

**ATOM NUMARASI $30 \leq Z \leq 100$ OLAN ELEMENTLER
İÇİN N TABAKASINA AİT FLÖRESANS VERİMLERİN
TEORİK HESAPLANMASI**

Vedat SOLA

**Yüksek Lisans Tezi
Fizik Anabilim Dalı
Atom ve Molekül Fiziği Bilim Dalı
Prof. Dr. Yüksel ÖZDEMİR
2015
Her hakkı saklıdır**

**ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**ATOM NUMARASI $30 \leq Z \leq 100$ OLAN ELEMENTLER İÇİN
N TABAKASINA AİT FLÖRESANS VERİMLERİN TEORİK
HESAPLANMASI**

Vedat SOLA

**FİZİK ANABİLİM DALI
Atom ve Molekül Fiziği Bilim Dalı**

**ERZURUM
2015**

Her hakkı saklıdır



T.C.
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğü



TEZ ONAY FORMU

**ATOM NUMARASI $30 \leq Z \leq 100$ OLAN ELEMENTLER İÇİN N TABAKASINA AİT FLÖRESANS
VERİMLERİN TEORİK HESAPLANMASI**

Prof. Dr. Yüksel ÖZDEMİR danışmanlığında, Vedat SOLA tarafından hazırlanan bu çalışma, 28.05/2015 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Fizik Anabilim Dalı Atom ve Molekül Bilim Dalı'nda Yüksek Lisans tezi olarak **oybirliği / oy çokluğu (3./3.)** ile kabul edilmiştir.

Başkan: Prof. Dr. Neslihan EKİNCİ

İmza :

Üye : Prof. Dr. Yüksel ÖZDEMİR

İmza :

Üye : Yrd. Doç. Dr. Güven TURGUT

İmza :

Yukarıdaki sonuç;

Enstitü Yönetim Kurulu 28.05/2015 tarih ve 21. / 737... nolu kararı ile onaylanmıştır.

Prof. Dr. Ertan YILDIRIM
Enstitü Müdürü

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaklardan yapılan bildiriş, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak olarak kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ATOM NUMARASI $30 \leq Z \leq 100$ OLAN ELEMENTLER İÇİN N TABAKASINA AİT FLÖRESANS VERİMLERİN TEORİK HESAPLANMASI

Vedat SOLA

Atatürk Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Fizik Anabilim Dalı
Atom ve Molekül Fiziği Bilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Yüksel ÖZDEMİR

Bu çalışmada N alttabaka flöresans verimleri (N_1, N_2, N_3, N_4, N_5 ve N_{67}) Coster-Kronig geçiş verimleri ($S_{12}, S_{13}, S_{14}, S_{15}, S_{1,67}, S_{23}, S_{24}, S_{2,67}, S_{34}, S_{35}, S_{3,67}, S_{45}$ ve $S_{4,67}$) , McGuire'nin yapmış olduğu çalışmadan (McGuire 1974) yararlanarak en küçük karaler metodu ile fit edilmiştir. Elde edilen alttabaka flöresans verimleri atom numarasının bir fonksiyonu olarak grafik edilmiştir.

2015, 54 sayfa

Anahtar Kelimeler: N tabakası Flöresans Verim, X Ray, Coster-Kronig Verimleri

ABSTRACT

MS Thesis

THEORETICAL CALCULATION OF FLUORESCENCE YIELDS OF N SHELL FOR ELEMENTS $30 \leq Z \leq 100$

Vedat SOLA

Atatürk University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Physics
Department of Atomic and Molecular Physics

Supervisor: Prof. Dr. Yüksel ÖZDEMİR

The aim of this study is the N subshell Fluorescence Yields (N_1, N_2, N_3, N_4, N_5 ve N_{67}) and Coster- Kronig transition yields ($S_{12}, S_{13}, S_{14}, S_{15}, S_{1,67}, S_{23}, S_{24}, S_{2,67}, S_{34}, S_{35}, S_{3,67}, S_{45}$ and $S_{4,67}$) are calculated by the least squares method benefiting from the studies of McGuire (McGuire 1974). The subshell Fluorescence Yields values obtained in this study are plotted as a function of the atomic number.

2015, 54 pages

Keywords: N Shell Fluorescence Yield, X-Ray, Coster-Kronig

TEŞEKKÜR

Tez çalışmamın her aşamasında bana yardımcı olup yol gösteren, her türlü desteğini esirgemeyen değerli danışman hocam Sayın Prof. Dr. Yüksel ÖZDEMİR'e; tezimin hazırlanmasında büyük katkılarından dolayı Sayın Prof. Dr. Mehmet ERTUĞRUL'a, teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca Jüri üyeleri değerli hocam Sayın Prof. Dr. Neslihan EKİNCİ ve Sayın Yrd. Doç. Dr. Güven TURGUT'a, Lisans ve Yüksek Lisans eğitimim boyunca bana her konuda destek olan Fizik Bölümü öğretim üyelerine, bütün arkadaşlarıma ve aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Vedat SOLA

Mayıs, 2015

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ	ix
1. GİRİŞ.....	1
2. KURAMSAL TEMELLER.....	3
2.1. Elektromanyetik Radyasyonun Madde ile Etkileşimi	3
2.2. Elektromanyetik Radyasyonun Soğrulması	4
2.1.1. Fotoelektrik olay.....	4
2.2.2. Compton olayı	6
2.2.3. Çift oluşumu	7
2.2.4. Diğer etkileşmeler	9
2.3. X-Işınları	11
2.3.1. X-ışınlarının özellikleri	11
2.3.2. X-ışınlarının üretilmesi.....	11
2.3.2.a. Sürekli X-ışınları	12
2.3.2.b. Karakteristik X-ışınları.....	14
2.4. Geçişlerin Gösterimi.....	17
2.5. Kuantum Sayıları ve Seçim Kuralları	20
2.6. Soğurma Katsayıları ve Soğurma Kısılları	23
2.7. X-Işınları Spektrumları.....	27
2.8. Auger Olayı	30
2.9. Flöresans Verim ve Coster-Kronig Geçişler	31
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	36
3.1. N alttabakası Flöresans Verimleri	36
3.2. N alttabaka Coster-Kronig Verimleri	40
3.3. N Alttabaka Flöresans Verimin Grafikleri	47

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA.....	50
5. SONUÇ	52
KAYNAKLAR	54
ÖZGEÇMİŞ	58

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

$\text{\AA}$	Angstrom ($1 \text{ \AA} = 10^{-10}$ metre)
c	Işık hızı ($2,9979.108 \text{ m.s}^{-1}$)
E	Elektromanyetik radyasyonun enerjisi
e	Elektronun yükü
E_b	Elektronun bağlanma enerjisi
eV	elektron Volt
f_i	Analit ışını yayınlanmasına sebep olan yörüngesel elektron geçiş olasılığı
f_{ij}	Coster-Kronig geçiş ihtimaliyeti
h	Planck sabiti ($h = 6,62 \times 10^{-34} \text{ Js}$)
I	X- ışını demeti şiddeti
J_{K_i}	K-L atlama faktörü
J	Joule
K_e	Elektronun kinetik enerjisi
M	Mega (10^6)
m_o	Durgun elektron kütlesi
N	Boşluk geçiş ihtimaliyeti
S_{ij}	Süper Coster-Kronig geçiş ihtimaliyeti
Z	Atom Numarası
Z	Atom numarası
λ	Dalgaboyu
μ	Lineer soğurma katsayısı
ν	Etkin alttabaka flöresans verim
$\bar{\omega}$	Ortalama flöresans verim
ρ	Madde yoğunluğu
σ	Tesir Kesiti
ω	Flöresans verim
ν	Elektromanyetik radyasyonun frekansı
λ	Elektromanyetik radyasyonun dalga boyu

Kısaltmalar

CK	Coster-Kronig
SCK	Süper Coster-Kronig

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. X-ışınlarının madde ile etkileşimi ve oluşabilecek prosesler	3
Şekil 2.2. Fotoelektrik olay	4
Şekil 2.3. Compton olayı	6
Şekil 2.4. Çift oluşum	8
Şekil 2.5. Gelen fotonun enerjisine ve soğurucu maddenin atom numarasına bağlı olarak meydana gelebilecek etkileşimlerin gösterimi.	9
Şekil 2.6. Sürekli X-ışını oluşum mekanizması.....	12
Şekil 2.7. Sürekli X-ışınları	13
Şekil 2.8. Karakteristik X-ışınlarının oluşumu	15
Şekil 2.9. Karakteristik X-ışınları	15
Şekil 2.10. Orbitaller arasındaki elektron geçişi ve oluşan X-ışınlarının isimlendirilmesi.....	18
Şekil 2.11. Bir atomda ilgili elektron geçişler sonucunda yayımlanan karakteristik K, L ve M tabakaları X-ışınları	20
Şekil 2.12. Elektromanyetik dalganın soğrulması	24
Şekil 2.13. Soğurma kıyıları	27
Şekil 2.14. X-ışınları spektrumları.....	28
Şekil 2.15. Auger olayı, Coster-Kronig Geçişler ve Süper Coster-Kronig Geçişler	33
Şekil 3.1. ω_1 flöresans verim grafiği	47
Şekil 3.2. ω_2 flöresans verim grafiği	47
Şekil 3.3. ω_3 flöresans verim grafiği	48
Şekil 3.4. ω_4 flöresans verim grafiği	48
Şekil 3.5. ω_5 flöresans verim grafiği	49
Şekil 3.6. $\omega_{6,7}$ flöresans verim grafiği	49

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. X-ışını diyagram çizgilerinin Siegbahn ve IUPAC gösterimleri.....	19
Çizelge 2.2. Kuantum sayıları ve özellikleri.....	21
Çizelge 3.1. N alttabaka flöresans verimleri.....	37
Çizelge 3.2. N alttabaka Coster-Kronig verimleri (S12 S13 S14 S15 S1,67)	40
Çizelge 3.3. N alttabaka Coster-Kronig verimleri (S1,67, S23, S24, S25 ,S2,67)	42
Çizelge 3.4. N alttabaka Coster-Kronig verimleri (S34, S35, S35, S3,67, S45 ,S4,67) .	44

1. GİRİŞ

Bir atomun iç tabakasında herhangi bir yolla bir boşluk meydana getirildiği zaman, atom ışımalı veya ışımasız geçişler ile bozunabilir. Bu bozunmalarda primer iç tabaka boşluğu daha üst tabaka veya alttabakalara geçebilir. Aynı zamanda bu bozunmalar sonucu yeni boşluklar meydana gelebilir.

Atom içerisindeki elektronlar, düzenlenmesi ve tabakalara bölünüşü bilgileri atomların vermiş oldukları spektrumların incelenmesi ile elde edilmektedir. İç yörünge elektronları, farklı yollarla sökülerek iyonize olmuş atomlarda, radyoaktif bozunmalarda, elektronların yeniden düzenlenişi ışımalı ve ışımasız (nonradiative) geçişlerle olmaktadır.

Atomun bozunma işlemlerinden biride Coster-Kronig geçişler olup bu geçişler atomdaki en hızlı geçişlerdir. Bu geçişler bir atomdaki alttabakalar arasındaki elektronik geçişlerden meydana gelirler ve f_{ij}^x ile gösterilir. Işımasız geçişler ve Coster-Kronig (CK) geçişlerin keşfedilmesinden bu yana ışımalı ve ışımasız geçişler ve bunlar arasındaki bağlantılar birçok teorik ve deneysel çalışmanın konusu olmuştur.

Değişik fotoiyonizasyon enerjilerinde farklı elementlerin K, L, M, tabakaları veya alttabakalarına ait X-ışını flöresans tesir kesitleri ve flöresans verimlerinin ölçülmesi, atom, molekül ve radyasyon fiziğindeki araştırmalarda, tahribatsız testlerde, X-ışını flöresans analizlerinde, tıbbi araştırmalarda özellikle kanser tedavisinde oldukça önem kazanmaktadır (Hubbell *et al* 1994). Bilimsel araştırmalarda, özellikle nükleer araştırmalarda ve diğer nükleer tesislerde radyasyon araştırmalarında, radyoaktif maddelerin saklanması, mobil iletişimin kullanımı ve üretilminde kullanılmaktadır.

Ayrıca bu ölçümler fotoiyonizasyon tesir kesitleri, sıçrama oranları (jump ratio) ve X-ışını emisyon oranlarının direkt kontrolünün sağlanmasında ve temel iç tabakalardaki

iyonizasyon kavramının tanımlanmasında daha güvenilir teorik modeller geliştirilmesinde önem arzeder.

Alttabakalarda ki floresans verimler, X-ışını flöresans, tesir kesitlerinin incelenmesinde, XRF tekniğiyle kristallerin yüzeylerin kimyasal analizi ve sağlık hizmetleri, madde içerisinde radyoaktif tekniklerde, atom fiziği uygulamalarında, endüstriyel ısınlama ve astrofizikteki uygulamalarda önem arzeder.

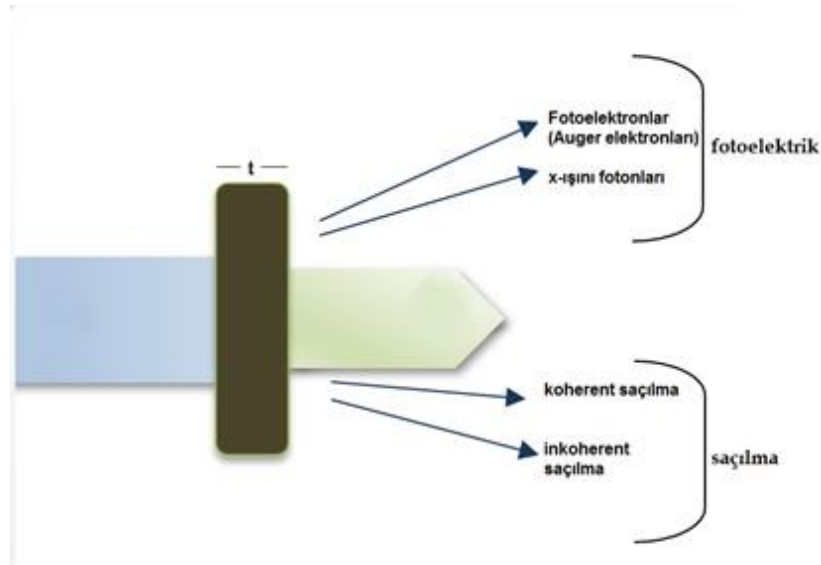
Literatürde N tabakası ve üzeri tabakalara ait flöresans verimler değerleri için teorik ve deneysel verilere pek rastlanmamaktadır. Bu tez çalışması, N tabakası flöresans verimlerinin McGuire'nin (McGuire 1974) tablosundan fit edilerek flöresans verimlerin atom numarasının bir fonksiyonu olarak polinom edilmiştir.

2. KURAMSAL TEMELLER

2.1. Elektromanyetik Radyasyonun Madde ile Etkileşimi

I_0 şiddetindeki bir X-ışını şuaası, bir ortamdan geçtiğinde şuada bulunan fotonlar ortamda meydana gelen çeşitli kompleks etkileşmeler sonucunda X-ışınının başlangıçtaki I_0 şiddetinde bir azalma meydana gelir. Bu azalma ortamın fiziksel ve kimyasal özelliğine bağlı olarak değişir. X-ışınlarının madde ile etkileşmesiyle, fotoelektrik etki olarak soğrulabileceği gibi saçılmaya uğrayabilmeleri de mümkündür.

Gelen şuanın dalgaboyuna ve etkileştiği ortama bağlı olarak; soğrulma sonucu Auger olayı (veya fotoelektron yayınlanması) ya da soğurucu ortamdaki atomların karakteristik X-ışını yayınlaması (ikincil flöresans) meydana gelebilir, X-ışınlarının saçılması ise koherent ve inkoherent saçılma olarak meydana gelir. Böylece X-ışınları genel olarak soğrulma veya saçılma olmak üzere iki şekilde madde ile etkileşmektedir. Bu temel etkileşimler neticesinde I_0 şiddetli şuanın enerjisi azalarak I şiddetinde olacaktır. Etkileşme sonucu oluşabilecek prosesler aşağıda gösterilmiştir (Şekil 2.1).



Şekil 2.1. X-ışınlarının madde ile etkileşimi ve oluşabilecek prosesler

2.2. Elektromanyetik Radyasyonun Soğrulması

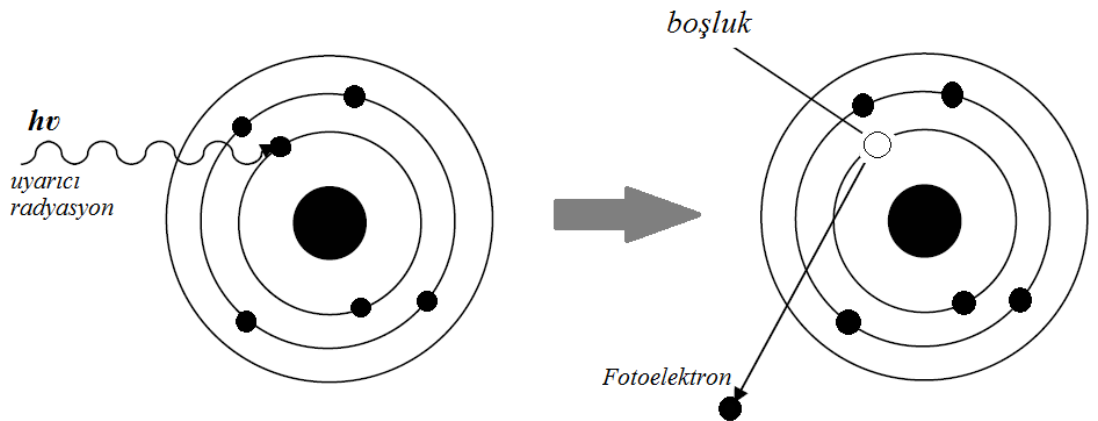
Gelen fotonun enerjisi ($E=hv$)'ne bağlı olarak elektromanyetik radyasyon madde ile etkileştiğinde çeşitli olaylar meydana gelmektedir. Etkilenmeden geçiş, kırınım, yansıma, kırılma gibi optik olayların yanı sıra; koherent saçılma, inkoherent saçılma, fotoelektrik soğurma, çift oluşum gibi olaylarda meydana gelebilir. Bu olaylardan en baskınları çift oluşum ve fotoelektrik olaylarıdır. Gelen fotonun enerjisi bu proseslerin meydana gelme ihtimaliyetinde rol oynamaktadır. Şayet foton enerjisi;

- 0,001 MeV ile 0,5 MeV arasında ise fotoelektrik olay
- 1,02 MeV ve daha büyük enerjilerde ise çift oluşum olayı

meydana gelme ihtimaliyeti daha yüksek olmaktadır.

2.1.1. Fotoelektrik olay

$h\nu$ enerjisine sahip bir fotonun, atoma bağlı bir elektronla etkileşerek enerjisinin tamamının soğrulması sonucu bağlı elektronun serbest hale geçmesi olayına fotoelektrik olay denir. Bu olay sonucu meydana gelen elektronlara ise fotoelektronlar adı verilir (Şekil 2.2).



Şekil 2.2. Fotoelektrik olay

Fotoelektrik olayın gerçekleşmesinin ardından serbest kalan fotoelektronların kinetik enerjisi;

$$K_e = h\nu - E_b \quad (2.1)$$

ile verilir. K_e : elektronun kinetik enerjisi, $h\nu$: soğrulan fotonun enerjisi, E_b : elektronun ilgili atoma bağlanma enerjisini ifade etmektedir.

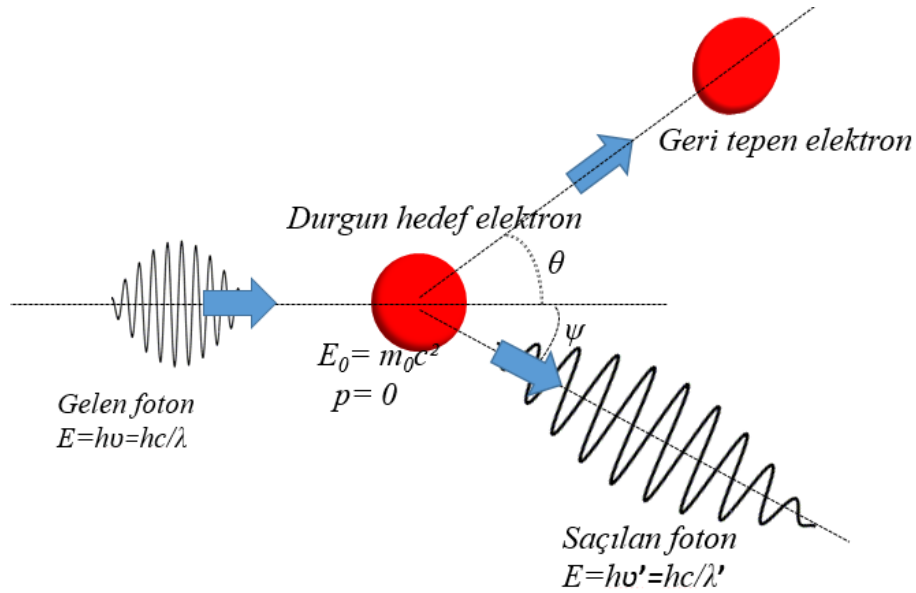
Serbest halde bulunan bir elektron için momentum ve enerjinin her ikisinin de aynı anda korunumunun olamayacağından, serbest haldeki bir elektronun foton soğurması mümkün değildir. Yani serberst elektronun fotoelektrik olay meydana getirmesi imkansızdır. Ancak durum atoma bağlı elektronlar için farklıdır. Fotoelektrik olay sırasında atom geri tepir ve böylece momentumun korunumu sağlanmış olur. Atomun kütlesi elektronun kütlesine nazaran çok büyük olduğundan, atomun geri tepme enerjisi çok küçüktür. Bu nedenle geri tepme kinetik enerjisi ihmal edilmiştir (Şahin 1999).

Fotoelektrik olayın meydana gelmesi etkileşecek fotonun enerjisine bağlıdır. Gelen fotonun enerjisi, bağlanma enerjisine ne kadar çok yakın olursa fotoelektrik olayın gerçekleşme ihtimaliyeti okadar artar, bağlanma enerjisinden çok farklı bir enerjide ise fotoelektrik olayın gerçekleşme ihtimali azalır. Dolayısıyla düşük atom numaralı (Z) elementlerin elektronlarına ait bağlanma enerjileri düşük olacağından, fotoelektrik etki bahsedilen fotonlar için güçsüz kalır.

Primer fotonun enerjisinin K, L ve M tabakasındaki elektronlara ait bağlanma enerjilerine eşit olması durumunda fotoelektrik etkileşme ihtimaliyetinde keskin bir süreksizlik oluşur. Enerji bakımından mümkün olsada fotoelektrik etkileşmenin %80'ni K tabakasinda, %20'si ise büyük çoğunluğu L olmak üzere gerçekleşir. Sonuç olarak, düşük enerjili fotonların büyük atom numaralı elementler ile etkileşmesinde fotoelektrik olayın gerçekleşme ihtimali artar.

2.2.2. Compton olayı

Zayıf bağlı bir elektron veya serbest haldeki bir elektron ile fotonun çarpışmasıdır. Çarpışma öncesi fotonun dalgaboyu (λ), çarpışma sonrası saçılan fotonun dalgaboyundan farklı olduğundan çarpışma inkohherent saçılmadır. Foton sahip olduğu enerjinin bir kısmını elektrona aktaracağından, gelen fotonun enerjisi ($h\nu$), saçılan fotonun enerjisinden daha büyüktür ($h\nu > h\nu'$). Çarpışma sonrası elektron gelen fotonun düzlemi ile θ , saçılan foton ise ψ açısı yapacak şekilde saçılırlar (Şekil 2.3).



Şekil 2.3. Compton olayı

Çarpışma sonrası elektron kinetik enerji kazanarak hızlanır, bu hız ışık hızından daha küçük, ancak kıyaslanabilir mertebede olduğundan yapılacak hesaplamalarda rölativistik kinematiğin kullanılması gerekir.

Momentum ve enerjinin korunumu ilkesine göre saçılan fotonun enerjisi;

$$h\nu' = \frac{h\nu}{1 + \frac{h\nu}{m_0c^2}(1 - \cos\psi)} \quad (2.2)$$

(2.2) denklemi Compton denklemi olarak bilinir. Denklemde m_0 durgun elektron kütlesini, m_0c^2 ise durgun elektronun enerjisini ifade etmektedir. Geri tepen elektronun kinetik enerjisi T , gelen foton ile saçılan fotonların enerjileri farkına eşit olup, $\alpha=E/m_0c^2$ olarak yazılırsa;

$$T = \frac{\alpha E (1 - \cos \psi)}{1 + \alpha (1 - \cos \psi)} \quad (2.3)$$

ile ifade edilir. $\psi=180^\circ$ için kafa kafaya çarpışma olup, saçılan fotonun enerjisi minimum olacaktır. Compton olayında ψ ve θ açıları arasındaki bağıntı ise;

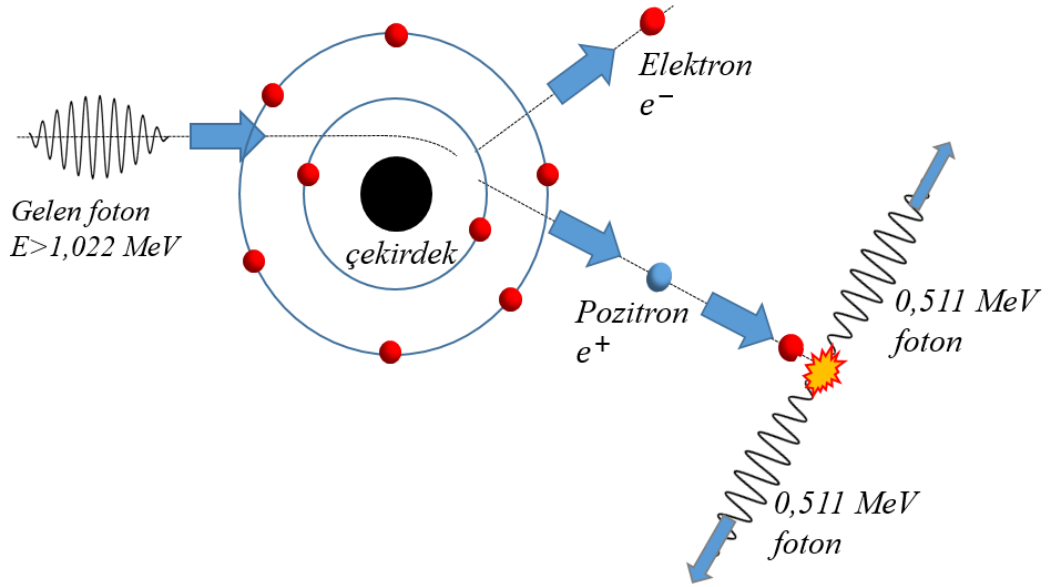
$$\text{Cot}(\theta) = (1 + \alpha) \tan \frac{\psi}{2} \quad (2.4)$$

olarak yazılır (Adams and Dams 1970).

Compton olayında saçılan ve gelen fotonların dalga boyları arasındaki fark, elektromanyetik dalga ile eşlik eden E enerjili her türlü maddesel parçacığın, uygun şartlarda tanecik özelliği gösterebileceğini ortaya koymaktadır. Özetle Compton olayı fotonun parçacık özelliğini ispatlamaktadır.

2.2.3. Çift oluşumu

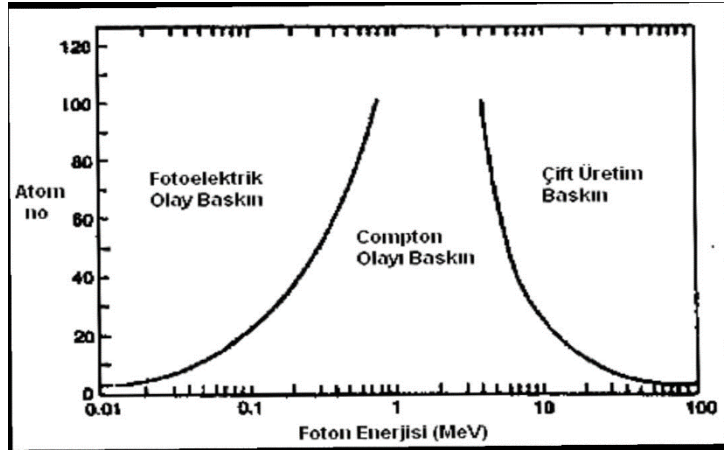
Yeterli enerjiye sahip foton çekirdeğin çekim alanına girdiğinde, bir pozitron ve bir elektrona dönüşebilir. Meydana gelen bu parçacıklar kütlece ve yükçe eşit, ancak yükleri zıt işaretlidir. Elektronun (aynı zamanda pozitronun) durgun kütle enerjisi; $m_0c^2=0,511$ MeV olduğundan, her iki parçacığında oluşabilmesi için, gelen fotonun enerjisinin en az 1,022 MeV olması gerekir. Enerjisi 1,022 MeV veya daha fazla enerjili fotonların bir pozitron ve bir elektrona dönüşmesi olayına çift oluşum denir (Şekil 2.4).



Şekil 2.4. Çift oluşum

Çift oluşum olayının gerçekleşmesinin hemen ardından, oluşan elektron pozitron çifti yolları boyunca materyal içinde enerjilerini iyonizasyon yoluyla kaybeder. Şekil 2.4’de pozitron enerjisinin büyük bir kısmını iyonizasyon ile kaybettikten sonra şayet bir elektron ile karşılaşırsa hidrojene benzer kararsız bir atom oluşturur. Oluşan bu atoma pozitronyum adı verilir. Pozitronyum atomu hidrojen atomuna kıyasla daha kararsız ve 10^{-10} s yarı ömre sahip olup, yok olma (annihilation) işlemi gerçekleşir. Yok olma işleminin ardından, momentum ve enerjinin korunumu gereği bir birine zıt ve her biri 0,511 MeV enerjiye sahip iki foton (annihilation radiation) meydana gelir (Das and Ferbel 2003).

Fotoelektrik, compton olayı ve çift oluşum olaylarının gerçekleşmesinde gelen fotonun enerjisi ve aynı zamanda etkileştiği ortamın dolayısıyla etkileştiği maddenin atom numarası rol oynamaktadır. Daha düşük enerjilerde fotoelektrik daha yüksek enerjilerde ise (1,022 MeV) çift oluşum olayı, ara değerlerde ise compton olayının gerçekleşme ihtimaliyeti daha baskın olacaktır (Şekil 2.5).



Şekil 2.5. Gelen fotonun enerjisine ve soğurucu maddenin atom numarasına bağlı olarak meydana gelebilecek etkileşimlerin gösterimi (Krane 2001).

2.2.4. Diğer etkileşimler

Gama ışınlarının madde ile etkileşmesi neticesinde oluşabilecek diğer koherent ve inkoherent saçılmalar gelen ışının enerjisine bağlı olarak meydana gelir. Bu saçılmalar özetle şu şekildedir.

- **Rayleigh Saçılması**

Atoma bağlı bir elektron üzerine gelen fotonun enerjisi elektronu koparamayacak seviyede olduğunda gerçekleşen saçılmadır. Ağır atom numaralı elementlerde ve düşük enerjiye sahip foton etkileşmelerinde meydana gelir. Bu saçılmada foton enerjisini kaybetmez, sadece fotonun doğrultusunda değişim meydana gelmektedir. Dolayısıyla atomun uyarılması ya da iyonize olması söz konusu değildir. Bu tür etkileşimlerin etkisi çoğu zaman ihmal edilir (Özdemir 1998). Bu saçılmada gelen fotonun enerjisi 0.1 ile 0.5 MeV arasında olmalıdır (Van Grieken and Markowicz 1992).

- **Delbruck Saçılması**

Elastik nükleer potansiyel saçılması olarakta ifade edilen bu saçılma, fotonun çekirdeğin meydana getirdiği Coulomb alanından saçılması olarak ifade edilir. Çekirdeğin

Coulomb alanına giren foton, pozitron elektron çiftine dönüşür ve atomun tamamen geri tepmesi ile pozitron elektron çifti birleşerek yok olup, aynı faz ve enerji değerine sahip bir foton oluşur.

- **Nükleer Rezonans Saçılma**

Çekirdekdeki enerji seviyeleri arasındaki fark kadar enerjiye sahip olan bir fotonun çekirdek tarafından soğrularak çekirdeğin uyarılmasının ardından, uyarılmış olan çekirdek bu enerji seviyesi kadar enerjide foton yayınlamaya (deeksitasyon) temel seviyeye döner.

- **Thomson Saçılması**

Tamamen çekirdek ve foton arasında meydana gelen saçılma şeklidir. Çekirdek klasik olarak bir tek yük sistemi gibi düşünülür ve gelen dalga tarafından salındırılır. Çekirdeğin kütlesi çok büyük olduğundan bu etki çok küçük olur. Gelen fotonun dalgaboyunun nükleer yarıçaptan çok büyük olması durumunda etkileşimde maksimum etki gözlenir.

- **Nükleer Saçılma**

Bu saçılma inkoherent saçılma olarak da alandırılabilir. Fotonun atomun çekirdeği ile etkileşmesi sonucu meydana gelmektedir. Bu saçılmanın inkoherent saçılmadaki hissesi oldukça azdır (Şahin 1999).

- **Raman Saçılması**

Fotonun moleküller tarafından soğrulduğu saçılma türüdür. Fotonu soğuran molekül, soğurmadan önce uyarılmamış halde ise, gelen fotonun enerjisinden daha az enerjide bir

foton yayımlanır. Fakat molekül uyarılmış dönme ve titreşim enerji seviyesinde ise bu durumda daha fazla enerjide bir foton yayınlar (Şahin 1999).

2.3. X-Işınları

Yüksek enerjiye sahip elektronların ani yavaşlatılması veya atomdaki iç tabakada bulunan elektronların geçişleri sırasında meydana gelen yaklaşık 10^{-8} m ile 10^{-13} m dalga boyuna sahip elektromanyetik dalgalaradır.

2.3.1. X-ışınlarının özellikleri

- Sürekli spektrum oluştururlar
- Karakteristik çizgi spektrumu oluştururlar
- Karakteristik bant spektrumu oluştururlar
- Karakteristik soğurma spektrumu meydana getirirler
- Işık hızında yayılırlar (boşlukta)
- Doğru çizgiler boyunca yayılırlar
- Madde transfer etmeksizin yayılırlar
- Gözle görülmezler ve duylarla hissedilemezler
- Yüksüz olduklarından elektrik ve manyetik alandan etkilenmezler
- Fotoelektrik, Compton olayı, gaz iyonizasyonu ve sintilasyon tanecik özellikleri
- Hız, koherent saçılma ve polarizasyon dalga özellikleridir.

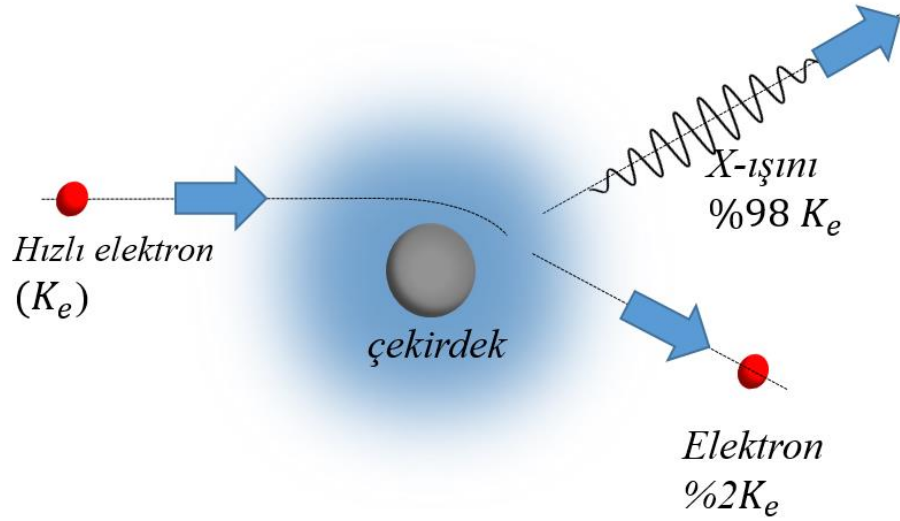
(Bertin 1975)

2.3.2. X-ışınlarının üretilmesi

X-ışınları nitelik bakımından karakteristik (çizgi) veya sürekli X-ışınları olmak üzere üretilmeleri iki başlık altında incelenebilir.

2.3.2.a. Sürekli X-ışınları

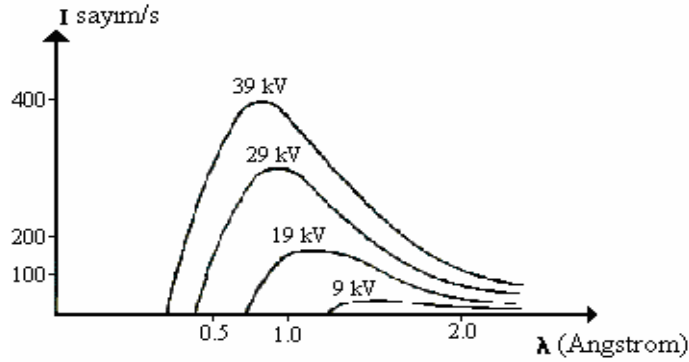
Sürekli X-ışınları; elektron proton ve alfa gibi yüklü parçacıkların, sahip oldukları yüksek enerjilerini ağır çekirdeğin Coulomb alanından geçerken, enerjilerinin büyük bir kısmını kaybetmeleri ya da diğer bir ifade ile hedef içerisinde nükleer saçılmalar sonucu kademeli olarak yavaşlatılmalarıyla yapılan ışımalardır. Şematik olarak aşağıda gösterilmiştir (Şekil 2.6)



Şekil 2.6. Sürekli X-ışını oluşum mekanizması

Sürekli X-ışınlarının enerjisi üç farklı faktöre bağlıdır. Bu faktörler; hedef çekirdeğe gelen yüksek hızdaki elektronun enerjisi, hedef malzemenin yoğunluğu, elektronun hareket doğrultusu ve frenleyici çekirdek arasındaki uzaklık çekim kuvveti, artan uzaklıkla azalır (Aygün ve Zengin 1993).

Bu ışınların sahip olduğu enerji aralığı, hemen hemen sıfır ile yüksek hızdaki elektronun enerjisi aralığında bir değerde olduğundan, bu ışınlara sürekli X-ışınları denilmektedir.



Şekil 2.7. Sürekli X-ışınları (Gündüz 1995)

Sürekli X-ışınlarına ait spektrumlar geniş bir frekans aralığını kapsayacak şekildedir. Bu nedenle sürekli X-ışınlarına beyaz X-ışınları da denilmektedir.

Klasik elektromanyetik teoriye göre; ivmeli olarak hareket eden yükler elektromanyetik ışıma yapmaktadırlar. Yüksek hıza sahip elektronlar bir hedef tarafından durdurulduklarında bu elektronların enerjilerinin ancak %1'i sürekli X-ışını oluşumuna neden olurlar. Hedefe çarpan elektronlardan çok az bir kısmının enerjileri tamamen soğrulur. Soğrulan bu enerji karakteristik X-ışını oluşmasına neden olur. Bu elektronlar maksimum frekanslı (veya minimum dalga boyu) ışımaya neden olurlar. Enerjisini kademeli olarak kayberek X-ışını oluşturan elektronlar ise spektrumun diğer dalga boylarının oluşumuna sebep olacaklardır (Aygün ve Zengin 1993).

Kuantum terosine göre ise, X-ışını tüpü kullanılarak elektronlar tarafından oluşturulan sürekli X-ışınlarına ait spektrum, uyarıcı elektronların sahip oldukları maksimum enerjilerine karşılık gelen $\lambda_{\min}$ kısa dalga boyu sınırı ile karakterize edilir

$$\lambda_{\min} = \frac{hc}{eV_0} \quad (2.5)$$

ile ifade edilir. Burada; h : Planck sabiti, c : ışık hızı, e : elektronun yükü V_0 : tüpe uygulanan potansiyeldir.

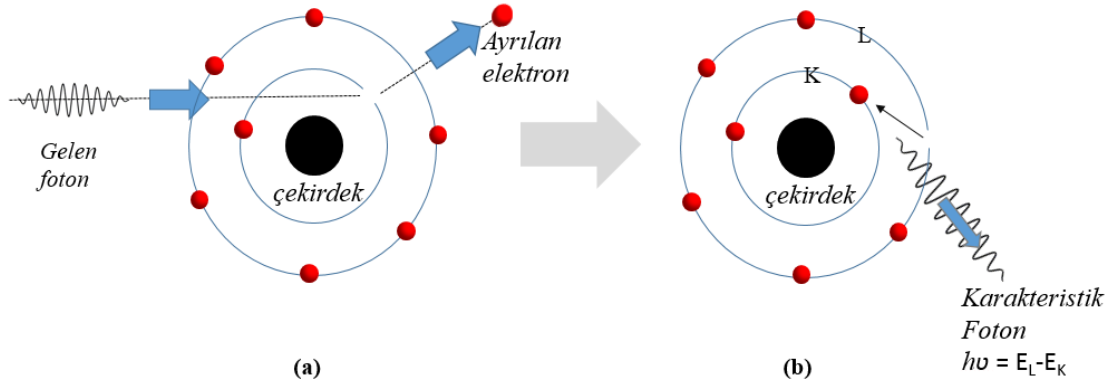
X ışını tüplerinde elektronlar ile üretilmiş sürekli X-ışınlarına ait spektrumlar;

- Kısa dalga boyu limiti ($\lambda_{\min}$) altında dalga boyu özlenmez
- Maksimum dalga boyu ($\lambda_{\max}$) yaklaşık olarak $\lambda_{\min}/2$ dir.
- Toplam diddet, tüp voltajı (V_0) ve hedef maddenin atom numarası ile orantılıdır (Aygün ve Zengin 1993).

2.3.2.b. Karakteristik X-ışınları

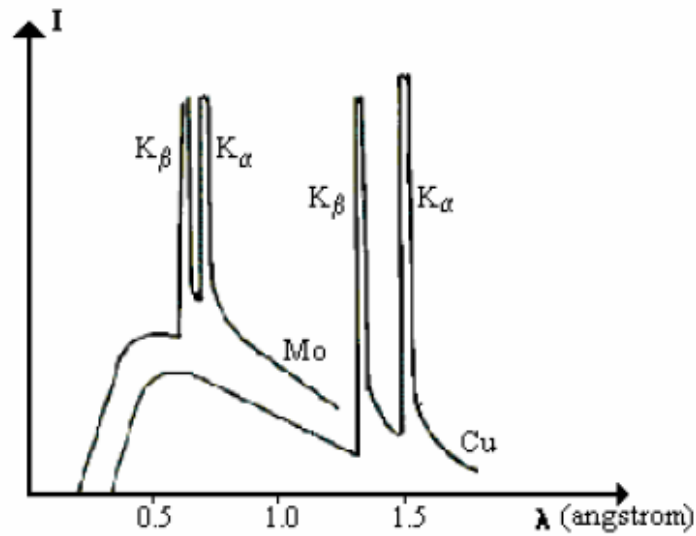
Atomdaki elektronlar sahip oldukları enerjiye bağlı olarak, çekirdek etrafında orbital adı verilen enerji seviyelerinde dolanırlar. Çekirdek etrafında dolanan elektronların hızlarından dolayı kinetik, elektriksel çekim kuvveti nedeni ile de potansiyel enerjisi vardır. Elektronların sahip oldukları bu toplam enerji çekirdekten uzaklaştıkça (daha dış enerji seviyelerine geçtikçe) artar. Elektronlar sahip oldukları bu enerjilerle çekirdek etrafında yüksek hızlarla dönmelerine rağmen konumlarını korurlar.

Şayet elektronlar bir enerji ile uyarılırsalar, temel enerji seviyelerini muhafaza edemezler ve uyarılmanın şekline ve gerekli şartlara bağlı olarak, tabakalar arası elektron geçişleri olur. Atomdaki herhangi bir tabakadan sökülen elektronun yerine, belli kurallar (bkz. seçim kuralları) ve atomun enerjisini minimum yapacak şekilde, daha üst enerji seviyesinden bir elektron geçer. Bu geçiş sırasında ilgili enerji seviyeleri arasındaki enerji farkı kadar bir foton yayınlanır. Yayınlanan bu foton atoma has özellikler taşıdığından karakteristik X-ışını olarak adlandırılır (Şekil 2.8 a ve b).



Şekil 2.8. Karakteristik X-ışınlarının oluşumu

Karakteristik X-ışınlarının enerjisi bombardıman elektronların enerjisi ile tayin edilemez, çünkü karakteristik X-ışınının enerjisi bir orbital elektronunun bir yörüngedeki boşluğu doldurken verdiği enerjidir.



Şekil 2.9. Karakteristik X-ışınları (Gündüz 1995)

Yayınlanan tüm X-ışını fotonlarına ait enerjiler, geçişin meydana geldiği enerji seviyeleri arasındaki enerji farkı ile orantılı olduğundan, verilen bir elementten elde edilen X-ışınları o elementi karakterize eder. Karakteristik X-ışınlarının dalgaboyu (λ) ile uyarılan elementin atom numarası (Z) arasında;

$$\frac{1}{\lambda} = K(Z - \sigma) \quad (2.6)$$

ilişkisi vardır. Bu ilişkiye **Moseley Kanunu** denir. 2.6 eşitliğin de K:her spektral seri için farklı değer alan bir sabit, σ : atomdaki diğer elektronlar tarafından meydana gelen itme etkisi için perdeleme sabitidir (Jenkins 1986).

Bir foton tarafından atomun K seviyesi uyarılırsa, yeterli enerjinin olması halinde K seviyesinde bir boşluk meydana gelir. Meydana gelen bu boşluk geçişi müsadeli üst tabakalar L, M, N, ... tarafından doldurulabilir. K seviyesinde meydana gelen boşluk L tabakasında bulunan bir elektron tarafından doldurumuşsa, meydana gelen karakteristik X-ışını K_{α} , diğer üst tabakalar tarafından doldurulduğunda ise K_{β} karakteristik x -ışını fotonları meydana gelir. Bu fotonların saçılması sonunda K tabakasına ait karakteristik çiziler elde edilir. L ve M tabakalarına ait karakteristik çizgiler de benzer şekilde elde edilir (Şahin 1989).

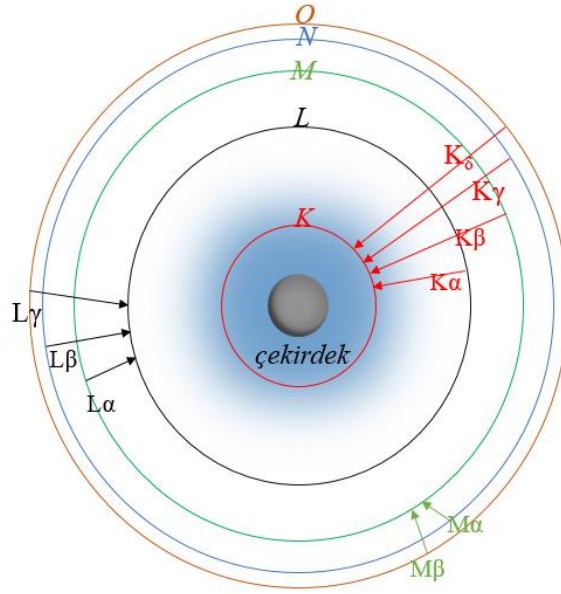
K tayfı, K tabakasında meydana gelen boşluklara elektronların geçişini takiben oluşur. K tayfı basit bir yapıya sahiptir ve genellikle çok yüksek atom numaralı elementler için oluşan ekstra iki çift çizgiden meydana gelir. L tayfı da benzer şekilde L tabakasında meydana gelene boşlukları takiben oluşur. L tabakası üç alttabakaya K ise tekli tabakaya sahip olduğundan seçim kuralları ile mümkün olan L geçişlerinin sayısı K geçişlerinin sayısından çok daha fazladır. Geçişlerin fazla olmasından dolayı L tayfı K tayfından oldukça karmaşıktır. Yüksek atom numaralı elementlerde, 20 ile 30 arasında diyagram çizgilerini gözlemek mümkündür. K serilerindeki gibi, önemli sayıda yasak geçişler ve karakteristik çizgiler gözlenebilir. Fakat birincil foton etkisinden sadece çift iyonlaşma ile oluşan çizgiler ve baslıca foto-iyonlaşmadan oluşan L serisi çizgileri K serisine benzemez (Siegbahn 1967).

Beş alttabakaya sahip M tayfı, K tayfı hatta üç alttabakaya saip L tayfına göre daha karmaşık ve daha kararsızdır. Öteyandan diğer tabakalara göre daha çok geçiş içeren yüksek numaralı tabakalardır. Hatta yayınlama spektrumunda öz-soğurmaya neden olduğu önemli değişiklikler bulunur. Analitik X-ışını spektrometlerinin çoğunun

ölçülebilen dalgaboyu aralığı hemen hemen 20 Å kadar uzatılabildiğinden, dolayısı ile M tayfına çok az rastlanır ve sadece 3 Å'dan büyük vakumlu ortamlarda görülebilir. Buna rağmen atom numarası $Z > 57$ olan elementlere yaklaşıldığında, bu elementlere ait güçlü M çizgilerine rastlanır. M çizgilerinin büyük çoğunluğu, M emisyon spektrumları geçiş durumlarına göre adlandırılmıştır. Bir elementin L spekturumu ile başka bir elemente ait M spekturumu arasında bir takım benzerlikler gözlenmektedir. Her iki tayf yüksek enerji kıyısındaki yüksek enerjilere yayılan oldukça güçlü bir β ve güçlü bir α ile temsil edilir (Jenkins 1986).

2.4. Geçişlerin Gösterimi

Bir atomdaki K, L, M, ... iç tabaka elektronları, herhangi daha üst enerji seviyesine uyarılırsa veya herhangi bir olayla (elektron, proton, α -parçacığı, yeterli enerjiye sahip X-ışını veya γ -ışını) iç tabakada elektron boşluğu meydana getirilip, daha üst enerji seviyesinden bu boşluğa elektron geçerse, enerji farkı X-ışını olarak yayımlanır. Bir atomun K kabuğunda meydana getirilen boşluk L kabuğunda bulunan bir elektron tarafından doldurulursa, elektron geçişi sonucunda yayımlanan fotonun frekansı, karakteristik spektrumun K_α çizisine karşılık gelir. K kabuğundaki boşluk M kabuğundaki elektron tarafından doldurulursa K_β çizgisi, N kabuğundaki elektron tarafından doldurulursa karakteristik spektrumun K_γ çizgisine karşılık gelen foton yayımlanır. Şayet uyarmanın enerjisi K kabuğundan elektron sökecek kadar büyük değilse, L, M, N, ... kabuklarından birinden bir elektron sökebilir. Bu durumda K kabuğuna benzer şekilde L kabuğuna M, N, ... kabuklarındaki elektronlarla doldurulması esnasında, L_α , L_β , L_γ ışınları, M için M_α , M_β , M_γ ... ve N kabuğu için, N_α , N_β , N_γ , ... çizgileri, kısaca L, M, N serileri ortaya çıkar. Şekil 2.10'da orbitaller arası elektron geçiş ve geçişlerin isimlendirilmesi şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.10. Orbitaller arasındaki elektron geçişi ve oluşan X-ışınlarının isimlendirilmesi

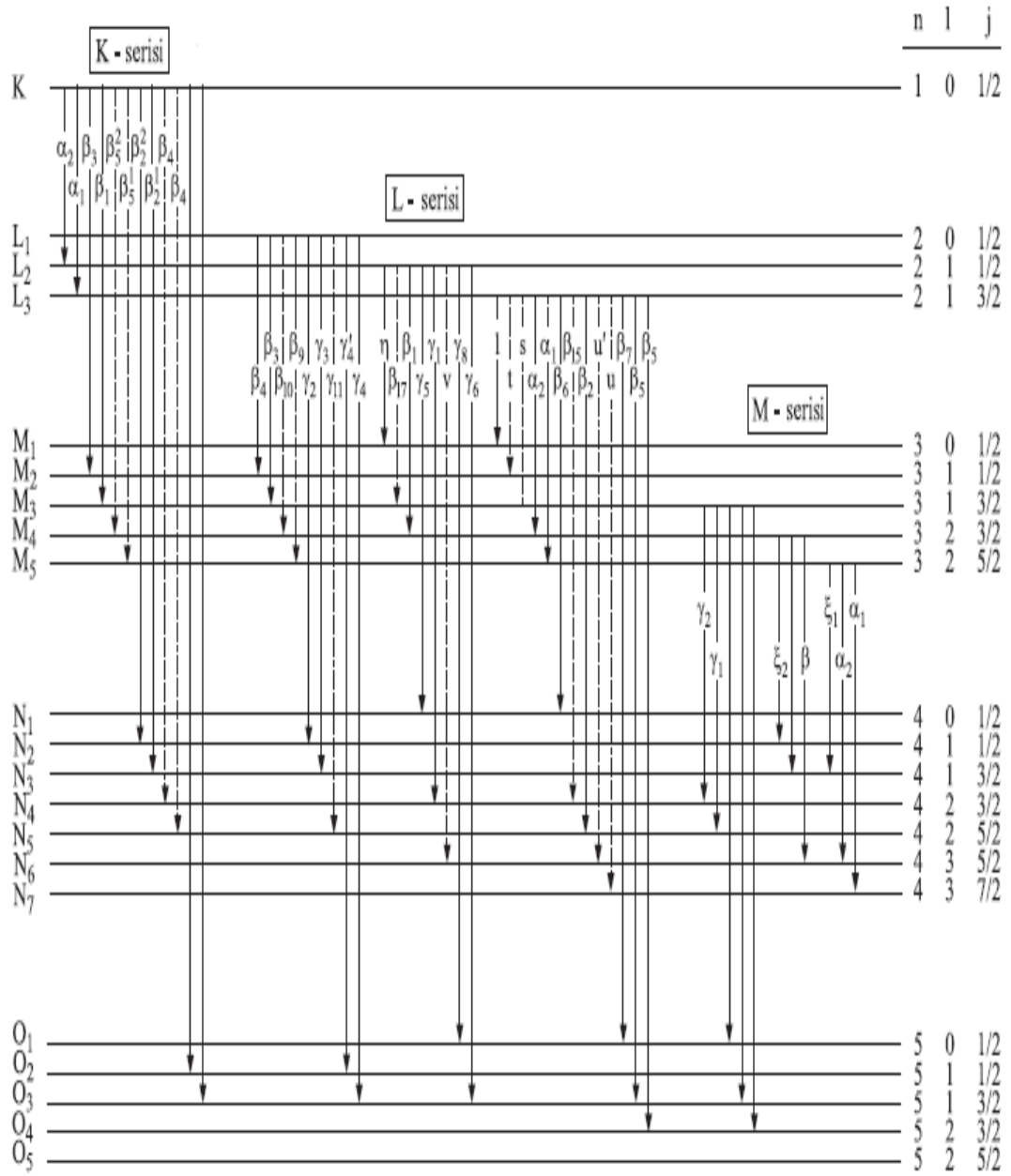
Atomun herhangi bir tabakasından veya alt tabakalarındaki bir boşluk, üst tabakalardan bir elektron tarafından doldurulduğu zaman yayınlanan X-ışınlarının Siegbahn ve IUPAC (International Union of Pure and Applied Chemistry) gösterimleri Çizelge 2.1’de gösterilmektedir.

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

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
* $K\alpha_3$	$K-L_1$	$L\beta_1$	L_2-M_4	$L\gamma_3$	L_1-N_3	$M\beta$	M_4-N_6
$K\beta_1$	$K-M_3$	$L\beta_2$	L_3-N_5	$L\gamma_4$	L_1-O_3	$M\gamma$	M_3-N_5
$K\beta_2'$	$K-N_3$	$L\beta_3$	L_1-M_3	$L\gamma_4'$	L_1-O_2	$M\zeta_1^k$	M_5-N_3
$K\beta_2''$	$K-N_2$	$L\beta_4$	L_1-M_2	* $L\gamma_{2,3}'$	$L_1-N_{4,5}$	$M\zeta_2^k$	M_4-N_2
$K\beta_3$	$K-M_2$	$L\beta_5$	$L_3-O_{4,5}$	* $L\gamma_{11}$	L_1-N_5	Mm	M_1-N_2
* $K\beta_4'$	$K-N_5$	$L\beta_6$	L_3-N_1	$L\gamma_5$	L_2-N_1		
* $K\beta_4''$	$K-N_4$	$L\beta_7$	L_3-O_1	$L\gamma_6$	L_2-O_4		
* $K\beta_{4x}$	$K-N_4$	$L\beta_7'$	$L_3-N_{6,7}$	$L\gamma_8$	L_2-O_1		
* $K\beta_5'$	$K-M_5$	* $L\beta_9$	L_1-M_5	$L\gamma_8'$	L_2-N_6		
* $K\beta_5''$	$K-M_4$	* $L\beta_{10}$	L_1-M_4	$L\eta$	L_2-M_1		
		$L\beta_{15}$	L_3-N_4	$L\ell$	L_3-M_1		
		* $L\beta_{17}$	L_2-M_3	* Ls	L_3-M_3		
				* Lt	L_2-M_2		
				* Lu	$L_3-N_{5,6}$		
				* Lv	$L_2-N_{6,7}$		

*Gözlenen yasaklı çizgiler.

Atomun uyarılması halinde ilgili elektron geçişleri sonucunda K ve L, M tabakalarından yayımlanan karakteristik X-ışınları Şekil 2.11’de verilmiştir.



Şekil 2.11. Bir atomda ilgili elektron geçişler sonucunda yayımlanan karakteristik K, L ve M tabakaları X-ışınları

2.5. Kuantum Sayıları ve Seçim Kuralları

Basitçe, bir atom elektronlar tarafından kuşatılmış, çekirdek ve elektronlar tarafından meydana gelmiştir. Her bir elektron kendine özgü kuantum sayıları olarak ifade edilen

parametrelerle tanımlanmış belirli enerji durumlarında bulunabilir. Kuantum sayıları ve özellikleri Çizelge 2.2’de verilmiştir.

Çizelge 2.2. Kuantum sayıları ve özellikleri

Sembol	İsim	Önemi	Müsadeli değerler
n	Baş kuantum sayısı	Esas itibariyle bağlanma enerjisini ve tabakaları gösterir	1, 2, 3, ... ∞
l	Yörünge açısal momentum kuantum sayısı	Yörüne açısal momentumun ve yörüngelerin büyüklüğünü belirler (uzay kuantumlanmasını verir).	0,1,2,...,(n-1)
m_l	Yörünge manyetik kuantum sayısı	L açısal momentumun manyetik alan üzerindeki izdüşümünü belirler. Bir manyetik alanda yörünge'nin yerleşimini (pozisyonunu) belirler.	-l, ..., 0, ... +l
s	Spin kuantum sayısı	Spin açısal momentumun varlığını gösterir	1/2
m_s	Spin manyetik kuantum sayısı	Spin yönünün saat yönünde veya saat yönünün tersine olduğunu belirler	+1/2 , -1/2
j	Dahili prosesyon veya toplam açısal momentum kuantum sayısı	l ve s 'nin mümkün kombinezonlarından ibarettir. Spin ve yörüne açısal momentumların toplamının büyüklüğünü belirler.	$l \pm 1/2$ ($j=0$ ve $-1/2$ hariç)

Pauli prensibine göre bir atomda iki elektron aynı kuantum sayıları takımına sahip olamaz. Dolayısıyla atomdan bir elektron koparılmasının ardından meydana gelen boşluk rastgele doldurulamaz. Bu geçişler ancak belirli kurallara göre olmaktadır. Bu kurallara **Seçim Kuralları** denir. Geçişin seçim kurallarına uyması halinde bu geçişlere “normal geçiş” veya “müsaadeli” geçişler, seçim kurallarına uymayan geçişlere ise

“anormal geçiş” veya “yasak” geçiş denilmektedir. Normal geçişler ile oluşan çizgilere “diyagram” çizgileri, yasak geçişler ile oluşan çizgilere ise “nondiyagram” çizgileri denilmektedir. Yasak geçişler hiç geçiş olmayacağı anlamına gelmez. Ancak bunlar normal geçişlere nazaran ihmal edilecek ve hatta birçok spektrometrik çalışmada ölülemeyecek kadar azdır.

a) Elektrik dipol seçim kuralları (E1)

1. $\Delta n \geq 1$ ($\Delta n \neq 0$),
2. $\Delta l = \pm 1$,
3. $\Delta j = 0$ veya ± 1 ,
4. Parite değişir.

Bunların dışındaki geçişler yasak geçişlerdir. Ancak dışık şiddette de olsa $\Delta n=0$ şartında olan geçişler (Işımalı ve ışımasız Coster-Kronig geçişleri) mevcuttur. Öte yandan seçim kurallarına pariteyi de ilave etmek gerekmektedir. Parite dalga fonksiyonunun orjine göre simetri özelliğini belirler ve spin gibi atom ve molekülü tanımlayan bir özelliktir. $\Psi_{(x,y,z)}$ dalga fonksiyonu;

- $\Psi_{(x, y, z)} = \Psi_{(-x, -y, -z)}$ şartını sağlaması halinde *ift pariteli*
- $\Psi_{(x, y, z)} = -\Psi_{(-x, -y, -z)}$ şartını sağlaması halinde *tek pariteli*

olarak tarif edilir. Elektrik dipol geçişleri için, $\pi_{(E,L)} = (-1)^l$ kuralı uygulanır.

b) Elektrik Kuadropol Seçim Kuralları (E2)

1. $\Delta n \neq 0$,
2. $\Delta l = 0$ veya ± 2 ,
3. $\Delta j = 0, \pm 1$ veya ± 2 ,
4. Parite değişmez.

c) Elektrik Kuadropol Seçim Kuralları (M1)

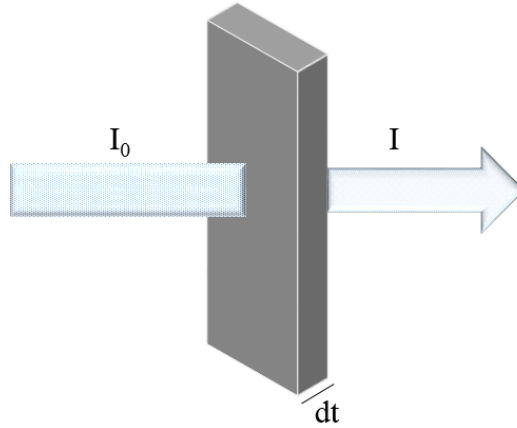
1. $\Delta n \neq 0$,
2. $\Delta l = 0$ veya ± 2 ,
3. $\Delta j = 0, \pm 1$ veya ± 2 ,
4. Parite değişmez.

2.6. Soğurma Katsayıları ve Soğurma Kısılları

Alfa ve beta parçacıklarından farklı olarak gama ışınları, bir tek elementer olayda taşıdıkları enerjiye ve içinden geçtikleri maddenin özelliklerine bağlı olarak sahip oldukları enerjinin büyük bir kısmını ya da çoğu zaman tamamını kaybederler. İçinden geçmekte olduğu maddenin hangi atomu tarafından bu enerjinin soğrulacağı tamamen ihtimale bağlı bir özelliktir. Bu nedenle gama ışınlarının madde tarafından soğrulması esnasında radyoaktif bozunma kanunlarına benzer şekilde bir kanun geçerli olur (Bertin 1975). Soğurucu ortam üzerine gelen demetin şiddeti, maddeyi geçtikten sonra azalacaktır. Bu azalma $-dI_0 = I - I_0 < 0$ şeklinde ifade edilebilir. Burada dI_0 kendi başına pozitif bir nicelik olup, şiddetteki azalmadan dolayı önüne negatif işaret konulmaktadır. Şekil 2.12'den görüldüğü gibi azalma gelen şiddet ve kalınlık ile orantılı olacaktır. Burada orantı katsayısına μ denirse;

$$dI_0 = \mu I_0 dt \quad (2.7)$$

yazılabilir.



Şekil 2.12. Elektromanyetik dalganın soğrulması

$$\int_{I_0}^I \frac{dI_0}{I_0} = - \int_0^t \mu dt \quad (2.8)$$

Bu integralin çözümü;

$$I = I_0 e^{-\mu t} \quad (2.9)$$

bulunur. (2.9) denklemi “Lambert Kanunu” , “Beer Kanunu” veya “Beer-Lambert Kanunu” olarak bilinir ve bu ifadeden yazılacak

$$\text{Geçen Şiddet/Gelen Şiddet} = \frac{I}{I_0} = e^{-\mu t}$$

İfadesi azalmama (geçme) ihtimalini verir.

- **Lineer Azaltma Katsayısı (μ)**

Birim kalınlık başına soğrulmayı verir ve;

$$\mu = \frac{\ln(\frac{I}{I_0})}{t} \quad \text{cm}^{-1} \quad (2.10)$$

ile ifade edilir (Bertin 1975).

- **Kütle Soğurma Katsayısı (μ_m)**

Kütle soğurma katsayısı birim kütle başına soğurulmayı ifade eder. Lineer soğurma katsayısının soğurucu maddenin yoğunluğuna oranı, kütle soğurma katsayısını verir ve;

$$\mu_m = \frac{\mu}{\rho} \quad \text{cm}^2/\text{gr} \quad (2.11)$$

ile ifade edilir. Burada ρ (gr/cm³) maddenin yoğunluğudur (Bertin 1975).

- **Molar Soğurma Katsayısı (μ_{mol})**

Birim alanda mol başına düşen azaltmadır.

$$\mu_{mol} = \mu_m \cdot A \quad \text{cm}^2/\text{mol} \quad (2.12)$$

ile ifade edilir ve A (gr/mol) atomik ağırlıktır (Bertin 1975).

- **Atomik Soğurma Katsayısı (μ_a)**

Kütle soğurma katsayısı (μ_m) ile bir tek atomun kütlesinin çarpımı atom başına soğurmayı ifade eder.

$$\mu_a = \mu_m \cdot \frac{A}{N_0} = \mu/n \quad \text{cm}^2/\text{atom} \quad (2.13)$$

ile verilir ve burada n: birim hacimdeki atom sayısı, N_0 ise ($6,02 \cdot 10^{23}$) Avagadro sayısıdır (Bertin 1975).

Bu soğurma katsayıları arasında;

$$\mu = \mu_m \cdot \rho = \mu_a \cdot \rho (N_0 / A) = \mu_{mol} \cdot \rho / A \quad (2.14)$$

bağıntısı yazılabilir. Bu soğurma katsayıları arasında en çok kütle soğurma katsayısı kullanılmaktadır ve kütle soğurma katsayısı;

$$\mu_m = \frac{\mu}{\rho} = \frac{Z}{\rho} + \frac{\Gamma}{\rho} \quad (2.15)$$

ile ifade edilir. (2.15) denkleminde Z/ρ fotoelektrik kütle soğurma katsayısı, Γ/ρ ise

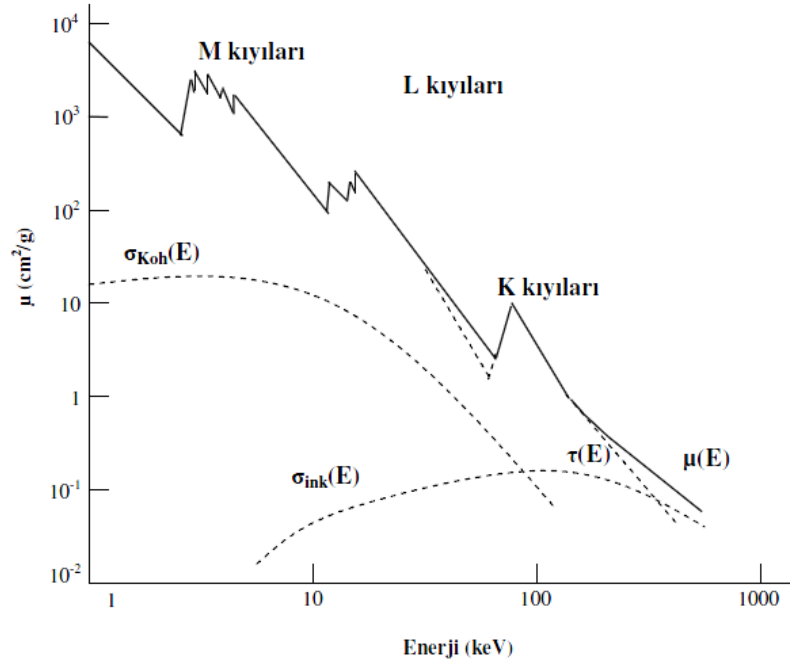
saçılma kütle soğurma katsayısıdır. Soğurucu maddenin kimyasal bir bileşik veya karışım olması durumunda, bileşik içerisindeki elementlerin ağırlık kesirleri ve kütle soğurma katsayıları yardımı ile soğurucu maddenin kütle soğurma katsayısı yaklaşık olarak;

$$\mu = \sum_{i=1}^n w_i \mu_i \quad (2.16)$$

ile hesaplanabilir. w_i : i. elementin ağırlık kesrini, μ_i : i. elementin soğurma katsayısını, n ise karışımdaki veya kimyasal bileşikteki element sayısını ifade etmektedir (Van Griken and Markazovicz 1993).

Gelen ışın demetinin enerjisi, elektronun bağlanma enerjisine ne kadar çok yakın olursa bu durumda fotoelektrik etkileşme ihtimaliyeti de o derece artar. Bu durumda bir atomun verilen bir enerji seviyesinden bir elektronu sökmek için gerekli olan minimum foton enerjisi, bu atomun ait soğurma kıyısı olarak adlandırılır.

Tek bir tabakadan meydana gelen K için bir, üç alt tabakadan oluşan L tabakası için üç, benzer şekilde M tabakası için beş ve N tabakası için yedi soğurma kıyısı mevcuttur (Şekil 2.13).

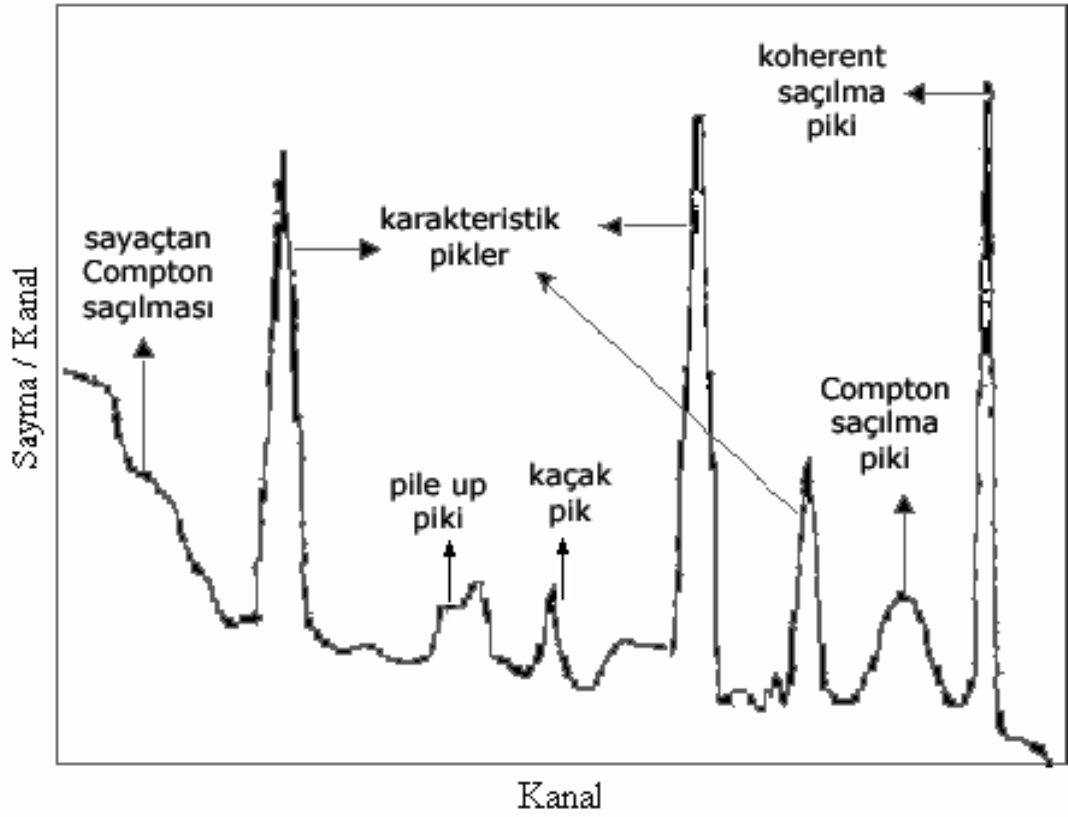


Şekil 2.13. Soğurma kıyıları

Her element uyarma potansiyeli sayısınca soğurma kıyısına sahiptir. Her bir element için soğurma kıyısı dalga boyu, çekirdeğe yaklaştıkça azalır. Verilen bir seviye için bu dalga boyu artan Z ile azalır.

2.7. X-Işınları Spektrumları

X-ışını spektrometresinden elde edilen spektrumlar piklerden oluşmaktadır. Bu spektrum incelenen numuneye ait elementlerden gelen karaktersistik pikler haricinde farklı pikler de içermektedir. Şekil 2.14'de X-ışını spektrumları gösterilmektedir.



Şekil 2.14. X-ışınları spektrumları (Söğüt 2000)

Spektrumdaki pikler;

- Karakteristik X-ışını pikleri,
- Koherent saçılma pikleri,
- İnkoherent saçılma kaynaklı Compton pikleri,
- Kaçak pikler,
- Üst üste binme pikleridir.

(Landis *et al.* 1972)

Karakteristik X-ışını pikleri: İncelenen numunenin elementlerinden gelen K_{α} , K_{β} , L_{α} , L_{β} , M_{γ} , ... v.b. piklerdir. Bu pikler aynı zamanda elementin içeriği hakkında bilgiler verip, onların tespiti için kullanılır (Küçükönder 1988; Söğüt 2000).

Karakteristik tepeler; ölü tabakalardan kaynaklanan dedektör maddesinin K karakteristikleri, kolimatör karakteristikleri, referans olarak karakteristik tepeler (optional), numune muhtevasının karakteristik tepeleri ve satellite tepeleri olabilir.

Koherent saçılma pikleri: Kaynaktan numuneye gelen birincil gama ışınlarının, numune içerisinde atomlardan, enerjilerini kaybetmeden saçılmaları sonucu dedektörde sayılmaları sonucu meydana gelen piklerdir (Küçükönder 1988; Söğüt 2000).

Compton Pikleri: Kaynaktan numuneye gelen birincil gama ışınlarının, numune içerisinde inkoherent saçılmaya uğramalarıyla enerjilerinin bir kısmını kaybettikten sonra dedektörde sayılmaları sonucu oluşur. Birincil gama ışınlarının enerjisinin artmasıyla compton ve koherent pikleri arasındaki enerji farkıda artar (Küçükönder 1988; Söğüt 2000). Bu tepeler arasındaki enerji farkı numunenin ortalama atom numarasına bağlıdır. Atom numarasının küçük olması durumunda iki tepe arasındaki enerji farkı, büyük olması durumundakine kıyasla büyüktür. Aynı zamanda saçılma açısına da bağlıdır. Saçılma açısı arttıkça iki tepe arasındaki enerji farkıda büyür.

Kaçak Pikler: İncelenen numuneden salınan karakteristik X-ışını fotonları dedektöre ulaştıklarında, dedektör atomlarının birinden elektron sökerek elektron çifti oluşturur. Bu sırada, numuneden sayılan karakteristik X-ışınları, dedektöre ulaşmayıp bir etkileşme yapmadığı zaman dedektördeki fotonlar gerçek enerjilerinden daha az bir enerji ile sayılırlar. Bundan dolayı düşük enerji bölgesinde pikler oluşur. Oluşan bu piklere kaçak pikler denir (Küçükönder 1988; Söğüt 2000).

Üst üste binme (pile-up) pikleri: Bunlar coincidence kayıplarıdır. İki foton sayacın ayırt etme zamanından daha kısa bir zaman aralığında sayaç üzerine geldiğinde, sayaç bu iki fotonu tek bir fotonmuş gibi görür ve onu iki foton enerjisi toplamından daha küçük enerjili bir kanala yerleştirir. Bu olayın yüksek sayma şiddetinde meydana gelme ihtimali daha fazladır.

2.8. Auger Olayı

İç yörüngelerden iyonlaşan bir atomda meydana gelen bir boşluğun üst yörüngelerden elektron geçişi ile doldurulmaktadır. Bu geçiş sırasında ortaya çıkan enerji, X-ışını fotono şeklinde yayınlanabilmektedir. Bunun dışında ortaya çıkan enerji bir elektron yayınlanmasıyla da serbest bırakılabilir. Bu son olay “ışınmasız geçiş”, “iç dönüşüm” veya “Auger” olayı olarak bilinmektedir. Yayınlanan bu elektrona ise iç dönüşüm veya Auger elektronu denilmektedir. X-ışını fotonu gibi, Auger elektronu enerjisi de yayınlayıcı elementin bir karakteristiğidir. Bu özellikten istifadeyle Auger spektroskopisi adıyla yeni bir çalışma alanı geliştirilmiştir.

K’daki boşluğun L’den doldurulması ile bir Auger olayı meydana gelebilir. Bu olay iki şekilde izah edilmektedir.

- 1- Ya atomun L’den K’ya geçişindeki enerjiyi bir L veya M elektronu yayınlaması ile serberst bırakıldığı kabul edilmekte,
- 2- Ya da L’den K’ya elektron geçişinde normal olarak bir K_{α} fotonu yayınladığı kabul edilmektedir. Ancak bu foton atomu terk etmeden bir L veya M elektronu fırlatmasına sebep olacak şekilde aynı atom tarafından soğurulmaktadır. Bu olay fotoelektrik soğurma olarak düşünülebilir.

Bu her iki olay da atomu iki kere iyonlaşmış durumda bırakır. Işınmasız geçişler sadece Auger tipi olmayıp başka şekilde de gerçekleşmektedir, mesela orijinal boşluk ve iç dönüşüm $3L$, $5M$ veya $7N$ vs. alt kabuğunda meydana gelebilir. Bunlar “Coster-Kronig Geçişleri” olarak bilinir. Auger olayı, elektronların daha gevşek bağlı olmasından ve karakteristik fotonların kendilerince daha kolay soğurulmasından dolayı küçük atom numaralı elementlerde daha yaygın görülür. Aynı sebeplerden dolayı bu olay M serisi için L serisinden daha baskındır. Atomdan yayınlanan bir K_{α} fotonunun enerjisi, azalan atom numarası ile L tabakasının soğurma kıyısına yaklaşır. Dolayısı ile soğurulma şansı artar. Auger olayı flöresans verim ve satellite çizgilerinin temelini oluşturur (Şahin ve Demir 2013).

2.9. 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.

İyonlaşmış atomun elektronlarının yeniden düzenlenmesi esnasında, Auger ve Coster-Kronig geçişler gibi olaylar meydana gelebilir. Bu olaylar ışımasız geçişler olup, Coster-Kronig geçişler aynı tabakanın alt geçişlerinde meydana gelir. Atomdaki $\Delta n=0$ olan geçişler yasak geçişlerdir. $\Delta n=0$ da meydana gelen alt tabakalar arası geçişlere yada boşluk transferlerine Coster-Kronig geçişler denir (Söğüt 2000).

K tabakasına ait flöresans verim;

$$\omega_k = \frac{I_k}{n_k} \quad (2.17)$$

şeklinde ifade edilir. Burada ω_k : K tabakasına ait flöresans verimi, I_K : yayınlanan toplam K X-ışınları sayısı, n_K : K tabakasında meydana getirilen boşlukların sayısıdır.

K tabakasından daha yüksekteki tabakalarda birden fazla alt tabaka olduğundan ve dolayısıyla ortalama flöresans verimi bu tabakaların iyonize edilişlerine göre değişeceğinden ancak belli boşluk dağılımları için ortalama flöresans verim tarif edilebilir. Ayrıca alt tabakalardaki boşluk dağılımı, aynı baş kuantum sayısına sahip alt tabakalar arasındaki ışımasız Coster-Kronig geçişlerinden (Coster *et al.* 1935) dolayı farklılık göstermektedir. Bu iki sebepten dolayı yüksek atomik seviyelerdeki flöresans verimi karmaşık bir hal almaktadır (Söğüt 2000).

CK geçiş ihtimaliyetleri gösterimi alt ve üst olmak üzere iki indis taşımaktadır. Alt indis geçişin gerçekleştiği alt tabakaları, üst indis ise ana tabakayı ifade etmektedir. Örneğin

f_{ij}^x , herhangi bir yolla X tabakasının X_i alt tabakasında meydana getirilen bir boşluğun, daha yuksekteki X_j alt tabakasına geçme ihtimaliyetidir.

CK geçişleri ışımalı $f_{ij}^x(R)$ ve ışımasız $f_{ij}^x(A)$ olmak üzere iki çeşittir ve

$$f_{ij}^x(R) \ll f_{ij}^x(A) \quad (2.18)$$

şeklinde yazılabilir. X tabakasının i ve j alttabakalarında CK geçişleri için

$$f_{ij}^x = f_{ij}^x(R) + f_{ij}^x(A) \quad (2.19)$$

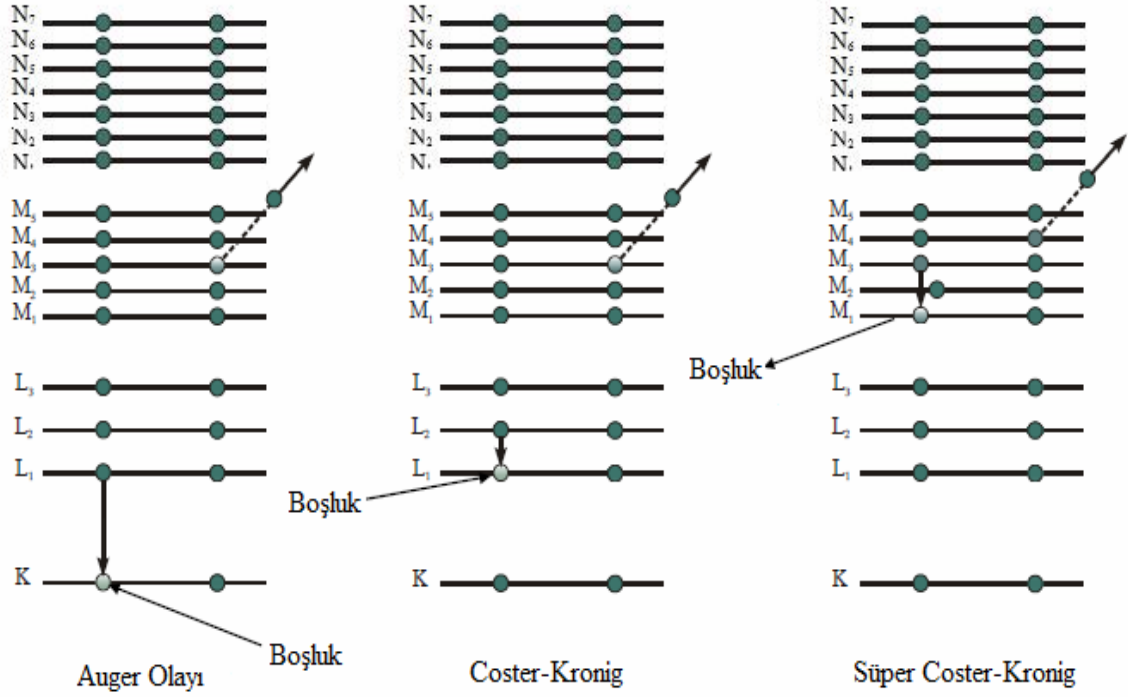
ışımalı $f_{ij}^x(R)$, ışımasız $f_{ij}^x(A)$ 'nın yanında ihmal edilirse,

$$f_{ij}^x = \frac{\Gamma_A(L_i L_j X)}{\Gamma(L_i)} \quad X; M, N, O \text{ ve } j > i \quad (2.20)$$

olur. Burada Γ_A Auger kısmı genişliği (Auger geçiş hıslarının toplamı)'dir.

İç tabaka boşluklarının yeniden düzenlenmesine neden olan CK ve Süper Coster-Kronig (SCK) geçişler aynı tabakanın alt tabakaları arasında meydana gelen boşlukların yeniden dağılımına sebep olmaktadır. Bu geçişler, L, M, N, ve daha üst tabakalarında gerçekleşmektedir. Geçişler enerjik olarak müsaadeli olduğu zaman, CK ve SCK geçişler 10^{-17} s gibi kısa bir zaman aralığında ilgili tabakanın daha yüksek alttabakalarına kaydırılır. Bu geçişlerin bozunma zamanları, ışımalı ve Auger geçişleri ile karşılaştırıldığında çok büyük bir farklılığa sahiptir. Bu nedenle 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 forlatılır. Geçiş hızları da forlatılan elektronun enerjisinden hassastır (Şekil 2.14)



Şekil 2.15. Auger olayı, Coster-Kronig Geçişler ve Süper Coster-Kronig Geçişler

CK geçişleri dikkate alınmadığı durumlarda, X (X= L, M , N, O, ...) ile ifade edilen bir tabakada, X'in i. alttabakasına ait flöresans verim,

$$\omega_x^i = \frac{I_i^x}{n_i^x} \quad (2.21)$$

ile ifade edilir.

X tabakası için ortalama flöresans verim ise;

$$\omega_x = \sum N_i^x \omega_x^i \quad (2.22)$$

şeklindedir.

(2.22) denkleminde N_i^x : X-tabakasının i. alt tabakasındaki boşlukların rölatif sayısıdır ve;

$$N_i^x = \frac{n_i^x}{\sum_{i=1}^k n_i^x} \quad \sum_{i=1}^k N_i^x = 1 \quad (2.23)$$

ile tanımlanırlar.

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

1. ω flöresans verimi CK geçişleri tarafından değiştirilen boşluk dağılımları V_i^x ile ω_i^x alt tabaka flöresans verimlerinin kombinasyonu olarak yazılabilir.

$$\varpi_x = \sum_{i=1}^k V_i^x \omega_i^x \quad (2.24)$$

$$\sum_{i=1}^k V_i^x > 1 \quad (2.25)$$

burada V_i^x CK geçişler olduktan sonra X tabakasının i. alttabakasındaki boşlukların rölatif sayısını göstermektedir. Başlangıçtaki rölatif boşlukların sayısı olan N_i^x , V_i^x cinsinden ifade edilebilir,

$$V_1^x = N_1^x \quad (2.26)$$

$$V_2^x = N_2^x + f_{12}^x N_1^x \quad (2.27)$$

$$V_3^x = N_3^x + f_{23}^x N_2^x (f_{13}^x + f_{12}^x f_{23}^x) N_1^x \quad (2.28)$$

$$V_k^x = N_k^x + f_{k-1,k}^x N_{k-1}^x + (f_{k-2,k-1}^x f_{k-1,k}^x) N_{k-2}^x + \dots + (f_{1k}^x + f_{12}^x f_{2k}^x f_{3k}^x + \dots) N_1^x \quad (2.29)$$

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

$$\varpi_x = \sum_{i=1}^k N_i^x \nu_i^x \quad (2.30)$$

şeklinde yazılabilir.

ν_i^x , i. alttabakadaki bir boşluk için karakteristik X-ışını yayınlama ihtimaliyetidir (McGuire 1974). $V_i^x \omega_i^x$ ile $N_i^x \nu_i^x$ çarpımları eşit değildir. $V_i^x \omega_i^x$ niceliği, bir X tabakasının herhangi bir alttabakasındaki boşluksayısı başına i. alt tabakaya daha üst tabakalardan ışımalı geçişlerin sayısını belirtir. $N_i^x \nu_i^x$ çarpımı ise, i. tabakadaki boşluk sayısı başına X tabakasının tüm alttabakalarına geçişlerde yayınlanan X-ışınlarının sayısını belirtir. ν_i^x ve ω_i^x alttabaka flöresans verimleri arasındaki dönüşüm denklemleri;

$$\nu_1^x = \omega_1^x + f_{12}^x \omega_2^x + (f_{13}^x + f_{12}^x f_{13}^x) \omega_3^x + \dots + (f_{1k}^x + f_{12}^x f_{2k}^x + f_{13}^x f_{3k}^x + \dots + f_{1,k-1}^x f_{k-1,k}^x + \dots) \omega_k^x \quad (2.31)$$

$$\nu_{k-1}^x = \omega_{k-1}^x + f_{k-1,k}^x \omega_k^x \quad (2.32)$$

$$\nu_k^x = \omega_k^x \quad (2.33)$$

şeklindedir.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. N alttabakası Flöresans Verimleri

Bu çalışmada N alttabaka flöresans verimler, McGuire'nin yapmış olduğu çalışmadan (McGuire 1974) yararlanarak en küçük karaler metodu kullanılarak flöresans verimleri hesaplanmıştır. Elde edilen flöresans verim değerleri ile atom numarasına bağlı olarak, alttabaka flöresans verimlerin grafikleri elde edilmiştir.

Benzer şekilde N alttabaka Coster-Kronig geçiş verimleri hesaplanmıştır.

N tabakası flöresans verimleri literatürde deneysel hesaplamalara pek rastlanmadığından deneysel verilerle kıyaslanmamıştır. Literatürdeki teorik hesaplamalar ile yapılan hesaplamaların uyumlu olduğu görülmüştür.

Çizelge 3.1. N alttabaka flöresans verimleri

z	ω_1 (McGUIRE)	ω_1	ω_2 (McGUIRE)	ω_2	ω_3 (McGUIRE)	ω_3	ω_4 (McGUIRE)	ω_4	ω_5 (McGUIRE)	ω_5	$\omega_{6,7}$ (McGUIRE)	$\omega_{6,7}$
38	1,20E-05	1,20E-05	1,30E-02	1,30E-02	1,30E-02	1,30E-02	-	-	-	-	-	-
39		7,05E-06		6,51E-03		6,51E-03	-	-	-	-	-	-
40	2,10E-06	2,10E-06	2,30E-05	2,30E-05	2,30E-05	2,30E-05	-	7,20E-06	-	-	-	-
41		1,70E-06		1,51E-05		1,51E-05	-	6,90E-06	-	-	-	-
42	1,30E-06	1,30E-06	7,20E-06	7,20E-06	7,20E-06	7,20E-06	-	6,60E-06	-	-	-	-
43		1,20E-06		6,70E-06		6,70E-06	-	6,30E-06	-	-	-	-
44	1,10E-06	1,10E-06	6,20E-06	6,20E-06	6,20E-06	6,20E-06	-	6,00E-06	-	-	-	-
45		1,00E-06		6,93E-06		6,93E-06	-	5,70E-06	-	-	-	-
46		9,00E-07		7,67E-06		7,67E-06	-	5,40E-06	-	-	-	-
47	8,00E-07	8,00E-07	8,40E-06	8,40E-06	8,40E-06	8,40E-06	-	5,10E-06	-	-	-	-
48		7,40E-07		7,93E-06		7,93E-06	-	4,80E-06	-	-	-	-
49		6,80E-07		7,47E-06		7,47E-06	-	4,50E-06	-	-	-	-
50	6,20E-07	6,20E-07	7,00E-06	7,00E-06	7,00E-06	7,00E-06	4,20E-06	4,20E-06	4,20E-06	4,20E-06	-	-
51		4,22E-06		1,90E-05		1,90E-05		3,90E-06		1,89E-05	-	-
52		7,81E-06		3,10E-05		3,10E-05		3,60E-06		3,36E-05	-	-
53		1,14E-05		4,30E-05		4,30E-05		3,30E-06		4,83E-05	-	-
54	1,50E-05	1,50E-05	5,50E-05	5,50E-05	5,50E-05	5,50E-05	3,00E-06	3,00E-06	6,30E-05	6,30E-05	-	-
55		1,77E-05		7,33E-05		6,50E-05		4,87E-05		8,87E-05	-	-
56		2,03E-05		9,17E-05		7,50E-05		9,44E-05		1,14E-04	-	-
57	2,30E-05	2,30E-05	1,10E-04	1,10E-04	8,50E-05	8,50E-05	1,40E-04	1,40E-04	1,40E-04	1,40E-04	-	-
58	2,20E-05	2,20E-05	8,10E-05	8,10E-05	5,90E-05	5,90E-05	1,90E-04	1,90E-04	1,90E-04	1,90E-04	-	-
59		2,20E-05		7,70E-05		5,75E-05		1,60E-04		1,30E-04	-	-
60	2,20E-05	2,20E-05	7,30E-05	7,30E-05	5,60E-05	5,60E-05	1,30E-04	1,30E-04	1,30E-04	1,30E-04	-	-

Çizelge 3.1. (devam)

61		2,40E-05		7,27E-05		5,60E-05		1,23E-04		1,23E-04	-	-
62		2,60E-05		7,23E-05		5,60E-05		1,17E-04		1,17E-04	-	-
63	2,80E-05	2,80E-05	7,20E-05	7,20E-05	5,60E-05	5,60E-05	1,10E-04	1,10E-04	1,10E-04	1,10E-04	-	-
64		3,05E-05		7,10E-05		5,60E-05		1,10E-04		1,10E-04	-	-
65	3,30E-05	3,30E-05	7,00E-05	7,00E-05	5,60E-05	5,60E-05	1,10E-04	1,10E-04	1,10E-04	1,10E-04	-	-
66		3,50E-05		7,00E-05		5,75E-05		1,10E-04		1,10E-04	-	-
67	3,70E-05	3,70E-05	7,00E-05	7,00E-05	5,90E-05	5,90E-05	1,10E-04	1,10E-04	1,10E-04	1,10E-04	-	-
68		4,10E-05		6,83E-05		5,67E-05		9,67E-05		1,03E-04	-	-
69		4,50E-05		6,67E-05		5,43E-05		8,33E-05		9,67E-05	-	-
70	4,90E-05	4,90E-05	6,50E-05	6,50E-05	5,20E-05	5,20E-05	7,00E-05	7,00E-05	9,00E-05	9,00E-05	0,00E+00	0,00E+00
71		5,30E-05		6,83E-05		5,43E-05		8,67E-05		1,00E-04		1,20E-06
72		5,70E-05		7,17E-05		5,67E-05		1,03E-04		1,10E-04		2,40E-06
73	6,10E-05	6,10E-05	7,50E-05	7,50E-05	5,90E-05	5,90E-05	1,20E-04	1,20E-04	1,20E-04	1,20E-04	3,60E-06	3,60E-06
74	7,50E-05	7,50E-05	8,00E-05	8,00E-05	6,90E-05	6,90E-05	1,20E-04	1,20E-04	1,30E-04	1,30E-04	7,20E-06	7,20E-06
75		8,33E-05		8,67E-05		7,17E-05		1,23E-04		1,33E-04		1,18E-05
76		9,17E-05		9,33E-05		7,43E-05		1,27E-04		1,37E-04		1,64E-05
77	1,00E-04	1,00E-04	1,00E-04	1,00E-04	7,70E-05	7,70E-05	1,30E-04	1,30E-04	1,40E-04	1,40E-04	2,10E-05	2,10E-05
78		1,15E-04		1,10E-04		8,35E-05		1,40E-04		1,50E-04		3,00E-05
79	1,30E-04	1,30E-04	1,20E-04	1,20E-04	9,00E-05	9,00E-05	1,50E-04	1,50E-04	1,60E-04	1,60E-04	3,90E-05	3,90E-05
80		1,58E-04		1,38E-04		1,03E-04		1,70E-04		1,78E-04		7,43E-05
81		1,85E-04		1,55E-04		1,15E-04		1,90E-04		1,95E-04		1,10E-04
82		2,13E-04		1,73E-04		1,28E-04		2,10E-04		2,12E-04		1,45E-04
83	2,40E-04	2,40E-04	1,90E-04	1,90E-04	1,40E-04	1,40E-04	2,30E-04	2,30E-04	2,30E-04	2,30E-04	1,80E-04	1,80E-04
84		2,80E-04		1,93E-04		1,33E-04		2,47E-04		2,47E-04		2,67E-04
85		3,20E-04		1,97E-04		1,27E-04		2,63E-04		2,63E-04		3,53E-04
86	3,60E-04	3,60E-04	2,00E-04	2,00E-04	1,20E-04	1,20E-04	2,80E-04	2,80E-04	2,80E-04	2,80E-04	4,40E-04	4,40E-04

Çizelge 3.1. (devam)

87		4,23E-04		3,18E-04		2,03E-04		3,28E-04		3,27E-04		4,45E-04
88		4,85E-04		4,35E-04		2,85E-04		3,75E-04		3,75E-04		4,50E-04
89		5,48E-04		5,53E-04		3,68E-04		4,22E-04		4,22E-04		4,55E-04
90	6,10E-04	6,10E-04	6,70E-04	6,70E-04	4,50E-04	4,50E-04	4,70E-04	4,70E-04	4,70E-04	4,70E-04	4,60E-04	4,60E-04
91		6,60E-04		7,85E-04		5,20E-04		5,85E-04		5,95E-04		3,85E-04
92	7,10E-04	7,10E-04	9,00E-04	9,00E-04	5,90E-04	5,90E-04	7,00E-04	7,00E-04	7,20E-04	7,20E-04	3,10E-04	3,10E-04
93		7,40E-04		9,38E-04		6,15E-04		7,23E-04		7,42E-04		2,95E-04
94		7,70E-04		9,75E-04		6,40E-04		7,45E-04		7,65E-04		2,80E-04
95		8,00E-04		1,01E-03		6,65E-04		7,68E-04		7,87E-04		2,65E-04
96	8,30E-04	8,30E-04	1,05E-03	1,05E-03	6,90E-04	6,90E-04	7,90E-04	7,90E-04	8,10E-04	8,10E-04	2,50E-04	2,50E-04
97		9,23E-04		1,19E-03		7,75E-04		8,92E-04		9,07E-04		2,60E-04
98		0,00102		1,33E-03		8,60E-04		9,95E-04		1,00E-03		2,70E-04
99		0,00111		1,46E-03		9,45E-04		1,10E-03		1,10E-03		2,80E-04
100	1,20E-03	1,20E-03	1,60E-03	1,60E-03	1,03E-03	1,03E-03	1,20E-03	1,20E-03	1,20E-03	1,20E-03	2,90E-04	2,90E-04

3.2. N alttabaka Coster-Kronig Verimleri

Çizelge 3.2. N alttabaka Coster-Kronig verimleri (S_{12} S_{13} S_{14} S_{15} $S_{1,67}$)

Z	S_{12} (McGUIRE)	S_{12}	S_{13} (McGUIRE)	S_{13}	S_{14} (McGUIRE)	S_{14}	S_{15} (McGUIRE)	S_{15}	$S_{1,67}$ (McGUIRE)
30	-	-	-	-	-	-	-	-	-
31	-	-	-	-	-	-	-	-	-
32	-	-	-	-	-	-	-	-	-
33	-	-	-	-	-	-	-	-	-
34	-	-	-	-	-	-	-	-	-
35	-	-	-	-	-	-	-	-	-
36	-	-	-	-	-	-	-	-	-
37	-	-	-	-	-	-	-	-	-
38	0,330	0,330	0,660	0,660	-	-	-	-	-
39		0,320		0,645	-	-	-	-	-
40	0,310	0,310	0,630	0,630	0,360	0,360	0,530	0,530	-
41		0,320		0,645		0,380		0,560	-
42	0,330	0,330	0,660	0,660	0,400	0,400	0,590	0,590	-
43		0,325		0,655		0,405		0,600	-
44	0,320	0,320	0,650	0,650	0,410	0,410	0,610	0,610	-
45		0,320		0,647		0,410		0,613	-
46		0,320		0,643		0,410		0,617	-
47	0,320	0,320	0,640	0,640	0,410	0,410	0,620	0,620	-
48		0,323		0,643		0,407		0,613	-
49		0,327		0,647		0,403		0,607	-
50	0,330	0,330	0,650	0,650	0,400	0,400	0,600	0,600	-
51		0,298		0,588		0,357		0,538	-
52		0,265		0,525		0,315		0,475	-
53		0,233		0,462		0,273		0,413	-
54	0,200	0,200	0,400	0,400	0,230	0,230	0,350	0,350	-
55		0,207		0,410		0,220		0,333	-
56		0,213		0,420		0,220		0,317	-
57	0,220	0,220	0,430	0,430	0,200	0,200	0,300	0,300	-
58	0,230	0,230	0,470	0,470	0,150	0,150	0,230	0,230	0,170
59		0,235		0,475		0,110		0,220	
60	0,240	0,240	0,480	0,480	0,140	0,140	0,210	0,210	0,380
61		0,243		0,487		0,130		0,193	
62		0,247		0,493		0,120		0,177	
63	0,250	0,250	0,500	0,500	0,110	0,110	0,160	0,160	0,480
64		0,250		0,495		0,110		0,160	
65	0,250	0,250	0,490	0,490	0,110	0,110	0,160	0,160	0,590

Çizelge 3.2. (devam)

66		0,250		0,495		0,105		0,155	
67	0,250	0,250	0,500	0,500	0,100	0,100	0,150	0,150	0,640
68		0,250		0,500		0,093		0,140	
69		0,250		0,500		0,087		0,130	
70	0,250	0,250	0,500	0,500	0,080	0,080	0,120	0,120	0,650
71		0,233		0,520		0,078		0,117	
72		0,217		0,540		0,075		0,113	
73	0,200	0,200	0,560	0,560	0,073	0,073	0,110	0,110	0,630
74	0,190	0,190	0,560	0,560	0,062	0,062	0,092	0,092	0,590
75		0,190		0,563		0,061		0,092	
76		0,190		0,567		0,060		0,091	
77	0,190	0,190	0,570	0,570	0,059	0,059	0,091	0,091	0,560
78		0,230		0,535		0,054		0,083	
79	0,270	0,270	0,500	0,500	0,049	0,049	0,074	0,074	0,450
80		0,268		0,490		0,051		0,076	
81		0,265		0,480		0,052		0,079	
82		0,262		0,470		0,053		0,081	
83	0,260	0,260	0,460	0,460	0,055	0,055	0,083	0,083	0,380
84		0,247		0,463		0,054		0,082	
85		0,233		0,467		0,054		0,081	
86	0,220	0,220	0,470	0,470	0,053	0,053	0,080	0,080	0,410
87		0,242		0,435		0,055		0,082	
88		0,265		0,400		0,056		0,084	
89		0,287		0,365		0,058		0,086	
90	0,310	0,310	0,330	0,330	0,059	0,059	0,088	0,088	0,270
91		0,335		0,330		0,054		0,081	
92	0,360	0,360	0,330	0,330	0,049	0,049	0,074	0,074	0,250
93		0,375		0,310		0,050		0,075	
94		0,390		0,290		0,050		0,076	
95		0,405		0,270		0,051		0,076	
96	0,420	0,420	0,250	0,250	0,051	0,051	0,077	0,077	0,230
97		0,448		0,232		0,050		0,076	
98		0,475		0,215		0,050		0,075	
99		0,502		0,198		0,049		0,073	
100	0,530	0,530	0,180	0,180	0,048	0,048	0,072	0,072	0,190

Çizelge 3.3. N alttabaka Coster-Kronig verimleri ($S_{1,67}$, S_{23} , S_{24} , S_{25} , $S_{2,67}$)

Z	$S_{1,67}$	S_{23} (McGUIRE)	S_{23}	S_{24} (McGUIRE)	S_{24}	S_{25} (McGUIRE)	S_{25}	$S_{2,67}$ (McGUIRE)	$S_{2,67}$
30	-	-	-	-	-	-	-	-	-
31	-	-	-	-	-	-	-	-	-
32	-	-	-	-	-	-	-	-	-
33	-	-	-	-	-	-	-	-	-
34	-	-	-	-	-	-	-	-	-
35	-	-	-	-	-	-	-	-	-
36	-	-	-	-	-	-	-	-	-
37	-	-	-	-	-	-	-	-	-
38	-	-	-	-	-	-	-	-	-
39	-	-	-	-	-	-	-	-	-
40	-	-	-	1,080	1,080	0,690	0,690	-	-
41	-	-	-		1,100		0,770	-	-
42	-	-	-	1,120	1,120	0,850	0,850	-	-
43	-	-	-		1,120		0,855	-	-
44	-	-	-	1,120	1,120	0,860	0,860	-	-
45	-	-	-		1,120		0,863	-	-
46	-	-	-		1,120		0,867	-	-
47	-	-	-	1,120	1,120	0,870	0,870	-	-
48	-	-	-		1,117		0,863	-	-
49	-	-	-		1,113		0,857	-	-
50	-	-	-	1,110	1,110	0,850	0,850	-	-
51	-	-	-		1,023		0,691	-	-
52	-	-	-		0,935		0,530	-	-
53	-	-	-		0,848		0,370	-	-
54	-	-	-	0,760	0,760	0,210	0,210	-	-
55	-	-	-		0,750		0,210	-	-
56	-	-	-		0,740		0,210	-	-
57	-	0,018	0,018	0,730	0,730	0,210	0,210	-	-
58	0,170	0,061	0,061	0,720	0,720	0,160	0,160	0,440	0,440
59	0,275		0,063		0,720		0,155		0,515
60	0,380	0,065	0,065	0,720	0,720	0,150	0,150	0,590	0,590
61	0,413		0,088		0,706		0,137		0,627
62	0,447		0,111		0,693		0,123		0,663
63	0,480	0,134	0,134	0,680	0,680	0,110	0,110	0,700	0,700
64	0,535		0,130		0,680		0,110		0,725
65	0,590	0,127	0,127	0,680	0,680	0,110	0,110	0,750	0,750

Çizelge 3.3. (devam)

66	0,615		0,135		0,675		0,105		0,780
67	0,640	0,142	0,142	0,670	0,670	0,100	0,100	0,810	0,810
68	0,643		0,135		0,677		0,100		0,820
69	0,647		0,129		0,683		0,100		0,830
70	0,650	0,122	0,122	0,690	0,690	0,100	0,100	0,840	0,840
71	0,643		0,121		0,687		0,100		0,840
72	0,637		0,119		0,683		0,100		0,840
73	0,630	0,118	0,118	0,680	0,680	0,100	0,100	0,840	0,840
74	0,590	0,114	0,114	0,670	0,670	0,100	0,100	0,790	0,790
75	0,580		0,116		0,673		0,100		0,783
76	0,570		0,117		0,677		0,100		0,777
77	0,560	0,119	0,119	0,680	0,680	0,100	0,100	0,770	0,770
78	0,505		0,105		0,675		0,100		0,725
79	0,450	0,090	0,090	0,670	0,670	0,100	0,100	0,680	0,680
80	0,432		0,104		0,647		0,100		0,642
81	0,415		0,117		0,625		0,100		0,605
82	0,397		0,130		0,603		0,100		0,567
83	0,380	0,144	0,144	0,580	0,580	0,100	0,100	0,530	0,530
84	0,390		0,112		0,627		0,103		0,563
85	0,410		0,079		0,674		0,107		0,597
86	0,410	0,047	0,047	0,720	0,720	0,110	0,110	0,630	0,630
87	0,375		0,058		0,672		0,110		0,547
88	0,340		0,070		0,625		0,110		0,465
89	0,304		0,092		0,578		0,110		0,382
90	0,270	0,092	0,092	0,530	0,530	0,110	0,110	0,300	0,300
91	0,260		0,102		0,510		0,110		0,280
92	0,250	0,111	0,111	0,490	0,490	0,110	0,110	0,260	0,260
93	0,245		0,112		0,493		0,107		0,250
94	0,240		0,112		0,495		0,105		0,240
95	0,235		0,112		0,498		0,102		0,230
96	0,230	0,113	0,113	0,500	0,500	0,100	0,100	0,220	0,220
97	0,220		0,131		0,473		0,100		0,228
98	0,210		0,148		0,445		0,100		0,235
99	0,200		0,166		0,417		0,100		0,243
100	0,190	0,183	0,183	0,390	0,390	0,100	0,100	0,250	0,250

Çizelge 3.4. N alttabaka Coster-Kronig verimleri (S_{34} , S_{35} , S_{35} , $S_{3,67}$, S_{45} , $S_{4,67}$)

Z	S34 (McGUIRE)	S34	S35 (McGUIRE)	S35	S3,67 (McGUIRE)	S3,67	S45 (McGUIRE)	S45	S4,67 (McGUIRE)	S4,67	S5,67 (McGUIRE)	S5,67
30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
31	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
32	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
33	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
34	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
35	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
36	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
37	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
38	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
39	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
40	0,520	0,520	1,250	1,250	-	-	-	-	-	-	-	-
41		0,570		1,300	-	-	-	-	-	-	-	-
42	0,620	0,620	1,350	1,350	-	-	-	-	-	-	-	-
43		0,625		1,355	-	-	-	-	-	-	-	-
44	0,630	0,630	1,360	1,360	-	-	-	-	-	-	-	-
45		0,630		1,360	-	-	-	-	-	-	-	-
46		0,630		1,360	-	-	-	-	-	-	-	-
47	0,630	0,630	1,360	1,360	-	-	-	-	-	-	-	-
48		0,627		1,353	-	-	-	-	-	-	-	-
49		0,623		1,347	-	-	-	-	-	-	-	-
50	0,620	0,620	1,340	1,340	-	-	-	-	-	-	-	-
51		0,514		1,197	-	-	-	-	-	-	-	-

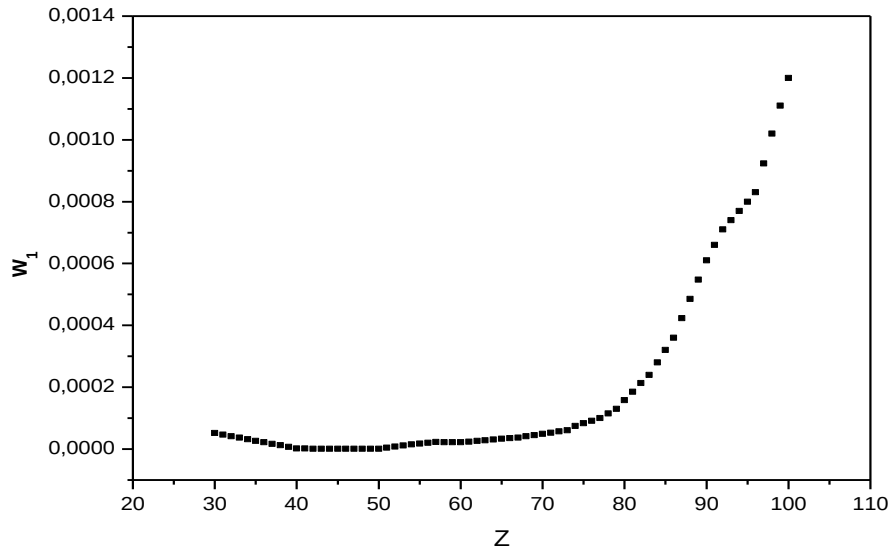
Çizelge 3.4. (devam)

52		0,410		1,055	-	-	-	-	-	-	-	-
53		0,305		0,913	-	-	-	-	-	-	-	-
54	0,200	0,200	0,770	0,770	-	-	-	-	-	-	-	-
55		0,203		0,762	-	-	-	-	-	-	-	-
56		0,207		0,753	-	-	-	-	-	-	-	-
57	0,210	0,210	0,745	0,745	-	-	-	-	-	-	-	-
58	0,180	0,180	0,760	0,760	0,410	0,410	-	-	1,020	1,020	1,020	1,020
59		0,175		0,755		0,490	-	-		1,210		1,210
60	0,170	0,170	0,750	0,750	0,570	0,570	-	-	1,400	1,400	1,400	1,400
61		0,167		0,753		0,617	-	-		1,473		1,490
62		0,163		0,757		0,663	-	-		1,547		1,580
63	0,160	0,160	0,760	0,760	0,710	0,710	-	-	1,620	1,620	1,670	1,670
64		0,160		0,755		0,740	-	-		1,670		1,695
65	0,160	0,160	0,750	0,750	0,770	0,770	-	-	1,720	1,720	1,720	1,720
66		0,155		0,755		0,785	-	-		1,735		1,735
67	0,150	0,150	0,760	0,760	0,800	0,800	-	-	1,750	1,750	1,750	1,750
68		0,147		0,757		0,840	-	-		1,637		1,773
69		0,143		0,753		0,840	-	-		1,411		1,797
70	0,140	0,140	0,750	0,750	0,860	0,860	0,450	0,450	1,410	1,410	1,820	1,820
71		0,143		0,747		0,863		0,306		1,51971		1,803
72		0,147		0,743		0,867		0,160		1,630		1,787
73	0,150	0,150	0,740	0,740	0,870	0,870	0,015	0,015	1,740	1,740	1,770	1,770
74	0,140	0,140	0,730	0,730	0,820	0,820	0,021	0,021	1,700	1,700	1,730	1,730
75		0,14333		0,733		0,813		0,025		1,670		1,753
76		0,147		0,737		0,807		0,030		1,640		1,777

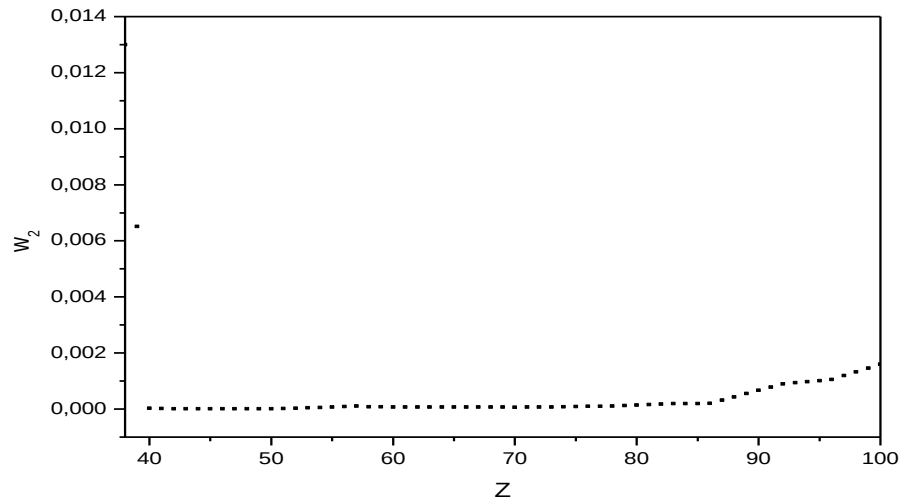
Çizelge 3.4. (devam)

77	0,150	0,150	0,740	0,740	0,800	0,800	0,034	0,034	1,610	1,610	1,800	1,800
78		0,145		0,725		0,770		0,042		1,560		1,695
79	0,140	0,140	0,710	0,710	0,740	0,740	0,049	0,049	1,510	1,510	1,590	1,590
80		0,140		0,695		0,710		0,037		1,540		1,600
81		0,140		0,680		0,680		0,026		1,570		1,610
82		0,140		0,665		0,650		0,015		1,600		1,620
83	0,140	0,140	0,650	0,650	0,620	0,620	0,003	0,003	1,630	1,630	1,630	1,630
84		0,140		0,673		0,633		0,003		1,444		1,444
85		0,140		0,697		0,647		0,004		1,256		1,256
86	0,140	0,140	0,720	0,720	0,660	0,660	0,004	0,004	1,070	1,070	1,070	1,070
87		0,138		0,682		0,580		0,004		1,058		1,057
88		0,135		0,645		0,500		0,003		1,045		1,045
89		0,132		0,607		0,421		0,003		1,032		1,032
90	0,130	0,130	0,570	0,570	0,340	0,340	0,002	0,002	1,020	1,020	1,020	1,020
91		0,130		0,560		0,315		0,009		0,945		0,953
92	0,130	0,130	0,550	0,550	0,290	0,290	0,016	0,016	0,871	0,871	0,886	0,886
93		0,130		0,550		0,280		0,017		0,866		0,881
94		0,130		0,550		0,270		0,019		0,860		0,877
95		0,130		0,550		0,260		0,021		0,854		0,873
96	0,130	0,130	0,550	0,550	0,250	0,250	0,021	0,021	0,849	0,849	0,868	0,868
97		0,128		0,535		0,265		0,024		0,840		0,861
98		0,125		0,520		0,280		0,027		0,831		0,855
99		0,122		0,505		0,295		0,029		0,822		0,848
100	0,120	0,120	0,490	0,490	0,310	0,310	0,032	0,032	0,813	0,813	0,841	0,841

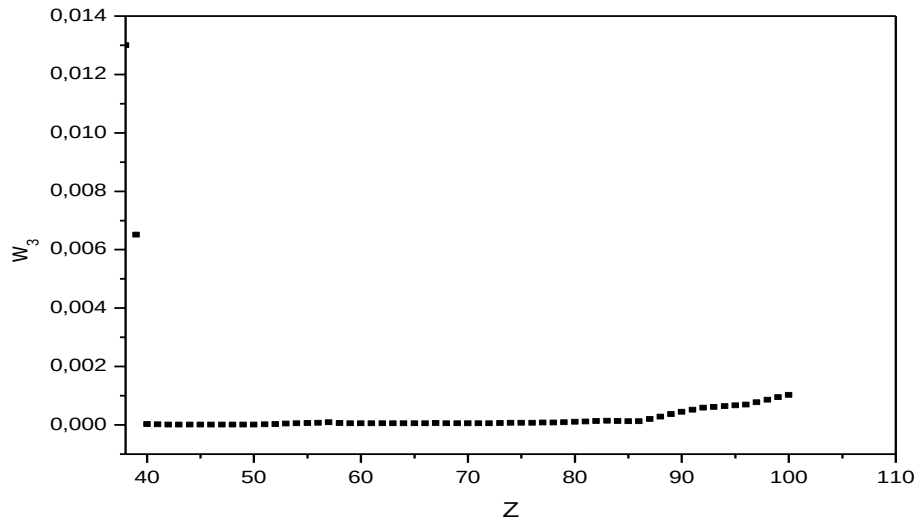
3.3. N Alttabaka Flöresans Verimin Grafikleri



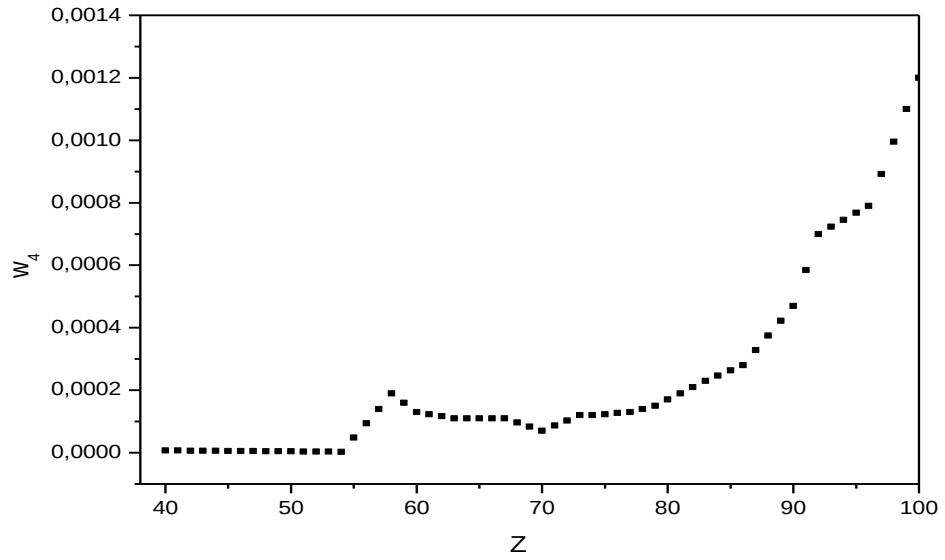
Şekil 3.1. w_1 flöresans verim grafiği



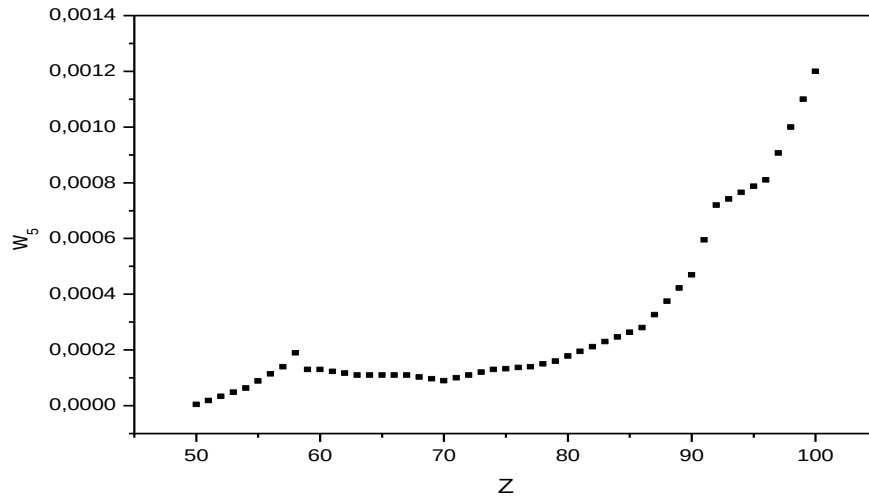
Şekil 3.2. w_2 flöresans verim grafiği



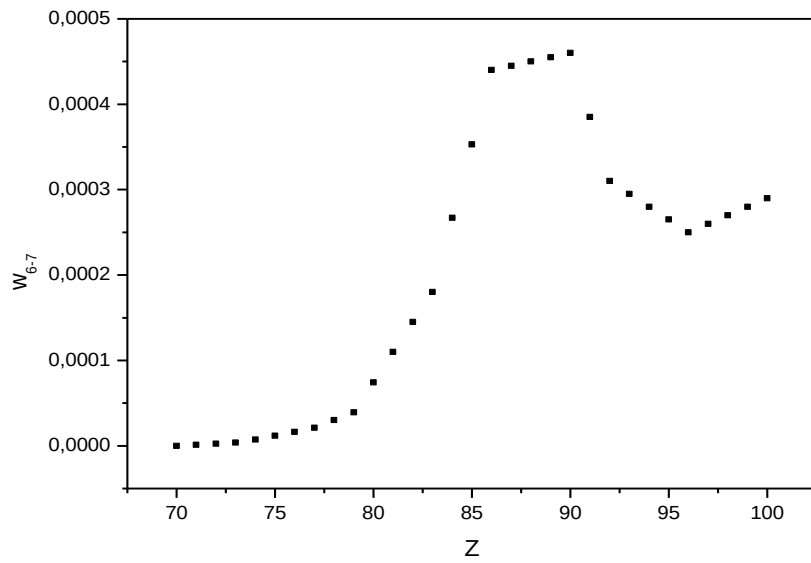
Şekil 3.3. ω_3 flöresans verim grafiği



Şekil 3.4. ω_4 flöresans verim grafiği



Şekil 3.5. ω_5 flöresans verim grafiği



Şekil 3.6. $\omega_{6,7}$ flöresans verim grafiği

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

N tabakasındaki boşluklar, N-NX şeklindeki geçişler Coster-Kronik geçişlerle ve N-NN şeklindeki Süper Coster-Kronik geçişlerle doldurulmaktadır. Bu tez çalışmasında, flöresans verim değerleri; $30 \leq Z \leq 50$ arasındaki atomlar için pek değişiklik göstermemekte aynı zamanda baskın geçiş, $N_{2,3}-N_{4,5}$ $N_{4,5}$ SCK geçişleridir.

N tabakası birden fazla alttabakaya sahip olduğundan vermiş oldukları spektrum oldukça karmaşık bir yapıya sahiptir. Bu yüzden deneysel olarak N tabakasına ait alttabaka flöresans verimler ve CK geçiş ihtimaliyetleri literatürde mevcut değildir. Literatürde, sadece Mc Guire (McGuire 1974) 'ın $38 \leq Z \leq 103$ 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.

K, L , M tabakalarına ait literatürde flöresans verimlere ait deneysel ve teorik veriler bulunmasına rağmen, özellikle N tabakasına ait teorik veriler çok yetersizdir. Literatürde N tabakası X-ışınları üzerine birkaç çalışma mevcuttur.

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'in vermiş olduğu N tabakasına ait alttabaka flöresans verimler ve CK geçiş değerlerinden faydalananarak en küçük kareler metodu ile $38 \leq Z \leq 103$ tüm elementler için N tabakasına ait alttabaka flöresans verim ve CK geçişlerin fit değerlerini hesaplamıştır.

Yapılan hesaplamalarda elde edilen sonuçların deneysel verilerle desteklenmesi gerekmektedir. Atom numarası büyük olan elementlerde karakteristik X-ışını yayınlama

ihtimaliyeti, yüksek olduğundan, atom numarası büyüdükçe, N tabakasına ait flöresans verimlerin ve CK geçiş ihtimaliyelrinin arttığı gözlemlendi. Literatürde N tabakası için flöresans verimlere (ω_N) ait deneysel çalışmalara rastlanmadığından dolayı deneysel verilerle karşılaştırma yapılamamıştır.

5. SONUÇ

Boşluk için X-ışını yayınlama ihtimaliyeti olan flöresans verim, 0 ile 1 arasında değer almaktadır yapılan hesaplamalarda flöresans verim değerleri 0 ile 1 aralığında olduğu görülmüştür. Fotoelektrik olay sonucunda meydana gelen karakteristik X-ışını, Auger olayının ve Coster-Kronig geçişlerin meydana gelme ihtimaliyeti toplamı 1'dir.

Yapılan hesaplamalarda $50 \leq Z \leq 63$ arasında, flöresans verim değerleri artış göstermiştir. Alttabaka ve bu tabakalara ait flöresans verimler, flöresans tesir kesitleri ve CK geçişlere ait teorik ve deneysel veriler, K, L ve M tabakaları için çok sayıdaki element aralığında literatürde teorik ve deneysel veriler çok sayıda olmasına rağmen, ancak N tabakasına ait deneysel veriler yok denecek kadar azdır.

Yapılan hesaplamalarda küçük atom numaralı elementlerde meydana gelen Auger elektronu yayınlama ihtimaliyeti yüksek, büyük atom numaralı elementlerde ise karakteristik X-ışını yayınlama ihtimaliyeti daha yüksektir.

N tabakası için deneysel aşırma yapmak oldukça zordur. Çünkü N tabakası enerji seviyeleri birbirine enerjik olarak çok yakın ve N tabakası X-ışını spektrumu oldukça karmaşık bir yapıdadır.

Bu yüzden deneysel N tabakasına ait alttabaka flöresans verimler ve CK geçiş ihtimaliyetleri literatürde mevcut değildir. McGuire'nin hesaplamaları ile yapılan fit değerleri ile ara atom numaralı elementlerin flöresans verimi teorik olarak hesaplanmıştır.

N tabakasına ait alttabaka flöresans verimler (ω_N), CK ve SCK geçişler (S_{ij}) en küçük kareler metodu kullanılarak verim değerleri elde edildi.

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.

KAYNAKLAR

- Adams, F. and Dams, R., 1970, Applied Gamma Ray Spectrometry, Pergamon Press, Oxford, p8.
- Allawadhi, K.L., Arora, S.K., Singh, S., Phutela, S.L., 1998. "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.
- Aygün, E., Zengin, M. 1998. Atom ve Molekül Fizigi. Ankara Üniversitesi, Ankara, 273s.
- Bambynek, W., Cresamann, B., Fink, R., Freund, H., Mark, H., Swift, C., Price, R., Rao, P., 1972. "X-Ray fluorescence yields, Auger, and Coster-Kronig transition probabilities", Reviews of Modern Physics, 44(4): 716- 813.
- Barrea, R.A., Bonzi, E.V., 2001. "Rare earth experimental L X- ray fluorescence crosssections at 13 and 14 keV with synchrotron radiation" , X-Ray Spectrom., 30:3-7.
- Bertin, E., 1975. Principles and Practice of X-Ray Spectrometric Analysis.
- Coster, D. and Kronig, R. 1935. Physica II.
- Das, a., Ferbel, t., 2003, Introduction To Nuclear And Particle Physics, World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd.
- Durak, R., Ozdemir, Y., 1998. "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.
- Ertuğrul, M., 1996. "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.
- Ertuğrul, M., Kaya, A., Doğan, O., Turgut, Ü., Şimşek, Ö., Söğüt, Ö., Karagöz, D., 2002. "Measurement of L subshell X-Ray production cross-sections at energy 31.635 keV and L subshell fluorescence yields for elements $74 \leq Z \leq 92$ ", X-Ray Spectrom. , 31(1): 53- 56.
- Gündüz, E. 1995. "Modern Fizige Giriş" Ege Üniversitesi Fen Fakültesi Kitaplar Serisi No:110, İzmir.
- Hubbell, J. H., Trehan, P. N., Singh, N., Chand, B., Mehta, D., Garg, M. L., Garg, R. R., Singh, S., and Puri, S., 1994, A review, bibliography, and tabulation of K, L, and M inner atomic shell X-ray fluorescence yields., J. Phys. Chem. Ref. Data, 23, 339-351.
- Jenkins R., 1986. An Introduction to X-ray Spectrometry, Heyden and Son, New York.
- Jenkins, R., Manne, R., Robin, R., Senemaud, C., 1991. X-Ray Spectrom., 20: 149-155.
- Krane, K.S., 2001, Nükleer Fizik, *Palme Yayıncılık*.
- Krause, M.O., 1979. "Atomic radiative and radiationless yields for K and L shells", J. Phys. Chem. Ref. Data, 8(2): 307- 327.
- Küçükönder, A., 1988. Radyoizotop X Isını Floresans Metodu ile Küre Bakılababa Cevherinde Fe ve Cu Miktarının Tayini. Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi
- McGuire, E.J., 1974. "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.

- Öz, E., Ekinci, N., Ozdemir, Y., Ertuğrul M., Sahin, Y., Erdoğan, H., 2001. "Erbium Lsubshell Coster-Kronig and fluorescence yields determination by synchrotron radiation photoionization", J. Phys. B: At Mol Opt. Phys., 34:631–8.
- Özdemir Y., 1998. 60 keV'lik Fotonlarla Uyarılmış $Z=24-92$ Aralığındaki elementlerin K ve L X ısıını Flüoresans Tesir Kesitleri ve Flüoresans Verimleri, Atatürk üniversitesi Yayınları, Erzurum, 69s
- Puri, S., Metha, D., Chand, B., Singh, N., Trehan, P.N., 1993. "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.
- Scofield, J.H., 1973. "Theoretical photoionization Cross-sections from 1 to 1500 keV", UCRL, 51326: 0- 375.
- Siegbahn, K. 1974. Alpha-Beta and Gamma-Ray Spectrometry. North-Holland Publishing Company, Netherlands, s.38-39.
- Söğüt, Ö. 2000. Coster-Kronig Geçiş İhtimalleri, Floresans Tesir Kesitleri ve Floresans Verimler Üzerine Kimyasal Etkiler. Atatürk Üniversitesi, Doktora Tezi, Erzurum, 95s (yayınlanmamış).
- Söğüt, Ö., Büyükkasap, E., Ertuğrul, M., Küçükönder, A., 2002. "Chemical effect on enhancement of Coster-Kronig transition of L3", J. of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer, 74: 395-400.
- Söğüt, Ö., Büyükkasap, E., Küçükönder, A., Ertuğrul, M., Erdoğan, H., 2002. "Determination of Coster-Kronig transition probabilities (L1-L2, L1-L3 and L2L3) for Hg and Bi in the molecules", X-Ray Spectrom. , 31: 71-74 ().
- Söğüt, Ö., Baydaş, E., Büyükkasap, E., 1999. "Chemical effect on L Shell fluorescence yields of Hg, Pb and Bi", J. of Trace and Microprobe Techniques, 173: 285-291.
- Söğüt, Ö., Büyükkasap, E., Küçükönder, A., Ertuğrul, M., Doğan, O., Erdoğan, H. Şimşek Ö., 2002. "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.
- 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)
- Şahin M., Demir L., Söğüt Ö., Ertuğrul M., İçelli O., 2000. L-subshell fluorescence cross sections and L-subshell fluorescence yields in elements $68 \leq Z \leq 92$ by 59,5 keV photons. J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys. 33, 93–98.
- Şahin, M., Demir, L., Söğüt, Ö., Ertuğrul, M., İçelli, O., 2000. "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. ol. Opt. Phys., 33: 93-98.
- Şahin, M., Demir, L., Söğüt, Ö., Ertuğrul, M., İçelli, O., 2000. "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.
- Şahin, Y., 1989. Çekirdek Fizisinin Esasları. Çeviri, Atatürk Üniversitesi Yayınları, Erzurum, 416 S.
- Şahin, Y., 1999. Çekirdek Fizisinin Esasları. Çeviri, Atatürk Üniversitesi Yayınları, Erzurum, 340 s.
- Şahin, Y., Demir D., 2013. X-Işını Spektroskopisi, Çimke Yayınları, Konya, 260s.

- Tarakçıoğlu, M.T., 2005. “K tabakasından L tabakasına boşluk geçiş ihtimallerinin ölçülmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş, 1-29.
- Turhan, M.F., 2011. “Atom Numarası $67 \leq Z \leq 83$ Aralığındaki Bazı Elementler İçin L Alt Tabaka Seviye Genişlikleri ve Işımalı Boşluk Geçiş İhtimaliyetlerinin Ölçülmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum,
- 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).
- Van Grieken, R.E., Markowichz, A.A., 1992. “Handbook of X-ray spectrometry”, Marcell Decker, Inc., New York, 392.
- Xu, J.Q., 1991. “L-subshell fluorescence yields for elements with $73 \leq Z \leq 83$ ”, Phys. Rev. A., 43(9): 4771–9.
- Yavuz, İ., 2012. “Atom Numarası $38 \leq Z \leq 101$ Olan Elementler İçin N Tabakasına Ait Ortalama Flöresans Verimlerin hesaplanması” , Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Zschornack, G., 2006. “Handbook of X-Ray Data” , Springer, New York, 74-88.

ÖZGEÇMİŞ

1980 yılında Sarıkamış'ta doğdu. Atatürk Üniversitesi Fen Fakültesi'nin Fizik bölümünden 2012 yılında, Matematik bölümünden (ÇAP) 2013 yılında mezun oldu. 2012 yılında Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Atom ve Molekül Fiziği Anabilim Dalı'nda lisansüstü öğrenim görmeye başladı.