,870E-04	-	0,947	-	2,640E-04
96	7,900E-04	7,900E-04	0,021	0,021	0,849	0,849	8,100E-04	8,100E-04	0,868	0,868	2,500E-04	2,500E-04
97	-	8,780E-04	-	0,025	-	0,905	-	8,780E-04	-	0,933	-	2,600E-04
98	-	9,100E-04	-	0,027	-	0,892	-	9,510E-04	-	0,911	-	2,700E-04
99	-	1,080E-03	-	0,029	-	0,879	-	1,030E-03	-	0,899	-	2,800E-04
100	1,200E-03	1,200E-03	0,032	0,032	0,813	0,813	1,200E-03	1,200E-03	0,841	0,841	2,900E-04	2,900E-04
101	-	1,230E-03	-	0,031	-	0,855	-	1,300E-03	-	0,879	-	2,900E-04

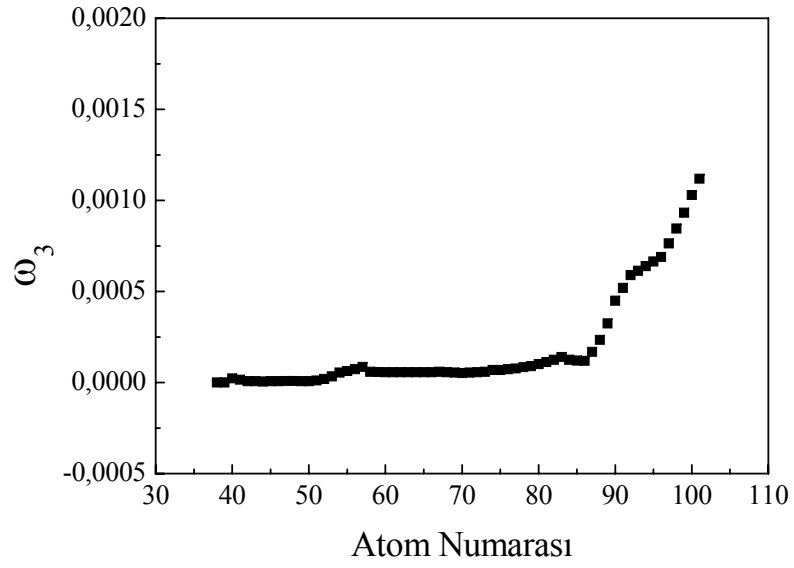
Atom numarası $38 \leq Z \leq 101$ olan elementler için hesapladığımız N tabakasına ait yedi alttabaka için flöresans verim değerleri Şekil 3.1-6'de gösterilmiştir.



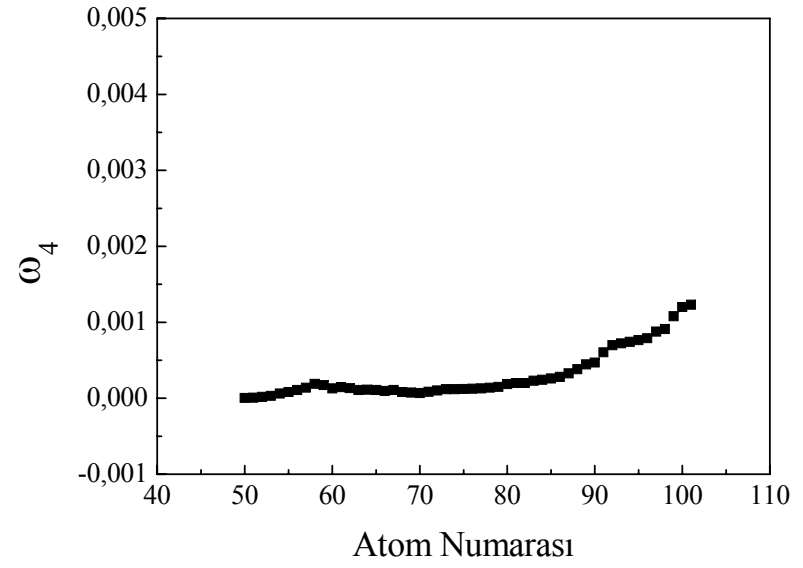
Şekil 3.1. N₁ alttabakası flöresans verim



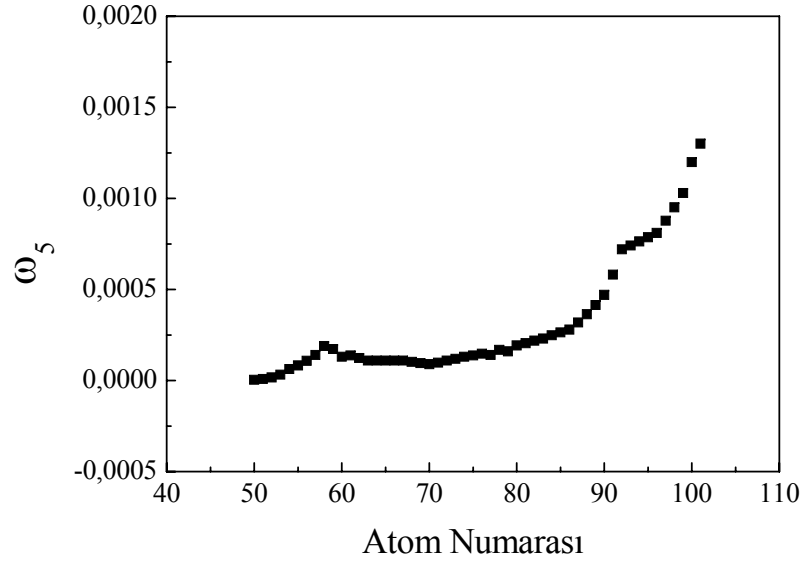
Şekil 3.2. N₂ alttabakası flöresans verim



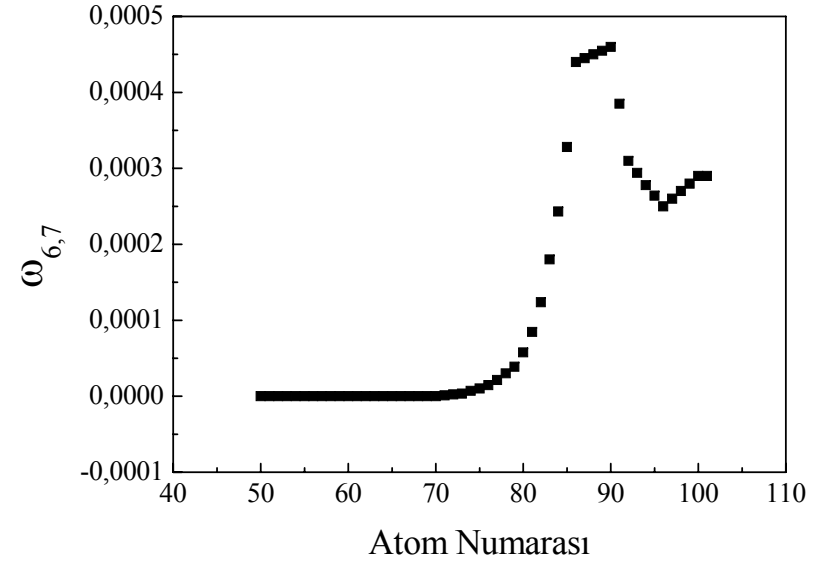
Şekil 3.3. N₃ alttabakası flöresans verim



Şekil 3.4. N₄ alttabakası flöresans verim



Şekil 3.5. N₅ alttabakası flöresans verim



Şekil 3.6. N_{6,7} alttabakası flöresans verim

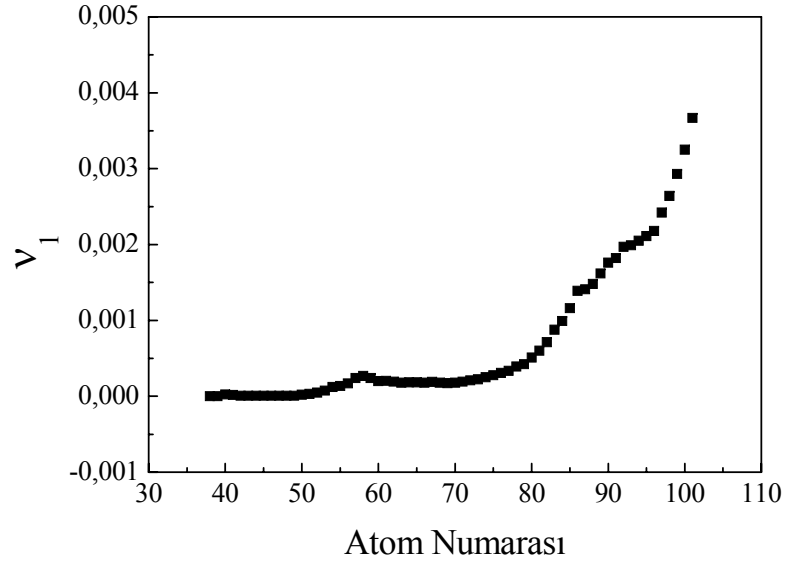
Çizelge 3.5. N tabakasına ait etkin alttabaka flöresans verimler

Z	ν_1^N	ν_2^N	ν_3^N	ν_4^N	ν_5^N	$\nu_{6,7}^N$
38	1,288E-02	1,300E-02	1,300E-02	-	-	-
39	6,289E-03	6,510E-03	6,510E-03	-	-	-
40	2,372E-05	2,300E-05	2,300E-05	-	-	-
41	1,635E-05	1,510E-05	1,510E-05	-	-	-
42	8,428E-06	7,200E-06	7,200E-06	-	-	-
43	7,863E-06	6,700E-06	6,700E-06	-	-	-
44	7,114E-06	6,200E-06	6,200E-06	-	-	-
45	7,650E-06	6,880E-06	6,880E-06	-	-	-
46	8,226E-06	7,610E-06	7,610E-06	-	-	-
47	8,864E-06	8,400E-06	8,400E-06	-	-	-
48	8,365E-06	7,900E-06	7,900E-06	-	-	-
49	7,911E-06	7,430E-06	7,430E-06	-	-	-
50	1,975E-05	1,523E-05	1,523E-05	4,200E-06	4,200E-06	-
51	3,078E-05	2,538E-05	2,559E-05	8,430E-06	8,430E-06	-
52	4,830E-05	4,225E-05	4,269E-05	1,670E-05	1,670E-05	-
53	7,619E-05	7,016E-05	7,068E-05	3,264E-05	3,264E-05	-
54	1,212E-04	1,161E-04	1,161E-04	6,300E-05	6,300E-05	-
55	1,351E-04	1,493E-04	1,438E-04	8,300E-05	8,300E-05	-
56	1,683E-04	1,903E-04	1,774E-04	1,080E-04	1,080E-04	-
57	2,411E-04	2,455E-04	2,187E-04	1,400E-04	1,400E-04	-
58	2,663E-04	2,627E-04	2,376E-04	1,900E-04	1,900E-04	-
59	2,394E-04	2,449E-04	2,187E-04	1,740E-04	1,730E-04	-
60	1,992E-04	1,975E-04	1,756E-04	1,300E-04	1,300E-04	-
61	2,029E-04	2,138E-04	1,835E-04	1,450E-04	1,370E-04	-
62	1,926E-04	2,030E-04	1,714E-04	1,330E-04	1,230E-04	-
63	1,813E-04	1,800E-04	1,572E-04	1,100E-04	1,100E-04	-
64	1,818E-04	1,862E-04	1,571E-04	1,130E-04	1,100E-04	-
65	1,834E-04	1,767E-04	1,561E-04	1,100E-04	1,100E-04	-
66	1,814E-04	1,725E-04	1,535E-04	9,600E-05	1,100E-04	-
67	1,884E-04	1,773E-04	1,591E-04	1,100E-04	1,100E-04	-
68	1,790E-04	1,598E-04	1,464E-04	8,200E-05	1,030E-04	-
69	1,745E-04	1,527E-04	1,374E-04	7,600E-05	9,600E-05	-
70	1,784E-04	1,668E-04	1,361E-04	1,105E-04	9,000E-05	-
71	1,923E-04	1,656E-04	1,454E-04	1,002E-04	1,012E-04	1,200E-06
72	2,095E-04	1,790E-04	1,586E-04	1,101E-04	1,133E-04	2,400E-06
73	2,234E-04	1,983E-04	1,736E-04	1,282E-04	1,264E-04	3,600E-06
74	2,521E-04	2,135E-04	1,978E-04	1,352E-04	1,425E-04	7,200E-06
75	2,758E-04	2,360E-04	2,116E-04	1,440E-04	1,561E-04	1,034E-05
76	3,081E-04	2,615E-04	2,365E-04	1,561E-04	1,742E-04	1,477E-05
77	3,353E-04	2,805E-04	2,520E-04	1,707E-04	1,787E-04	2,150E-05
78	3,910E-04	3,243E-04	2,992E-04	1,956E-04	2,199E-04	3,000E-05
79	4,212E-04	3,436E-04	3,073E-04	2,198E-04	2,220E-04	3,900E-05
80	5,114E-04	4,274E-04	3,785E-04	2,815E-04	2,852E-04	5,760E-05
81	6,006E-04	5,014E-04	4,483E-04	3,359E-04	3,412E-04	8,460E-05
82	7,120E-04	5,923E-04	5,399E-04	3,990E-04	4,194E-04	1,237E-04
83	8,786E-04	7,380E-04	6,653E-04	5,250E-04	5,234E-04	1,800E-04
84	9,926E-04	8,345E-04	7,596E-04	5,906E-04	5,916E-04	2,430E-04
85	1,160E-03	9,698E-04	8,910E-04	6,675E-04	6,671E-04	3,280E-04
86	1,390E-03	1,152E-03	1,057E-03	7,538E-04	7,508E-04	4,400E-04
87	1,409E-03	1,172E-03	1,061E-03	7,990E-04	7,885E-04	4,450E-04
88	1,482E-03	1,221E-03	1,094E-03	8,517E-04	8,320E-04	4,500E-04
89	1,617E-03	1,354E-03	1,170E-03	9,938E-04	8,808E-04	4,550E-04
90	1,763E-03	1,526E-03	1,264E-03	9,411E-04	9,392E-04	4,600E-04
91	1,822E-03	1,540E-03	1,314E-03	9,925E-04	9,662E-04	3,850E-04

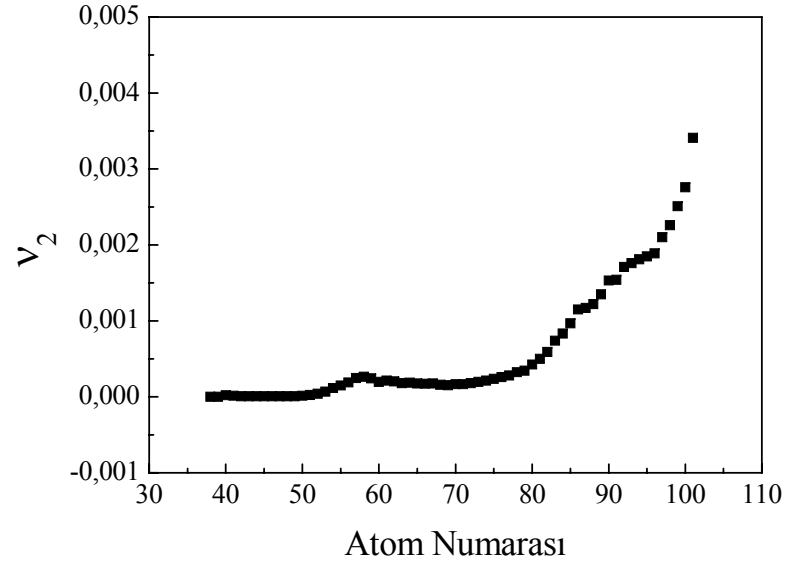
Çizelge 3.5. (Devam) N tabakasına ait etkin alttabaka flöresans verimler

92	1,973E-03	1,711E-03	1,355E-03	9,859E-04	9,947E-04	3,100E-04
93	1,987E-03	1,758E-03	1,398E-03	1,022E-03	1,028E-03	2,940E-04
94	2,047E-03	1,805E-03	1,416E-03	1,026E-03	1,031E-03	2,780E-04
95	2,110E-03	1,846E-03	1,435E-03	1,008E-03	1,037E-03	2,640E-04
96	2,177E-03	1,885E-03	1,465E-03	1,024E-03	1,027E-03	2,500E-04
97	2,418E-03	2,096E-03	1,588E-03	1,141E-03	1,121E-03	2,600E-04
98	2,640E-03	2,265E-03	1,699E-03	1,183E-03	1,197E-03	2,700E-04
99	2,932E-03	2,508E-03	1,833E-03	1,363E-03	1,282E-03	2,800E-04
100	3,255E-03	2,762E-03	2,005E-03	1,482E-03	1,444E-03	2,900E-04
101	3,667E-03	3,405E-03	2,152E-03	1,526E-03	1,555E-03	2,900E-04

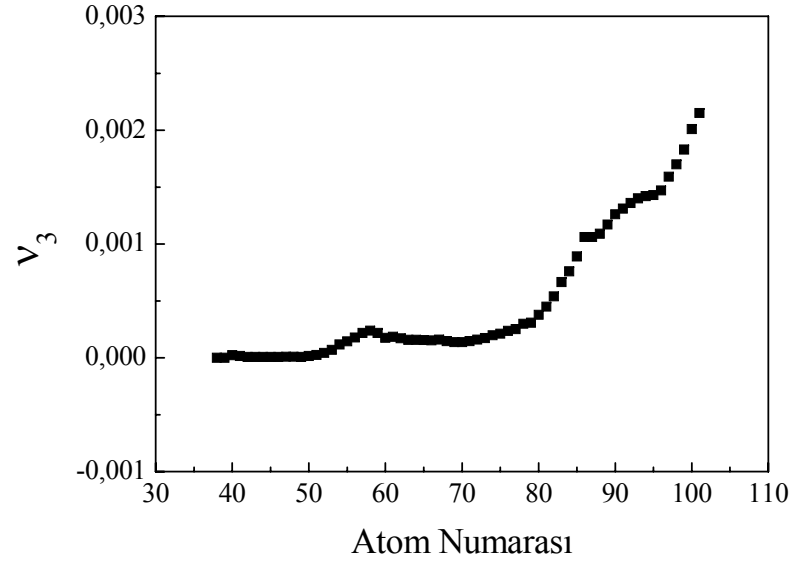
Atom numarası $38 \leq Z \leq 101$ arası tüm elementler için hesapladığımız N tabakasına ait yedi alttabaka için etkin alttabaka flöresans verim değerleri Çizelge 3.5'te verilmiş ve Şekil 3.7-12'de gösterilmiştir.



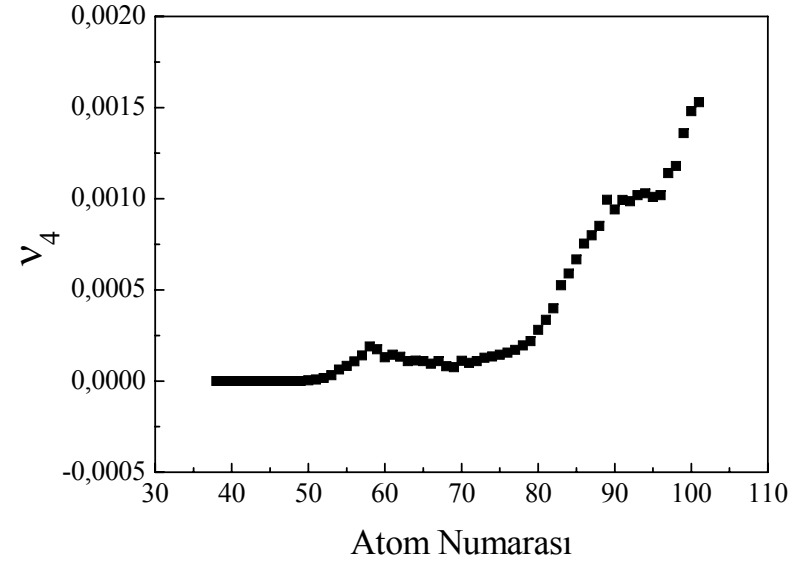
Şekil 3.7. N_1 etkin alttabaka flöresans verim



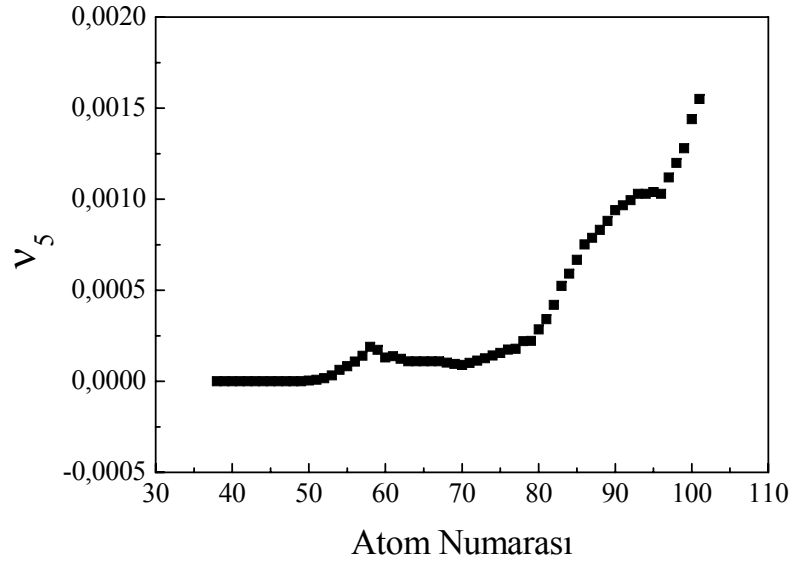
Şekil 3.8. N_2 etkin alttabaka flöresans verim



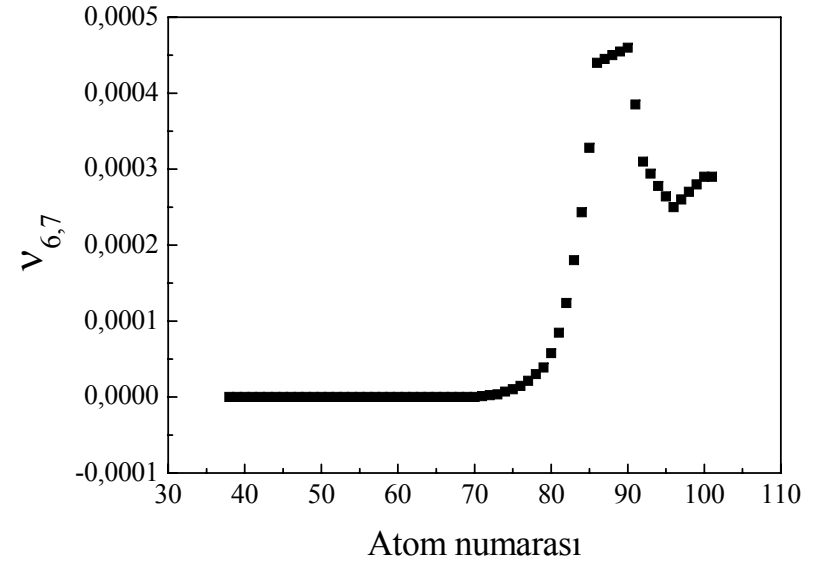
Şekil 3.9. N_3 etkin alttabaka flöresans verim



Şekil 3.10. N_4 etkin alttabaka flöresans verim



Şekil 3.11. N_5 etkin alttabaka flöresans verim



Şekil 3.12. $N_{6,7}$ etkin alttabaka flöresans verim

Eş. 3.1, Eş. 3.2 ve Eş. 3.3 denklemlerinden yola çıkarak Çizelge 3.5’ teki elde edilen N tabakasına ait etkin alttabaka flöresans verim değerleri kullanılarak N tabakasına ait toplam X-ışını flöresans tesir kesit değerleri (σ_N^x) hesaplanmıştır ve Çizelge 3.6’ da verilmiştir.

Çizelge 3.6. N tabakasına ait toplam X-ışını flöresans verimler

Z	σ_N^I	σ_{N1}^I	σ_{N2}^I	σ_{N3}^I	σ_{N4}^I	σ_{N5}^I	$\sigma_{N6,7}^I$	σ_N^x
38	6,019E+02	2,521E+02	1,166E+02	2,115E+02	-	-	-	7,512E+00
39	7,200E+02	2,890E+02	1,427E+02	2,582E+02	1,372E+00	1,918E+00	-	4,427E+00
40	8,464E+02	3,280E+02	1,707E+02	3,083E+02	4,007E+00	5,301E+00	-	1,880E-02
41	9,536E+02	3,622E+02	1,978E+02	3,559E+02	9,835E+00	1,367E+01	-	1,428E-02
42	1,100E+03	4,021E+02	2,302E+02	4,132E+02	1,655E+01	2,297E+01	-	8,021E-03
43	1,261E+03	4,432E+02	2,651E+02	4,747E+02	2,591E+01	3,591E+01	-	8,441E-03
44	1,438E+03	4,856E+02	3,026E+02	5,405E+02	3,853E+01	5,331E+01	-	8,682E-03
45	1,633E+03	5,294E+02	3,427E+02	6,107E+02	5,509E+01	7,608E+01	-	1,061E-02
46	1,818E+03	5,715E+02	3,820E+02	6,782E+02	7,873E+01	1,079E+02	-	1,277E-02
47	2,082E+03	6,211E+02	4,310E+02	7,643E+02	1,032E+02	1,419E+02	-	1,555E-02
48	2,386E+03	6,740E+02	4,850E+02	8,593E+02	1,318E+02	1,825E+02	-	1,626E-02
49	2,716E+03	7,298E+02	5,436E+02	9,627E+02	1,656E+02	2,293E+02	-	1,697E-02
50	3,082E+03	7,885E+02	6,069E+02	1,075E+03	2,043E+02	2,830E+02	-	4,323E-02
51	3,490E+03	8,491E+02	6,748E+02	1,195E+03	2,485E+02	3,442E+02	-	7,883E-02
52	3,941E+03	9,137E+02	7,470E+02	1,323E+03	2,986E+02	4,131E+02	-	1,440E-01
53	4,437E+03	9,799E+02	8,237E+02	1,458E+03	3,549E+02	4,907E+02	-	2,631E-01
54	4,980E+03	1,048E+03	9,045E+02	1,602E+03	4,180E+02	5,774E+02	-	4,808E-01
55	4,453E+03	1,119E+03	9,900E+02	1,754E+03	4,887E+02	6,746E+02	-	6,478E-01
56	4,959E+03	1,193E+03	1,080E+03	1,914E+03	5,676E+02	7,827E+02	-	8,916E-01
57	5,485E+03	1,268E+03	1,174E+03	2,082E+03	6,545E+02	9,018E+02	-	1,267E+00
58	5,811E+03	1,327E+03	1,251E+03	2,213E+03	7,236E+02	9,946E+02	3,351E+00	1,534E+00
59	6,260E+03	1,395E+03	1,339E+03	2,368E+03	8,102E+02	1,112E+03	6,355E+00	1,513E+00
60	6,728E+03	1,463E+03	1,429E+03	2,527E+03	9,028E+02	1,237E+03	1,053E+01	1,296E+00
61	7,214E+03	1,533E+03	1,522E+03	2,690E+03	1,002E+03	1,370E+03	1,616E+01	1,463E+00
62	7,721E+03	1,602E+03	1,617E+03	2,857E+03	1,108E+03	1,512E+03	2,352E+01	1,460E+00
63	8,249E+03	1,673E+03	1,714E+03	3,027E+03	1,220E+03	1,662E+03	3,297E+01	1,405E+00
64	8,916E+03	1,750E+03	1,821E+03	3,221E+03	1,353E+03	1,841E+03	4,281E+01	1,519E+00
65	9,372E+03	1,815E+03	1,913E+03	3,381E+03	1,467E+03	1,991E+03	5,973E+01	1,579E+00
66	9,970E+03	1,887E+03	2,016E+03	3,565E+03	1,602E+03	2,170E+03	7,795E+01	1,630E+00
67	1,059E+04	1,960E+03	2,121E+03	3,752E+03	1,744E+03	2,359E+03	1,001E+02	1,793E+00
68	1,124E+04	2,033E+03	2,227E+03	3,943E+03	1,894E+03	2,557E+03	1,268E+02	1,716E+00
69	1,192E+04	2,107E+03	2,335E+03	4,138E+03	2,052E+03	2,766E+03	1,587E+02	1,714E+00
70	1,263E+04	2,180E+03	2,444E+03	4,337E+03	2,219E+03	2,985E+03	1,965E+02	1,901E+00
71	1,350E+04	2,259E+03	2,562E+03	4,557E+03	2,409E+03	3,237E+03	2,394E+02	2,091E+00
72	1,442E+04	2,340E+03	2,683E+03	4,785E+03	2,612E+03	3,506E+03	2,856E+02	2,415E+00
73	1,541E+04	2,421E+03	2,806E+03	5,021E+03	2,828E+03	3,792E+03	3,379E+02	2,812E+00
74	1,646E+04	2,504E+03	2,932E+03	5,265E+03	3,058E+03	4,096E+03	3,969E+02	3,298E+00
75	1,757E+04	2,587E+03	3,059E+03	5,517E+03	3,301E+03	4,417E+03	4,631E+02	3,773E+00

Çizelge 3.6. (Devam) N tabakasına ait toplam X-ışını flöresans verimler

76	1,874E+04	2,670E+03	3,188E+03	5,776E+03	3,558E+03	4,756E+03	5,371E+02	4,415E+00
77	1,997E+04	2,754E+03	3,318E+03	6,042E+03	3,828E+03	5,114E+03	6,192E+02	4,958E+00
78	2,129E+04	2,838E+03	3,449E+03	6,314E+03	4,112E+03	5,488E+03	7,109E+02	6,150E+00
79	2,267E+04	2,922E+03	3,581E+03	6,592E+03	4,410E+03	5,880E+03	8,121E+02	6,793E+00
80	2,413E+04	3,005E+03	3,712E+03	6,877E+03	4,721E+03	6,290E+03	9,242E+02	8,902E+00
81	2,566E+04	3,088E+03	3,843E+03	7,168E+03	5,047E+03	6,719E+03	1,048E+03	1,107E+01
82	2,727E+04	3,170E+03	3,974E+03	7,466E+03	5,386E+03	7,166E+03	1,183E+03	1,394E+01
83	2,895E+04	3,250E+03	4,103E+03	7,768E+03	5,740E+03	7,632E+03	1,331E+03	1,830E+01
84	3,070E+04	3,330E+03	4,231E+03	8,077E+03	6,109E+03	8,116E+03	1,493E+03	2,174E+01
85	3,254E+04	3,409E+03	4,357E+03	8,392E+03	6,491E+03	8,619E+03	1,669E+03	2,629E+01
86	3,444E+04	3,486E+03	4,479E+03	8,712E+03	6,888E+03	9,140E+03	1,861E+03	3,208E+01
87	3,642E+04	3,560E+03	4,600E+03	9,036E+03	7,299E+03	9,681E+03	2,069E+03	3,438E+01
88	3,847E+04	3,633E+03	4,717E+03	9,369E+03	7,724E+03	1,024E+04	2,293E+03	3,752E+01
89	4,060E+04	3,705E+03	4,829E+03	9,705E+03	8,165E+03	1,082E+04	2,536E+03	4,268E+01
90	4,280E+04	3,773E+03	4,936E+03	1,004E+04	8,618E+03	1,142E+04	2,797E+03	4,700E+01
91	4,489E+04	3,836E+03	5,037E+03	1,039E+04	9,084E+03	1,203E+04	3,076E+03	5,022E+01
92	4,714E+04	3,897E+03	5,134E+03	1,074E+04	9,564E+03	1,266E+04	3,375E+03	5,408E+01
93	4,945E+04	3,956E+03	5,222E+03	1,109E+04	1,006E+04	1,331E+04	3,695E+03	5,758E+01
94	5,175E+04	4,011E+03	5,301E+03	1,144E+04	1,056E+04	1,397E+04	4,036E+03	6,033E+01
95	5,419E+04	4,061E+03	5,374E+03	1,179E+04	1,108E+04	1,465E+04	4,400E+03	6,293E+01
96	5,678E+04	4,105E+03	5,440E+03	1,216E+04	1,161E+04	1,535E+04	4,788E+03	6,585E+01
97	5,937E+04	4,146E+03	5,495E+03	1,252E+04	1,215E+04	1,607E+04	5,199E+03	7,465E+01
98	6,195E+04	4,184E+03	5,538E+03	1,289E+04	1,270E+04	1,680E+04	5,635E+03	8,213E+01
99	6,468E+04	4,218E+03	5,569E+03	1,325E+04	1,327E+04	1,754E+04	6,097E+03	9,290E+01
100	6,749E+04	4,247E+03	5,589E+03	1,362E+04	1,384E+04	1,830E+04	6,587E+03	1,054E+02
101	7,038E+04	4,268E+03	5,599E+03	1,399E+04	1,443E+04	1,908E+04	7,104E+03	1,186E+02

Çizelge 3.5 ve Çizelge 3.6'daki değerler, Eş. 3.13'te kullanılarak N tabakasına ait ortalama flöresans verimler elde edilmiştir.

$$\varpi_N = \frac{\nu_1 \sigma_{N1}^I + \nu_2 \sigma_{N2}^I + \nu_3 \sigma_{N3}^I + \nu_4 \sigma_{N4}^I + \nu_5 \sigma_{N5}^I + \nu_{6,7} \sigma_{N6,7}^I}{\sigma_{N1}^I + \sigma_{N2}^I + \sigma_{N3}^I + \sigma_{N4}^I + \sigma_{N5}^I + \sigma_{N6,7}^I} \quad (3.13)$$

Elde edilen N tabakasına ait ortalama flöresans verim değerleri Çizelge 3.8'de verilmiştir.

Aynı zamanda, x tabakasına ait ortalama flöresans verim, ϖ_x , x tabakasına ait i.

alttabakası ilk bağıl boşluk sayısı N_i^x ve x tabakasına ait etkin i. alttabaka flöresans

verimine ν_i^x bağılı olarak genel formülü aşağıda gibi yazılabilir.

$$\varpi_x = \sum_{i=1}^k N_i^x \nu_i^x \quad (3.14)$$

Eş. 3.14 genel denklemini N tabakası için,

$$\varpi_N = N_1^N \nu_1^N + N_2^N \nu_2^N + N_3^N \nu_3^N + N_4^N \nu_4^N + N_5^N \nu_5^N + N_{6,7}^N \nu_{6,7}^N \quad (3.15)$$

şeklinde de yazılabilir.

N tabakasına ait i. alttabakasında meydana getirilen ilk bağılı boşluk sayısı N_i , aşağıdaki bağıntı kullanılarak hesaplanabilir.

$$N_i = \frac{\sigma_i^I}{\sigma_T^I} \quad (i=1-7) \quad (3.16)$$

Burada, σ_i^P , N tabakasına ait i. alttabakası X-ışını fotoiyonizasyon tesir kesiti, σ_T^P , N tabakasına ait toplam X-ışını fotoiyonizasyon tesir kesitidir.

Aynı zamanda, N tabakasına ait i. alttabakasında meydana getirilen ilk bağılı boşluk sayıları N_i ,

$$N_i = \frac{n_i}{\sum n_i} \quad \sum N_i = 1 \quad (3.17)$$

olarak da yazılabilir.

Çizelge 3.6'dan yararlanılarak ve Eş. 3.16 kullanılarak hesaplanan ilk bağılı boşluk sayıları Çizelge 3.7'de verilmiştir.

Çizelge 3.7. N tabakasına ait ilk bağıl boşluk sayıları

Z	N ₁	N ₂	N ₃	N ₄	N ₅	N _{6,7}
38	4,188E-01	1,938E-01	3,513E-01	-	-	-
39	4,014E-01	1,982E-01	3,586E-01	1,905E-03	2,664E-03	-
40	3,876E-01	2,017E-01	3,643E-01	4,734E-03	6,264E-03	-
41	3,799E-01	2,074E-01	3,732E-01	1,031E-02	1,433E-02	-
42	3,654E-01	2,092E-01	3,755E-01	1,504E-02	2,087E-02	-
43	3,514E-01	2,102E-01	3,764E-01	2,054E-02	2,847E-02	-
44	3,377E-01	2,104E-01	3,758E-01	2,679E-02	3,707E-02	-
45	3,243E-01	2,099E-01	3,741E-01	3,374E-02	4,660E-02	-
46	3,143E-01	2,101E-01	3,730E-01	4,330E-02	5,933E-02	-
47	2,983E-01	2,070E-01	3,671E-01	4,956E-02	6,816E-02	-
48	2,825E-01	2,033E-01	3,601E-01	5,524E-02	7,647E-02	-
49	2,687E-01	2,002E-01	3,545E-01	6,098E-02	8,445E-02	-
50	2,558E-01	1,969E-01	3,487E-01	6,630E-02	9,181E-02	-
51	2,433E-01	1,933E-01	3,423E-01	7,121E-02	9,863E-02	-
52	2,318E-01	1,896E-01	3,356E-01	7,576E-02	1,048E-01	-
53	2,208E-01	1,856E-01	3,286E-01	7,999E-02	1,106E-01	-
54	2,105E-01	1,816E-01	3,216E-01	8,392E-02	1,159E-01	-
55	2,514E-01	2,223E-01	3,938E-01	1,098E-01	1,515E-01	-
56	2,405E-01	2,178E-01	3,860E-01	1,145E-01	1,579E-01	-
57	2,312E-01	2,141E-01	3,796E-01	1,193E-01	1,644E-01	-
58	2,284E-01	2,152E-01	3,809E-01	1,245E-01	1,712E-01	5,767E-04
59	2,228E-01	2,139E-01	3,783E-01	1,294E-01	1,776E-01	1,015E-03
60	2,175E-01	2,125E-01	3,756E-01	1,342E-01	1,838E-01	1,566E-03
61	2,124E-01	2,110E-01	3,729E-01	1,389E-01	1,899E-01	2,240E-03
62	2,075E-01	2,094E-01	3,700E-01	1,435E-01	1,958E-01	3,046E-03
63	2,028E-01	2,077E-01	3,670E-01	1,479E-01	2,015E-01	3,997E-03
64	1,963E-01	2,042E-01	3,612E-01	1,518E-01	2,065E-01	4,801E-03
65	1,937E-01	2,042E-01	3,608E-01	1,565E-01	2,125E-01	6,373E-03
66	1,893E-01	2,022E-01	3,575E-01	1,606E-01	2,177E-01	7,818E-03
67	1,850E-01	2,002E-01	3,542E-01	1,646E-01	2,227E-01	9,450E-03
68	1,808E-01	1,981E-01	3,507E-01	1,685E-01	2,274E-01	1,128E-02
69	1,767E-01	1,959E-01	3,471E-01	1,722E-01	2,320E-01	1,331E-02
70	1,726E-01	1,936E-01	3,434E-01	1,757E-01	2,364E-01	1,556E-02
71	1,674E-01	1,898E-01	3,376E-01	1,785E-01	2,398E-01	1,773E-02
72	1,622E-01	1,860E-01	3,317E-01	1,811E-01	2,431E-01	1,980E-02
73	1,571E-01	1,821E-01	3,259E-01	1,836E-01	2,461E-01	2,193E-02
74	1,521E-01	1,781E-01	3,199E-01	1,858E-01	2,489E-01	2,412E-02
75	1,472E-01	1,741E-01	3,140E-01	1,879E-01	2,514E-01	2,636E-02
76	1,425E-01	1,701E-01	3,081E-01	1,898E-01	2,538E-01	2,866E-02
77	1,379E-01	1,662E-01	3,025E-01	1,917E-01	2,561E-01	3,101E-02
78	1,333E-01	1,620E-01	2,966E-01	1,932E-01	2,578E-01	3,339E-02
79	1,289E-01	1,580E-01	2,908E-01	1,945E-01	2,594E-01	3,582E-02
80	1,245E-01	1,538E-01	2,850E-01	1,957E-01	2,607E-01	3,830E-02
81	1,203E-01	1,498E-01	2,793E-01	1,967E-01	2,618E-01	4,082E-02
82	1,163E-01	1,457E-01	2,738E-01	1,976E-01	2,628E-01	4,338E-02
83	1,123E-01	1,417E-01	2,684E-01	1,983E-01	2,637E-01	4,599E-02
84	1,085E-01	1,378E-01	2,631E-01	1,990E-01	2,643E-01	4,863E-02
85	1,048E-01	1,339E-01	2,579E-01	1,995E-01	2,649E-01	5,131E-02
86	1,012E-01	1,301E-01	2,530E-01	2,000E-01	2,654E-01	5,403E-02
87	9,776E-02	1,263E-01	2,481E-01	2,004E-01	2,658E-01	5,680E-02
88	9,444E-02	1,226E-01	2,435E-01	2,008E-01	2,662E-01	5,961E-02
89	9,126E-02	1,189E-01	2,390E-01	2,011E-01	2,665E-01	6,246E-02
90	8,815E-02	1,153E-01	2,347E-01	2,014E-01	2,667E-01	6,535E-02

Çizelge 3.7. (Devam) N tabakasına ait ilk bağıl boşluk sayıları

91	8,544E-02	1,122E-01	2,314E-01	2,023E-01	2,679E-01	6,851E-02
92	8,267E-02	1,089E-01	2,277E-01	2,029E-01	2,685E-01	7,159E-02
93	8,000E-02	1,056E-01	2,242E-01	2,034E-01	2,691E-01	7,472E-02
94	7,751E-02	1,024E-01	2,210E-01	2,041E-01	2,700E-01	7,799E-02
95	7,494E-02	9,917E-02	2,177E-01	2,044E-01	2,703E-01	8,120E-02
96	7,230E-02	9,581E-02	2,141E-01	2,045E-01	2,703E-01	8,432E-02
97	6,984E-02	9,256E-02	2,109E-01	2,047E-01	2,706E-01	8,757E-02
98	6,754E-02	8,939E-02	2,080E-01	2,050E-01	2,711E-01	9,096E-02
99	6,521E-02	8,610E-02	2,049E-01	2,051E-01	2,712E-01	9,426E-02
100	6,292E-02	8,281E-02	2,018E-01	2,051E-01	2,711E-01	9,759E-02
101	6,065E-02	7,956E-02	1,988E-01	2,050E-01	2,711E-01	1,009E-01

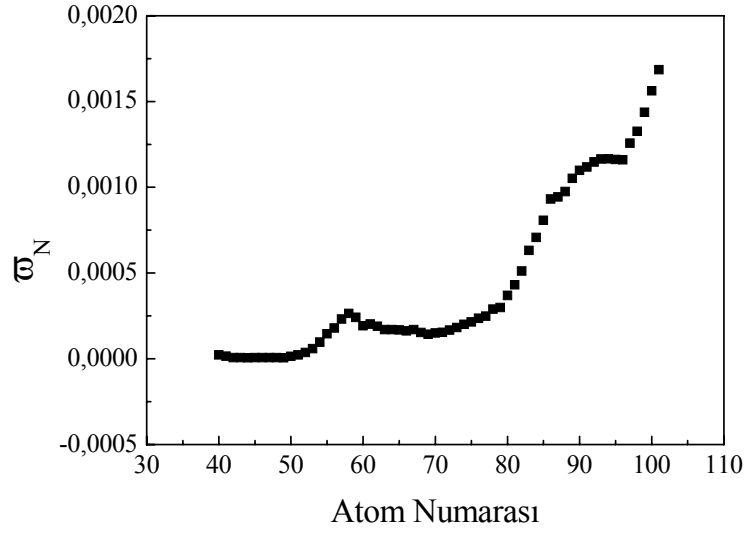
Atom numarası $38 \leq Z \leq 101$ arası tüm elementler için N tabakasına ait ortalama flöresans verim değerleri, Çizelge 3.5 ve Çizelge 3.7'den faydalanılarak Eş. 3.17 kullanılarak hesaplanmıştır. Bu değerler Çizelge 3.8'de verilmiştir ve Şekil 3.13'te gösterilmiştir. Daha önce hesapladığımız N tabakasına ait ortalama flöresans verim değerleri ile karşılaştırılmıştır.

Çizelge 3.8. N tabakasına ait ortalama flöresans verimler

Z	$\varpi_N(\frac{\sigma_N^X}{\sigma_N^I})$	$\varpi_N(\sum_{i=1}^k N_i^x V_i^x)$
38	1,248E-02	1,248E-02
39	6,149E-03	6,149E-03
40	2,221E-05	2,221E-05
41	1,498E-05	1,498E-05
42	7,290E-06	7,290E-06
43	6,693E-06	6,693E-06
44	6,037E-06	6,037E-06
45	6,499E-06	6,499E-06
46	7,022E-06	7,022E-06
47	7,467E-06	7,467E-06
48	6,814E-06	6,814E-06
49	6,247E-06	6,247E-06
50	1,403E-05	1,403E-05
51	2,259E-05	2,259E-05
52	3,655E-05	3,655E-05
53	5,930E-05	5,930E-05
54	9,653E-05	9,653E-05
55	1,455E-04	1,455E-04
56	1,798E-04	1,798E-04
57	2,311E-04	2,311E-04
58	2,640E-04	2,640E-04
59	2,417E-04	2,417E-04
60	1,926E-04	1,926E-04
61	2,028E-04	2,028E-04
62	1,891E-04	1,891E-04

Çizelge 3.8. (Devam) N tabakasına ait toplam X-ışını flöresans verimler

63	1,703E-04	1,703E-04
64	1,704E-04	1,704E-04
65	1,685E-04	1,685E-04
66	1,635E-04	1,635E-04
67	1,693E-04	1,693E-04
68	1,526E-04	1,526E-04
69	1,438E-04	1,438E-04
70	1,505E-04	1,505E-04
71	1,549E-04	1,549E-04
72	1,674E-04	1,674E-04
73	1,825E-04	1,825E-04
74	2,004E-04	2,004E-04
75	2,148E-04	2,148E-04
76	2,355E-04	2,355E-04
77	2,483E-04	2,483E-04
78	2,889E-04	2,889E-04
79	2,996E-04	2,996E-04
80	3,689E-04	3,689E-04
81	4,314E-04	4,314E-04
82	5,113E-04	5,113E-04
83	6,322E-04	6,322E-04
84	7,082E-04	7,082E-04
85	8,080E-04	8,080E-04
86	9,316E-04	9,316E-04
87	9,422E-04	9,422E-04
88	9,718E-04	9,718E-04
89	1,046E-03	1,046E-03
90	1,098E-03	1,098E-03
91	1,115E-03	1,115E-03
92	1,147E-03	1,147E-03
93	1,165E-03	1,165E-03
94	1,168E-03	1,168E-03
95	1,165E-03	1,165E-03
96	1,160E-03	1,160E-03
97	1,261E-03	1,261E-03
98	1,328E-03	1,328E-03
99	1,437E-03	1,437E-03
100	1,562E-03	1,562E-03
101	1,685E-03	1,685E-03



Şekil 3.13 N tabakasına ait ortalama flöresans verim

4. SONUÇ

Bir defada bir boşluk için X-ışını yayınlama ihtimaliyeti olan flöresans verim, 0 ile 1 arasında değer almaktadır. Fotoelektrik olay sonucunda karakteristik X-ışını ile Auger olayının ve CK geçişlerin meydana gelme ihtimaliyeti toplamı 1'dir. Küçük atom numaralı elementlerde Auger elektronu yayınlama ihtimaliyeti yüksek, büyük atom numaralı elementlerde ise karakteristik X-ışını yayınlama ihtimaliyeti yüksektir.

Alttabaka ve ortalama flöresans verimler, flöresans tesir kesitleri ve CK geçişlere ait teorik ve deneysel veriler, K, L ve M tabakaları için çok sayıdaki element aralığında mevcut olmasına rağmen N tabakası için deneysel veriler yok denecek kadar azdır. N tabakası için deneysel araştırma yapmak oldukça zordur. Çünkü N tabakası enerji seviyeleri birbirine enerjik olarak çok yakın ve N tabakası X-ışını spektrumu çok karmaşıktır. Bu yüzden deneysel N tabakasına ait alttabaka flöresans verimler ve CK geçiş ihtimaliyetleri literatürde mevcut değildir. Literatürde, sadece Mc Guire'nın [1] $38 \leq Z \leq 103$ arası birkaç element için N tabakasına ait alttabaka flöresans verim ve CK geçişlerle ilgili bir teorik çalışması mevcuttur. Bu çalışmada $38 \leq Z \leq 103$ arasındaki 25 element için ω_{N1} , ω_{N2} , ω_{N3} değerleri, $50 \leq Z \leq 103$ arası 20 element için ω_{N4} , ω_{N5} , $\omega_{N6,7}$ değerleri mevcuttur.

Bu tez çalışmasında, $38 \leq Z \leq 101$ arası tüm elementler için N tabakasına ait alttabaka flöresans verimler (ϖ_N), CK ve SCK geçişler (S_{ij}) en küçük kareler metodu kullanılarak fit edildi ve N tabakasına ait etkin alttabaka flöresans verimler (v_i) hesaplandı. 6 keV'da N tabakasına ait yedi alttabaka için boşluk geçiş ihtimaliyetleri (N_i) hesaplanarak, N tabakasına ait ortalama flöresans verimler (ϖ_N) türetildi. Ayrıca, toplam N tabakası X-ışını flöresans tesir kesitleri (σ_N^x) de 6 keV'da teorik olarak hesaplandı.

İç tabaka boşlukların yeniden düzenlenmesine neden olan CK ve SCK geçişler, aynı

tabakanın alttabakaları arasında boşlukların yeniden dağılımına sebep olmaktadır. Bu geçişler, L, M, N ve daha üst tabakalarında gerçekleşmektedir. Bu geçişler enerjik olarak müsadeli olduğu zaman, CK ve SCK geçişler, boşlukları 10^{-17} s gibi kısa bir zaman aralığında ilgili tabakanın daha yüksek alttabakalarına kaydırır. Bu geçişlerin bozunma zamanları ışımalı ve Auger geçişleri ile kıyaslandığında çok büyük bir farklılığa sahiptir. Bu yüzden alttabaka flöresans verimler ve ortalama flöresans verimler hesaplanırken bu geçişler dikkate alınmalıdır. Karakteristik X-ışını şiddetleri üzerine boşlukların yeniden düzenlenişinin etkisi araştırılmalıdır. Çünkü bu etki, karakteristik X-ışını şiddetini direk etkilemektedir. X-ışını spektroskopik çalışmalarda nicel analizler için bu etkinin doğru olarak belirlenmesi gerekmektedir.

N tabakasındaki boşluklar, N-NX şeklindeki CK geçişlerle ve N-NN şeklindeki SCK geçişlerle doldurulmaktadır. Böyle geçişlerde düşük enerjili elektron, iyondan fırlatılır. Geçiş hızları da fırlatılan elektronun enerjisine hassastır. Bu tez çalışmasında, ortalama flöresans verim değerleri; $38 \leq Z \leq 50$ arası elementler için çok değişiklik göstermemekte ve bu bölgede baskın geçiş, $N_{2,3}-N_{4,5}$ $N_{4,5}$ SCK geçişleridir. $50 \leq Z \leq 57$ arasında, ortalama flöresans verim değerleri artış göstermekte ve $Z=58$ de I. maksimum seviyesine ulaşmaktadır. $50 \leq Z \leq 57$ arası baskın geçiş, N_2-N_3O Coster-Kronig geçişidir. $Z > 57$ için 4s, 4p ve 4d boşlukları, 4f elektronlarını içeren CK ve SCK geçişlerle doldurulmakta ve 4f deki boşluklar da Auger geçişleri (N-XY; X, Y $\neq$ N) ile doldurulmaktadır. $65 \leq Z \leq 75$ arası 4d-(4f)² SCK geçişleri baskın olduğu için ortalama flöresans değerleri yaklaşık olarak yine I. maksimum seviyesinde kalmakta, $75 \leq Z \leq 94$ arası bölgede % 2 artış göstererek II. maksimum seviyesine çıkmaktadır. $94 \leq Z \leq 103$ arası bölgede ortalama flöresans değerleri ilk değer % 13,5 kadar artış gösterdi. Bu tez çalışmasından elde edilen verilerin deneysel çalışmalarla desteklenmeye ihtiyacı vardır. Bu tez çalışmasında, büyük atom numaralı elementlerde karakteristik X-ışını yayınlama ihtimaliyeti yüksek olduğundan atom numarası büyüdükçe, N tabakasına ait ortalama flöresans verimlerin ve X-ışını flöresans tesir kesitlerin beklenildiği üzere arttığı gözlemlendi. Literatürde N tabakası ortalama flöresans verimlere (ϖ_N) ait teorik ve deneysel çalışmalara rastlanmadığı için karşılaştırma yapılamamıştır.

KAYNAKLAR

1. McGuire, E.J., "Atomic N- shell Coster- Kronig, Auger, and radiative rates and fluorescence yields for $38 \leq Z \leq 103$ ", *Physical Review A*, 9 (5) : 1840- 1851 (1974).
2. Barrea, R.A., Bonzi, E.V., "Rare earth experimental L X- ray fluorescence cross-sections at 13 and 14 keV with synchrotron radiation" , *X-Ray Spectrom.*, 30:3-7 (2001).
3. Puri, S., Metha, D., Chand, B., Singh, N., Trehan, P.N., "L- Shell fluorescence yields and Coster-Kronig transition probabilities for the elements with $25 \leq Z \leq 96$ ", *X-Ray Spectrom.*, 22(5): 358- 361 (1993).
4. Oz, E., Ekinçi, N., Ozdemir, Y., Ertuğrul M., Sahin, Y., Erdoğan, H., "Erbium L- subshell Coster-Kronig and fluorescence yields determination by synchrotron radiation photoionization", *J. Phys. B: At Mol Opt. Phys.*, 34:631–8 (2001).
5. Söğüt, Ö., Büyükkasap, E., Küçükönder, A., Ertuğrul, M., Doğan, O., Erdoğan, H., Şimşek Ö., "Fit Values of M subshell fluorescence yields and Coster-Kronig transitions for elements with $20 \leq Z \leq 90$ ", *X-Ray Spectrom.*, 31(1): 62- 70 (2002).
6. Söğüt, Ö., Ertuğrul, M., Büyükkasap, E., "L-Subshell Fluorescence Yield Ratios, w_1/w_2 , w_1/w_3 and w_2/w_3 , for the Elements $55 \leq Z \leq 92$ ", *X-Ray Spectrom.* , 30: 427- 430 (2001).
7. Söğüt, Ö., Baydaş, E., Büyükkasap, E., "Chemical effect on L Shell fluorescence yields of Hg, Pb and Bi", *J. of Trace and Microprobe Techniques*, 173: 285-291 (1999).
8. Demir, L., Şahin, M., Söğüt, Ö., Şahin, Y., "Measurement of angular dependence of photon-induced differential cross-sections of MX-Rays from Pt, Au and Hg at 59.5 keV", *Radiation Physics and Chemistry*, 59: 355- 359 (2000).
9. Rao, D.V., Cesareo, R., Gigante, G.E., "Measurement of M-shell X-ray production cross-sections for the element 73 Z 83 using 5.96 keV photons", *Radiat Phys. Chem.*, 49:503 (1997).
10. Simşek, O., "Measurement of probabilities of radiative vacancy transfer from the L3 subshell to the M shell and the N shell for Pb, Th and U", *Phys B: At Mol Opt Phys.*, 33: 3773–8 (1999).
11. Krause, M.O., Oliver, J. H., "Natural Widths of Atomic K and L Levels, $K\alpha$ X-Ray Lines and Several KLL Auger Lines", *J. Phys. Chem. Ref. Data*, 8: 329- 338 (1979).

12. Krause, M.O., “ Atomic radiative and radiationless yields for K and L shells”, *J. Phys. Chem. Ref. Data*, 8(2): 307- 327 (1979).
13. Şahin, M., Demir, L., Söğüt, Ö., Ertuğrul, M., İçelli, O., “L subshell fluorescence Cross-sections and L subshell fluorescence yields in elements $68 \leq Z \leq 92$ by 59.5 keV photons”, *J. Physics B: At. Mol. Opt. Phys.*, 33: 93-98 (2000).
14. Baştuğ, A., Söğüt, Ö., Şahin, Y., Ertuğrul, M.,”Measurement of La, and Lb X-Ray fluoresans cross-sections in Er, Ta, W, and Au by 16.896- 59.543 keV ”, *Journal of Radionalytical and Nuclear Chemistry*, 251(2): 323-327 (2002).
15. Kaya, A., Ertuğrul, M., Doğan, O., Söğüt, O., Turgut, U., Şimşek, O., “Measurement of L subshell X-ray fluorescence cross sections at 59,54 keV and L subshell fluorescence yields for some elements in the atomic range $55 \leq Z \leq 81$ ”, *Analytica Chimica Acta*, 441(2): 317- 23 (2001).
16. Ertuğrul, M., Kaya, A., Doğan, O., Turgut, Ü., Şimşek, Ö., Söğüt, Ö., Karagöz, D., “Measurement of L subshell X-Ray production cross-sectoins at energy 31.635 keV and L subshell fluorescence yields for elements $74 \leq Z \leq 92$ ”, *X-Ray Spectrom.* , 31(1): 53- 56 (2002).
17. Xu, J.Q., “ L-subshell fluorescence yields for elements with $73 \leq Z \leq 83$ ”, *Phys. Rev. A.*, 43(9): 4771–9(1991).
18. Söğüt, O., Büyükkasap, E., Küçükönder, A., Ertuğrul, M., Erdoğan, H., “Determination of Coster-Kronig transition probabilities (L1-L2, L1-L3 and L2 L3) for Hg and Bi in the molecules”, *X-Ray Spectrom.* , 31: 71-74 (2002).
19. Söğüt, O., Büyükkasap, E., Ertuğrul, M., Küçükönder, A., “Chemical effect on enhancement of Coster-Kronig transition of L3”, *J. of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer*, 74: 395-400 (2002).
20. Ertuğrul, M., “Measurement of M shell X-ray production cross-sections and fluorescence yields for the elements in the atomic range $70 \leq Z$ not less than or equal to 92 at 5.96 keV”, *Nucl. Instrum. Meth. Phys. Res. B*, 108: 18 (1996).
21. Fritzsche, S., Fricke, B., Sepp, W.D., “Reduced L_1 level width and Coster–Kronig yields by relaxation and continuum interactions in atomic zinc”, *Phys. Rev. A*, 45: 1465- 70 (1992).
22. Allawadhi, K.L., Arora, S.K., Singh, S., Phutela, S.L., “Effect of Coster-Kronig transitions and incident photon energy on the l-subshell X-Ray intensity ratios of 4f transition-elements”, *Radiat Phys. Chem.*, 51(4–6): 347 (1998).
23. Durak, R., Ozdemir, Y., “K- to L- and M-shell radiative vacancy transfer

- probability measurements in some elements from Nd to Pb”, *J. Phys. B: At Mol Opt Phys*, 31: 3575–81 (1998).
24. Braich, J.S., Verma, P., Verma, H.R., “M-shell X-ray production cross-section measurements in Pb and Bi due to the impact of protons and nickel ions”, *J. Phys B: At Mol Opt. Phys.*, 30(10): 2359-73 (1997).
 25. Durak, R., Özdemir, Y., “Photon-induced M-shell X-ray production cross-sections and fluorescence yields in heavy elements at 5.96 keV.”, *Spectrochim Acta Part B*, 56 (4): 455-464 (2001).
 26. McGilp, J.F., Weightman, P., McGuire, E.J., “N_{6,7}O_{4,5}O_{4,5} Auger-Spectra of Thallium, Lead and Bismuth”, *Journal Of Physics C-Solid State Physics*, 10(17): 3445- 3460 (1977).
 27. Aksela, H., Aksela, S., Jen, J. S., and Thomas, T. D., “N_{6,7}O_{4,5}O_{4,5} Auger electron spectrum of atomic mercury”, *Phys. Rev. A*, 15: 985–989 (1977).
 28. Guggenheim, H.J., “Multiplet splitting of the 4s and 5s electrons of the rare earths”, *Phys. Rev. B*, 5: 1037–1039 (1972).
 29. Söğüt, Ö., “Fit values of N subshell fluorescence yields and Coster-Kronig yields for elements with $38 \leq Z \leq 103$ ”, *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer*, 90: 239- 252 (2005).
 30. Tuzluca, F.N., “Bazı elementlerin L tabakasından M ve N tabakasına boşluk geçiş ihtimaliyetlerinin ölçülmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kahramanmaraş, 1-30 (2007).
 31. Apaydın, G., “ $65 \leq Z \leq 92$ Bölgesinde bazı elementlerin K ve L X-ışını flöresans parametrelerin ölçülmesi” , Doktora Tezi, *Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Trabzon, 1-12 (2006).
 32. Dözen, C., “M tabakası X-ışınları üretim tesir kesitlerinin hesaplanması”, Yüksek Lisans Tezi, *Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kahramanmaraş, 1-34 (2006).
 33. Tarakçıoğlu, M.T., “ K tabakasından L tabakasına boşluk geçiş ihtimallerinin ölçülmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kahramanmaraş, 1-29 (2005).
 34. Hubbell, J.H., Trehan, P.N., Singh, N., Chand, B., Metha, D., Garg, M.L., Garg, R.R., Singh, S., Puri, S., “A Review, Bibliography, and Tabulation of K, L, and Higher Atomic shell X-Ray fluorescence yields”, *J. Phys. Chem. Data.*, 23(2): 339-364 (1994).
 35. Öz, E., “Atom numarası $25 \leq Z \leq 101$ olan elementler için L ve M tabakalarına ait

ortalama flöresans verimlerin hesaplanması”, Yüksek Lisans Tezi, **Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Kütahya, 1-26 (1996).

36. Öz, E., Erdoğan, H., Ertuğrul, M., “Calculation of Average M shell Fluorescence Yields For Elements with $29 \leq Z \leq 100$ ”, **X-Ray Spectrom.**, 28: 198- 202, (1999).
37. Öz, E., Erdoğan, H., Ertuğrul, M., “Calculation of average L shell fluorescence yields for elements with $25 \leq Z \leq 101$ ”, **Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry**, 242(1): 219- 224 (1999).
38. Seyrek, E., “Radyoizotopların üretimi ve radyoterapide kullanılması”, **Gazi Üniversitesi Eğitim Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 15-18 (2007).
39. Jenkins, R., “An introduction to X-ray spectrometry”, **Heyden and Son**, New York, 226 (1986).
40. Van Grieken, R.E., Markowichz, A.A., “Handbook of X-ray spectrometry”, **Marcell Decker, Inc.**, New York, 392 (1992).
41. Jenkins, R., Manne, R., Robin, R., Senemaud, C., **X-Ray Spectrom.**, 20: 149-155 (1991).
42. Ergün, N., “Adana- Yüceören, Urfa- Teleilat ve Sivas- Ziyaretsuyu kazılardan ele geçen helenistik döneme ait arkeolojik buluntuların XRF tekniğiyle değerlendirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 1-12 (2006).
43. Zschornack, G., “Handbook of X-Ray Data” , **Springer**, New York, 74-88 (2006).
44. Bambynek, W., Cresamann, B., Fink, R., Freund, H., Mark, H., Swift, C., Price, R., Rao, P., “X-Ray fluorescence yields, Auger, and Coster-Kronig transition probabilities” , **Reviews of Modern Physics**, 44(4): 716- 813 (1972).
45. Scofield, J.H., “Theoretical photoionization Cross-sections from 1 to 1500 keV”, **UCRL**, 51326: 0- 375 (1973).

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : YAVUZ, İlkay
 Uyruğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 28.05.1984 UŞAK
 Medeni hali : Evli
 Telefon : 0 (505) 396 25 68
 e-mail : ilkayvz@gmail.com

Eğitim Derece

Eğitim Birimi

Mezuniyet tarihi

Yüksek lisans	Gazi Üniversitesi /İleri Teknolojiler ABD	2012
Lisans	Hacettepe Üniversitesi/ Fizik Mühendisliği Bölümü	2008
Lise	Orhan Dengiz Anadolu Lisesi	2003

İş Deneyimi Yıl

Yer

Görev

2010-2012	Eldaş Deney ve Kalibrasyon Merkezi	Laboratuar Sorumlusu
-----------	------------------------------------	----------------------

Yabancı Dil

İngilizce