

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

**ATOM NUMARASI $22 \leq Z \leq 35$ ARASINDAKİ BAZI ELEMENTLERİN İKİNCİL
KAYNAK KULLANARAK K- TABAKASI X-IŞINLARI TESİR KESİT VE
FLÜORESANS VERİMLERİNİN ÖLÇÜLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAZIRLAYAN: Yunus Emre AKSÖZ
DANIŞMANI: Doç. Dr. Rafet YILMAZ

VAN-2019

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

**ATOM NUMARASI $22 \leq Z \leq 35$ ARASINDAKİ BAZI ELEMENTLERİN İKİNCİL
KAYNAK KULLANARAK K- TABAKASI X-IŞINLARI TESİR KESİT VE
FLÜORESANS VERİMLERİNİN ÖLÇÜLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAZIRLAYAN: Yunus Emre AKSÖZ

VAN-2019

KABUL VE ONAY SAYFASI

Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalı'nda, Doç. Dr Rafet YILMAZ'IN danışmanlığında Yunus Emre AKSÖZ tarafından sunulan "Atom Numarası $22 \leq Z \leq 35$ Arasındaki Bazı Elementlerin İkincil Kaynak Kullanarak K Tabakası X-Işınları Tesir Kesit ve Flüoresans Verimlerinin Ölçülmesi" isimli bu çalışma Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği'nin ilgili hükümleri gereğince 05/12/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile başarılı bulunmuş ve yüksek lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan: Doç. Dr. Rafet YILMAZ

İmza:

Üye: Doç. Dr. Koray KÖKSAL

İmza:

Üye: Dr. Öğr. Üyesi Abdullah ÖZKARTAL

İmza:

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 27.12/2019 tarih ve 2019 /67-I sayılı kararı ile onaylanmıştır.

Prof. Dr. Suat ŞENSGY
Enstitü Müdürü



TEZ BİLDİRİMİ

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

Yunus Emre AKSÖZ

ÖZET

ATOM NUMARASI $22 \leq Z \leq 35$ ARASINDAKİ BAZI ELEMENTLERİN İKİNCİL KAYNAK KULLANARAK *K*- TABAKASI X-IŞINLARI TESİR KESİT VE FLÜORESANS VERİMLERİNİN ÖLÇÜLMESİ

AKSÖZ Yunus Emre
Yüksek Lisans Tezi, Fizik Anabilim Dalı
Tez Danışmanı: Doç. Dr. Rafet YILMAZ
Aralık 2019, 53 sayfa

Bu çalışmada, Am-241 radyoizotop nokta kaynağından yayımlanan 59.5keV'luk γ -ışınları, ikincil kaynağı uyarmak için kullanıldı. İkincil kaynaktan yayımlanan 11.372keV enerjideki karakteristik X-ışınları kullanılarak atom numarası $22 \leq Z \leq 35$ arasında olan ^{23}V , ^{24}Cr , ^{26}Fe , ^{27}Co , ^{28}Ni , ^{31}Ga ve ^{33}As elementlerinin K_{α} , ve K_{β} X-ışını Flüoresans tesir kesitleri ölçüldü. Numunelerin uyarılması sonucu *K* tabakalarından yayımlanan *K* X-ışınlarının sayılmasında rezolüsyonu 5,9 keV 'ta 160 keV olan Si(Li) katı hal dedektörü kullanıldı. Elde edilen tesir kesitlerinden *K* tabakasına ait flüoresans verimleri yarı deneysel olarak tespit edildi. İkincil kaynak kullanmanın yararları gözlemlendi. Elde edilen değerler literatürdeki benzer çalışmalarla karşılaştırıldı.

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



ABSTRACT

MEASUREMENTS OF *K*- SHELL X-RAY CROSS-SECTION AND FLUORESCENCE YIELDS USING SECONDARY SOURCE FOR SOME ELEMENTS IN THE ATOMIC NUMBER RANGE $22 \leq Z \leq 35$

YUNUS EMRE AKSÖZ
M. Sc. Thesis, Physics Department
Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Rafet YILMAZ
December 2019, 53 pages

In this study, γ -beams of 59.5 keV radiating from an Am-241 radioisotope point source were used to excite secondary source. *K* X-ray fluorescence cross sections of, K_{α} , K_{β} , of ^{23}V , ^{24}Cr , ^{26}Fe , ^{27}Co , ^{28}Ni , ^{31}Ga ve ^{33}As elements whose atom numbers in the range of $22 \leq Z \leq 35$ were measured by using characteristic X-ray is emitted from secondary sources were in an energy 11.372keV. A Si(Li) solid-state detector with 160 keV resolution at 5.9 keV was used to count *K* X-rays radiating from *K* layers as a result of excitation of samples. Fluorescence yields of *K* shells of the elements were determined by semi-empirical methods with the help of fluorescence cross sections. The benefits of using secondary sources were observed. Obtained values were compared with similar studies in the literature.

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



ÖN SÖZ

Bu tez çalışmasının deneysel olarak Atatürk Üniversitesi Fen Fakültesi Fizik Bölümü Atom Fiziği Laboratuvarı'nda yapılmıştır. Bundan dolayı, Atatürk Üniversitesi Fizik Bölüm öğretim elemanlarına teşekkür ederim.

Bu tez çalışması esnasında, her türlü ilgi ve yardımlarını esirgemeyen danışmanım Sayın Doç. Dr. Rafet YILMAZ'A ve YYÜ Fizik Bölümü hocalarına anlayış, destek ve yardımlarından dolayı sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Son olarak anlayış ve yardımlarından dolayı aileme desteklerinden dolayı teşekkür ederim.

2019

Yunus Emre AKSÖZ



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT	iii
ÖN SÖZ.....	v
İÇİNDEKİLER.....	vii
ÇİZELGELER LİSTESİ	ix
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR	xiii
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK BİLDİRİŞLERİ	3
3. GENEL BİLGİ.....	7
3.1. Elektromanyetik radyasyon ve madde	7
3.1.1. Soğurulma	7
3.1.2. Kütle soğurma katsayısı ve soğurma kıyıları	8
3.1.3. Fotoelektrik olay	9
3.1.4. Tesir kesiti	10
3.1.5. Çift oluşumu.....	12
3.1.6. Saçılma	13
3.1.6.1. Koherent saçılma	13
3.1.6.2. İnkohherent saçılma.....	14
3.1.6.3. Compton saçılması	14
3.2. Karakteristik X-ışınları	15
3.2.1. Karakteristik X-ışını yayımlanması ve enerji seviyeleri	15
3.2.2. Atomun yörüngelerinde oluşturulan boşluklara elektron geçişleri	19

	Sayfa
3.2.3. Flüoresans verim	20
3.2.4. Auger olayı.....	20
3.3. Atomların foton ve parçacıklarla uyarılması	21
3.3.1. Fotonlarla uyarma	22
3.3.1.1. Radyoizotop kaynaklarla uyarma	22
3.3.1.2. Sürekli fotonlarla (X-ışını tüpleriyle) uyarma.....	24
3.3.1.3. Sinkrotron ile uyarma.....	25
3.3.2. Parçacıklarla uyarma.....	25
3.3.2.1. Elektronlarla uyarma	26
3.3.2.2. Protonlarla uyarma	27
3.3.2.3. Hızlandırılmış iyonlarla uyarma.....	27
4.MATERYAL VE METOD	29
4.1. Ölçümler ve hesaplamalar	29
4.1.1. Karakteristik X-ışınlarının sayılmasında kullanılan yarı iletken dedektörler ve çalışma prensibi.....	29
4.1.2.Deney numunelerin hazırlanması.....	32
4.1.3. Karakteristik X-ışınlarının sayılması ve deney gometrisi	32
4.1.4. <i>K</i> X-ışını flüoresans (<i>K</i> -XRF) tesir kesitlerinin deneysel ölçümleri.....	37
4.1.5. Tesir kesitlerinin teorik hesaplanmaları	39
5.BULGULAR VE TARTIŞMA.....	41
5.1. Deneysel olarak incelenen numunelerin, ölçülen deneysel ve hesaplanan teoriksel <i>K</i> X-ışını flüoresans tesir.....	41
6. SONUÇ	49
KAYNAKLAR.....	50
ÖZ GEÇMİŞ.....	555

ÇİZELGELER LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1. X-ışını diyagram çizgilerinin Siegbahn ve IUPAC gösterimleri.....	17
Çizelge 3.2. Kuantum sayıları	19
Çizelge 5.1. Uyarıcı Kaynak ve Çalışmada kullanılan numunelerin özellikleri	41
Çizelge 5.2. Deneysel ve Teorik K_{α} X- ışını tesir kesitleri (barns/atom)	42
Çizelge 5.3. Deneysel ve Teorik K_{β} X- ışını tesir kesitleri (barns/atom)	42
Çizelge 5.4. Deneysel flüoresans verimler(ω_K)	43
Çizelge 5.5. Deneysel çalışma flüoresans verimler (ω_K) ile teoriksel değerler	44
Çizelge 5.6. Deneysel çalışma flüoresans verimler(ω_K) ile yarı deneysel fit değerleri	44

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 3.1. Fotoelektrik olayı.	10
Şekil 3.2. Compton olayı.	14
Şekil 3.3. Karakteristik X-ışını oluşumu.	16
Şekil 3.4. Yaygın olarak kullanılan enerji seviyeleri ve X-ışını çizgileri.....	18
Şekil 3.5. Auger olayı.	21
Şekil 3.6. Primer X-ışınları veya γ -ışınları ile uyarma.	23
Şekil 3.7. β bozunumu ile uyarma.	24
Şekil 3.8. Yörünge elektronunu yakalama (e^- -yakalama) ile uyarma.....	24
Şekil 3.9. Elektronlarla uyarma.	26
Şekil 4.1. Bazı dedektörlerin ayırma güçleri.	30
Şekil 4.2. Yarı iletken dedektörün şematik gösterimi.	31
Şekil 4.3. Deney geometresi.	33
Şekil 4.4. Deney sisteminin blok diyagramı.....	33
Şekil 4.5. Cr elementine ait spektrum.....	33
Şekil 4.6. Fe elementine ait spektrum.....	34
Şekil 4.7. Ni elementine ait spektrum.....	35
Şekil 4.8. Ga elementine ait spektrum.....	36
Şekil 4.9. As elementine ait spektrum.	36
Şekil 4.10. Dedektör verim eğrisi.	39

Şekil	Sayfa
Şekil 5.1. Atom numarasına karşı, deneysel ve teorik K_{α} X- ışını tesir kesitleri (barns/atom).....	45
Şekil 5.2. Atom numarasına karşı, deneysel ve teorik K_{β} X- ışını tesir kesitleri (barns/atom).	46
Şekil 5.3. Atom numarasına karşı, deneysel flüoresans verim (ω_K) ile diğer bazı deneysel fluorasans verim değerleri.....	46
Şekil 5.4. Atom numarasına karşı, deneysel flüoresans verim (ω_K) ile diğer bazı teoriksel fluorasans verim değerleri.....	47
Şekil 5.5. Atom numarasına karşı, deneysel flüoresans verim (ω_K) ile diğer yarı deneysel fit fluorasans verim değerleri.	47



SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler	Açıklama
W	Flüoresans verim
a	Auger verimi
α	Alfa
β	Beta
σ^p	Fotoiyonizasyon tesir kesiti
K_α	K_α X-ışını flüoresans tesir kesiti
K_β	K_β X-ışını flüoresans tesir kesiti
I_0	ışın şiddeti
β	Işın soğurma düzeltme faktörü
ε	Dedektör verimi
Z	Atom numarası
h	Planck sabiti
t	Numune kalınlığı
N_i (i=α, β)	Spektrumun pik alanı
F_i (i=α, β)	X-ışınlarının geçiş hızı ihtimali

Kısaltmalar	Açıklama
XRF	X-Işınları flüoresans



1. GİRİŞ

X-ışınları elektromanyetik spektrumda ultraviyole ışık ile gama ışınları arasında yer alır. X-ışınları 1895 yılında Alman fizikçi Wilhelm Röntgen tarafından keşfedilmiştir. Bu buluşundan dolayı 1901 yılında Nobel fizik ödülünü almıştır. O zaman ismi bilinmediği için X denilmiştir. Bu buluşunun bütün insanlığın kullanımına açık olması için patent almayı reddetmiştir. X- ışınları gözle görülemez. Görünür ışık gibi doğrusal bir şekilde ilerler, maddelerin içinden geçebilir.

Bir atomdan elektron sökülmesi ile atom uyarılmış olur. Bu uyarma genellikle hızlandırılmış elektronlarla, α parçacıkları, protonlar, fotonlar ile (γ ve X-ışınları) olur. İyonlaşma olarak da bilinen bu olay elektromanyetik radyasyonun madde ile etkileştiği önemli bir olay olup, bu durumda iyonizasyon tesir kesiti bu olayın meydana gelme ihtimalinin bir ölçüsü olarak tanımlanır.

X-ışınlarının, sürekli ve karakteristik olmak üzere iki türü vardır. Bunlar yüklü parçacıkların, atomlar tarafından ivmelenmesi ve uyarılması sonucu meydana gelir. Yüklü parçacıkların yavaşlatılması ve ivmelenmesi sonucu sürekli X-ışınları meydana gelir. Eğer bu olaylar sırasında atomun iç tabakalarından bir elektron sökülerek bir boşluk meydana gelir ve bu boşluk üst yörünge elektronları ile doldurulur ise, iki yörünge arasındaki enerji farkı kadar enerjiye sahip bir foton yayınlanır. İşte bu fotona, karakteristik X-ışını denir. Karakteristik X-ışınları, bir atomun kendine ait bir özelliğidir ve bu ışınlar 10^{-8} sn içerisinde meydana gelerek yayımlanır. Bu X-ışınlarının belli bir enerjide meydana gelme ihtimaliyetlerine, bu ışınların flüoresans tesir kesitleri denir.

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

X-ışını flüoresans verim ise, bir atomun tabaka veya alt tabakasında herhangi bir yolla oluşturulan bir boşluğun ışımalı ya da ışımasız geçişle doldurulması ihtimalidir. Flüoresans verim ve ışımasız geçiş değerlerin, radyasyon sayımının planında, sayaçların kalibre edilmesinde ve birçok uygulamalı mühendislik alanlarında bilinmesi çok önemlidir. X-ışını flüoresans metodu kalite ve miktar analizlerinin tahribatsız olarak yapılmasını mümkün kıldığında geniş bir uygulama alanı vardır. Dolayısıyla madde analizlerinde oldukça önemlidir. Bu metotla yapılan jeolojik ve biyolojik numunelerin analizlerinde, eser elementin tayininde, kimyasal analizlerde ve tıbbi araştırmadaki analizler gibi daha birçok araştırma alanlarında flüoresans verim ile ışımalı ve ışımasız geçiş ihtimallerinin bilinmesi gereklidir.

Bu tez çalışmasında atom numarası $22 \leq Z \leq 35$ arasındaki ^{23}V , ^{24}Cr , ^{26}Fe , ^{27}Co , ^{28}Ni , ^{31}Ga ve ^{33}As elementlerin, K tabakalarının X-ışını flüoresans tesir kesitleri deneysel olarak ölçüldü ve teorik olarak hesaplandı. İkincil kaynak olarak kullanılan Se elementi, ^{241}Am nokta radyasyon kaynağı ile uyarıldı. Bu uyarma sonucu Se elementinde yayınlanan K X-ışınlarının ortalama 11.372 keV'lik enerjisi, uyarma enerjisi olarak kullanıldı. Deneysel çalışmalar sonucu elde edilen tesir kesit değerleri ile K tabakasına ait flüoresans verimleri yarı deneysel olarak hesaplandı. Literatürdeki diğer farklı uyarma enerjisindeki değerler ile karşılaştırmalı bir şekilde verilerek analiz edildi.

2. KAYNAK BİLDİRİŞLERİ

Elementler üzerine farklı enerji ve yöntemlerde, X-ışınları tesir kesit, flüoresans verim, auger verim ve X-ışınları şiddet oranlarının incelenmesi ve tespit edilmesi öneminden dolayı çalışılan konulardır Elementlerin X- ışınları tesir kesitleri ve onlara ait flüoresans-auger verimlerinin ölçülmesi atom fiziği, molekül fiziği, radyasyon fiziğinde, özellikle son zamanlarda tıbbi araştırmalarda oldukça önemlidir. Tıp araştırmalarında, radyasyon ve madde etkileşmeleri sonucu teşhis ve tedavi amaçlı kullanılmaktadır. Bunlar teşhiste görüntüleme ve tedavide de radyasyon doz miktarlarının belirlenmesi açısından oldukça geniş bir araştırma alanına sahiptir. Birçok araştırmacı tarafından yapılan fotoelektrik tesir kesitleri ile ilgili önemli teorik hesaplamalar Scofield'in değerleri, teorik olarak en doğru değerler olarak kabul edilir. Scofield (1973), 1 ile 100 arasındaki elementler için fotoelektrik tesir kesitlerini 1-1500 keV enerji aralığında hesapladı.

Demir ve Sahin, (2013), dış magnetik alanda atom numarası 24 ve 65 arasındaki elementlerin *K* tabakası flüoresans parametrelerini incelemiştir.

Doğan ve ark. (2016), 59.5 keV gama ışınları kullanarak bakır kalay alaşımı içinde bakır ve kalayın X-ışınları flüoresans tesir kesit ve yoğunluk oranları üzerine çalışmışlardır.

Akkuş ve ark. (2017), 59.54 keV de farklı azimutal saçılma açılarında bazı elementlerin *K* X-ışınları şiddet oranlarını deneysel olarak incelemiştir.

Özdemir ve ark. (2002), bazı orta atom numaralı elementlerin X-ışınları üretim tesir kesit ve flüoresans verimleri hakkında çalışmışlardır.

Kup ve ark. (2009), Co ve Cu alaşımlarındaki X-ışınları flüoresans parametrelerinin üzerine alaşımların etkilerini incelemiştir.

Durak ve ark. (1998), 122 keV' de atom numarası $40 \leq Z \leq 70$ arasındaki bazı elementler için *K*- X-ışınları üretim tesir kesitlerini deneysel olarak incelemiştir.

Garg ve ark. (1985), atom numarası $20 \leq Z \leq 56$ arasındaki bazı elementler için K_α ve K_β X-ışınları tesir kesitleri fotonlarla uyarılarak incelemiştir.

Yılmaz (2014), Cr, Mn, Fe ve Co elementlerin 8.5 keV deki K X-ışınları tesir kesitlerini ve flüoresans verimlerini incelemiştir.

Söğüt ve ark. (1995), Cr -Ni ve Cr - Al alaşımlarında X-ışınları şiddet oranları üzerine alaşımanın etkisini incelemiştir.

Budak ve ark. (1999), atom numarası $44 \leq Z \leq 68$ arasındaki elementlerin K X-ışınları flüoresans tesir kesitlerini deneysel olarak incelemiştir.

Rao ve ark. (1993), foton uyarımlı olarak atom numarası $20 \leq Z \leq 60$ arasındaki bazı elementlerin K X-ışınları flüoresans tesir kesitlerini incelemiştir.

Krause ve ark. (1979), 10-60 keV enerji aralığındaki K kabuğu X-ışınlarının flüoresans tesir kesitlerini teoriksel olarak hesaplamıştır.

Yılmaz ve ark. (2015), atomları uyardırma ikincil kaynak kullanarak atom numarası $28 \leq Z \leq 40$ arasındaki bazı elementlerin X-ışınları üretim tesir kesitleri ve flüoresans verimlerini yarı deneysel olarak incelemiştir.

Durak ve ark. (2001), fotoiyonizasyon metodunu kullanarak atom numarası $25 \leq Z \leq 47$ arasında 14 elementin K kabuğu flüoresans ve verimlerini deneysel olarak incelemiştir.

Özdemir ve ark. (2016), sıcaklığa bağı olarak bazı 4d geçiş metallerin K X-ışınları şiddet oranlarını deneysel olarak incelemiştir.

Karabulut ve ark. (1999), 59,5 keV enerjili fotonlarla atom numarası $26 \leq Z \leq 42$ arasındaki elementleri için K_α ve K_β x-ışınları flüoresans tesir kesitlerini deneysel olarak incelemiştir.

Ertuğrul ve ark. (2001), atom numarası $22 \leq Z \leq 69$ arasındaki elementler için 59,5 keV uyarma enerjisinde K_β / K_α şiddet oranlarını deneysel olarak incelemiştir.

Ertuğral ve ark. (2007), 5,9, 59,5 ve 123,6 keV enerjili fotonlarla atom numarası $16 \leq Z \leq 92$ arasındaki elementler için K_β / K_α x-ışınları şiddet oranları incelemiştir.

Hubbel ve ark. (1994), K , L ve daha yüksel atom kabuklarına ait X-ışınları flüoresans verimlerini, tablolar halinde hazırlamışlardır.

Bambynek ve ark. (1972), flüoresans verim, auger verim ve coster-kronig geçiş ihtimalleri üzerine yarı deneysel çalışmalar yapmışlardır.

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

Walters ve ark. (1971), X - ışınları oranları ve K kabuğuna ait flüoresans verimleri üzerine çalışmışlardır.

Kumar ve ark. (1987), atom numarası $23 \leq Z \leq 55$ arasındaki bazı elementler için K X -ışınları flüoresans tesir kesitlerini 8-60 keV enerji aralığında deneysel olarak incelemişlerdir.

Koksal ve ark. (2016), Ti elementinin ve onun bazı bileşiklerinin 5.96 keV enerjide K kabuğu ışınlarının şiddet oranlarını incelemişlerdir.

Arora ve ark. (1981), $28 \leq Z \leq 53$ arasındaki elementlerinin K kabuğu flüoresans verimleri üzerine çalışmışlardır.

Şimşek ve ark. (2002), atom numarası $22 \leq Z \leq 64$ arasındaki elementlerin K kabuğu flüoresans tesir kesit ve flüoresans verimlerini deneysel olarak incelemişlerdir.

Ertuğral, (2007), 123 keV de atom numarası 58 ile 64 arasındaki elementler için K X -ışınları üretim tesir kesit ve verimlerini deneysel olarak incelemişlerdir.



3. GENEL BİLGİ

3.1.Elektromanyetik radyasyon ve madde

Kaynağından itibaren çıkarak doğrusal çizgiler boyunca ilerleyen dalgalar yada parçacık şeklinde yayımlanan enerji radyasyon olarak tanımlanır. α , β , nötronlar, kozmik ışınlar ve elektromanyetik dalgalar bu özelliklere sahiptir. X-ışını spektrumları elektromanyetik radyasyonun küçük bir kısmını teşkil etmektedir. X-ışınlarının dalga boyları $0.05-100 \text{ \AA}$ arasında radyasyona sahiptir. Bir elektromanyetik radyasyonun dalga boyu λ , frekansı ν veya enerjisi E cinsinden tanımlanabilir. Bu nicelikler arasında $\lambda \cdot \nu = c$ olup, c elektromanyetik dalganın hızıdır ve E ile ν arasında $E = h\nu$ bağıntısı mevcuttur, buradaki h ise Planck sabitidir.

Madde ile elektromanyetik radyasyonun her bir etkileşimi, ya tam bir soğurulmaya ya da saçılmaya neden olur. Maddeyle elektromanyetik radyasyonun etkileşmesini tanımlamak için fotonların,

- a) Bağlı atomik elektronlarla
- b) Serbest elektronlarla
- c) Çekirdeklerle

etkileştiğini söyleyebiliriz. Genel olarak bu etkileşmeler, soğurulmaya ve saçılmaya neden olmaktadır.

3.1.1. Soğurulma

X-ışını fotonları, bir madde içine girdiğinde, madde atomunun bağlı elektronları, çekirdeği ve serbest elektronlar ile etkileşirler. Elektromanyetik radyasyonun soğurulması çeşitli olaylar sonucu gözlenmekle beraber bu olayların en baskın olanları fotoelektrik olay ve çift oluşumdur. Bu olayların meydana gelme ihtimali foton enerjisi ile değişmektedir. Çalışmada kullanılan radyoizotop kaynağın enerjisi 59.5 keV olduğundan çift oluşumu mümkün değildir. Çift oluşumunun olabilmesi için foton enerjisi en az 1.02 MeV olması gerekir.

I_0 Şiddetindeki monokromatik bir X-ışını veya γ -ışını demeti bir maddenin t kalınlığını geçtikten sonra şiddetinde bir azalma olur. Bu azalma maddenin kalınlığına ve demetin I_0 şiddetine bağlı olarak

$$I(E) = I_0(E)e^{-\mu t} \quad (3.1)$$

ile verilir. Burada μ lineer soğurma katsayısı olup, birim yüzeyde birim kalınlık başına düşen enerji soğurulması olarak tarif edilir. Burada t cm, g/cm², elektron/cm² olarak alınabileceğinden soğurma katsayısı μ , cm⁻¹, cm²/g, cm²/atom, cm²/elektron olarak alınır.

3.1.2. Kütle soğurma katsayısı ve soğurma kısılları

Bir X-ışını demeti bir soğurucuyu geçerken şiddeti azalır. Azalan şiddetin derecesi saçılmaya ve çeşitli soğurma işlemlerine bağlıdır. Soğurma işlemi Lambert kanunu ile (aynı soğurucu madde içinde eşit yollarda radyasyonun eşit miktarlarda soğurulacağını) açıklanır. t kalınlığındaki bir maddeyi geçen X-ışını demetindeki azalmayı veren (Eş.3.1) bağıntısındaki μ lineer soğurma katsayısı olarak tanımlanmıştır. Fotoelektrik, Compton ve çift oluşumu olayları demetin şiddetinde azalmaya sebep olduğu için lineer soğurma katsayısı ayrı ayrı soğurma katsayılarının toplamına eşittir.

$$\mu = \tau + \sigma + \chi \quad (3.2)$$

şeklinde verilir. Burada τ fotoelektrik soğurma katsayısı, σ Compton soğurma katsayısı ve χ çift oluşumu soğurma katsayısıdır. Lineer soğurma katsayısının yoğunluğa oranı kütle soğurma katsayısı (μ/ρ) olarak adlandırılır. Fotoelektrik, saçılma ve çift oluşumu kütle soğurma katsayılarının toplamı olarak

$$\mu_m = \frac{\mu}{\rho} = \frac{\tau}{\rho} + \frac{\sigma}{\rho} + \frac{\chi}{\rho} \quad (3.3)$$

şeklinde ifade edilir. Burada (τ/ρ) fotoelektrik kütle soğurma katsayısı, (σ/ρ) saçılma kütle soğurma katsayısı, (χ/ρ) ise çift oluşumu kütle soğurma katsayısıdır. Toplam fotoelektrik kütle soğurma katsayısı (τ/ρ) atomun enerji seviyelerine bağlı olarak

$$\left(\frac{\tau}{\rho}\right) = \sum_i \left(\frac{\tau}{\rho}\right)_{E,i} \quad (3.4)$$

şeklinde yazabiliriz. Burada $(\tau/\rho)_{E,i}$, i . elektron seviyesinin ($i = K, L_I, L_{II}, L_{III}, \dots$) E enerjili foton için fotoelektrik kütle soğurma katsayısını göstermektedir, Fotoelektrik etkileşme ihtimali, gelen X-ışınının enerjisi elektronun bağlanma enerjisine ne kadar çok yakın ise o derecede yüksektir. Bundan dolayı, bir elektron seviyesine ait X-ışınları soğurma ihtimali en büyük değerini, atom elektronlarının bağlanma enerjilerine yaklaşık eşit X-ışınları ile bombardıman edilmesi halinde alır.

Bir atomun herhangi bir tabakasından bir elektron sökebilmek için gerekli minimum foton enerjisi, o atomun o tabakasına ait soğurma kıyısı olarak bilinmektedir. Bir atomun alt tabakaları dahil olmak üzere, K kabuğu için bir (K_{ab}), L kabuğu için üç ($L_{Iab}, L_{IIab}, L_{IIIab}$), M kabuğu için beş, N kabuğu için yedi soğurma kıyısı vardır. Her bir elementin soğurma kıyısı enerjisi, dış yörüngelerden içteki yörüngelere doğru gittikçe artar.

3.1.3. Fotoelektrik olay

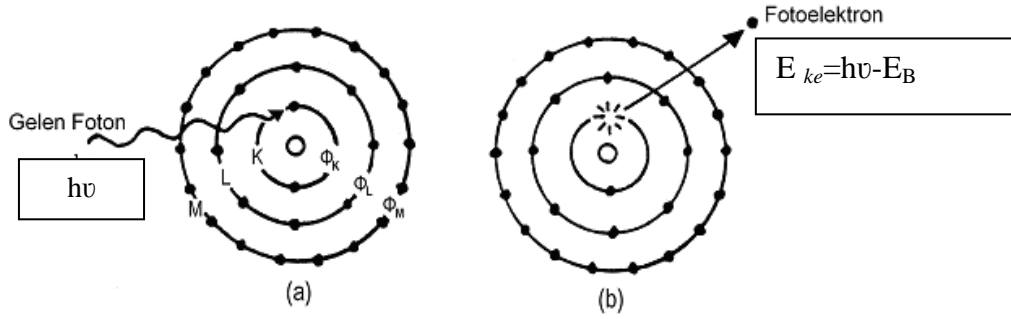
Enerjisi $h\nu$ olan bir fotonun, atomun bağlı elektronlarından biri tarafından soğurularak elektronun serbest hale geçmesi olayına fotoelektrik olayı, sökülen elektrona da foto elektron denir (Şekil 3.1). Bu işlem sırasında foton tamamen soğurulur ve sökülen elektronun kinetik enerjisi

$$E_{ke} = h\nu - E_B \quad (3.5)$$

ile verilir. Burada E_{ke} sökülen elektronun kinetik enerjisi, E_B , yörünge elektronunun bağlanma enerjisi ve $h\nu$, gelen fotonun enerjisidir. Fotonun enerjisi, elektronun

bağlanma enerjisine ne kadar yakın ise fotonun soğurulma ihtimali o kadar büyüktür. Fotonun enerjisi E_B bağlanma enerjisinden uzaklaştıkça fotoelektrik olayın meydana gelme ihtimali azalır.

K kabuğunda oluşturulan boşluk, atomun üst tabaka elektronları tarafından doldurulur. Bu işlem sonucu, iki tabakanın bağlanma enerjileri arasındaki fark kadar enerjiye sahip bir foton yayımlanır. Meydana gelen foton atomu her zaman terk etmez. Bu foton atomun dış tabakalarındaki elektronları tarafından soğurulabilir. Serbest bir elektron, gelen fotonun enerjisini tamamen soğurmadığı için fotoelektrik olay meydana getirmez.



Şekil 3.1. Fotoelektrik olayı.

3.1.4. Tesir kesiti

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

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

A yüzeyine ve dt kalınlığına sahip ince bir levha üzerine I şiddetiyle düşürülen parçacıklar demeti düşünelim. Bu parçacıklar demeti ince levhadan geçerken, bir miktarının madde atomları tarafından azaltılma ihtimali vardır. Eğer σ , bir atomu

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

$$\frac{dN}{N} = \frac{\text{Toplam etkin alan}}{\text{Hedef alan}} \quad (3.6)$$

ifadesi yazılabilir. Bu durumda

$$\frac{dN}{N} = n\sigma dt \quad (3.7)$$

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

$$-\frac{dN}{N} = n\sigma dt \quad (3.8)$$

(3.8) ifadesinin integrali alınırsa,

$$N = N_0 e^{-n\sigma} \quad (3.9)$$

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

$$N = N_0(1 - n\sigma) \quad (3.10)$$

yazılabilir. Bu durumda t kalınlığını geçerken soğurulan parçacıkların sayısı

$$dN = N_0 n\sigma \quad (3.11)$$

İfadesi ile verilir. Buradan tesir kesiti için

$$\sigma = \frac{dN}{N_0 nt} \quad (3.12)$$

genel ifadesi elde edilir.

3.1.5. Çift oluşumu

Çift oluşumu, çekirdeğin etki alanına giren bir fotonun bir elektron ile bir pozitrona dönüşmesi olayıdır. Bu olayın meydana gelebilmesi için eşik enerjisi $2m_0c^2$ yani 1,02 MeV'dir. Elektron ile pozitronun kütleleri birbirine eşit, yükleri ise eşit fakat zıt işaretlidir. Bu olay çekirdek etrafında olduğundan hiçbir korunum ilkesi bozulmuş olmaz. Bu olayda yük, çizgisel momentum ve toplam enerji korunur. Soğurulan enerji,

oluşan çiftin toplam enerjisine eşittir.

$$h\nu = (T_- + m_0c^2) + (T_+ + m_0c^2) \quad (3.13)$$

Burada $h\nu$ gelen fotonunun enerjisi, T_- ve T_+ sırasıyla elektron ve pozitronun kinetik enerjileri, m_0c^2 ise elektronun durgun kütle enerjisidir.

3.1.6. Saçılma

Madde ile etkileşen elektromanyetik radyasyonun enerjisine göre koherent ve inkoherent saçılma olarak iki çeşittir.

3.1.6.1. Koherent saçılma

Koherent saçılma, çoğu kez elastik veya Rayleigh saçılması olarak da bilinir. Gelen fotonun enerjisinde ve fazında bir değişiklik olmadan saçılma olarak tarif edilir. Koherent saçılma; Rayleigh saçılması, Delbrück saçılması Thomson ve Nükleer Rezonans saçılmaları gibi de isimlendirilir.

Rayleigh saçılması, elektromanyetik radyasyonun atoma çok sıkı bağlı elektronlar tarafından saçılmasıdır. Bu olay gelen elektromanyetik radyasyon bağlı bir elektron üzerine düştüğünde, elektronun atomdan sökülecek kadar enerji alamadığı durumlarda meydana gelir. Delbrück saçılması, fotonun atom çekirdeğinin coulomb alanında saçılması olayına denir. Delbrück olayında çekirdek çevresindeki durgun Coulomb alanında bir elektron-pozitron çifti oluşur. Atomun tamamen geri tepmesi ile bu çift yok olur. Böylece hem enerjisi hem de fazı bakımından gelen fotonun aynısı olan yeni bir foton meydana gelir. Thomson saçılması ise tamamen gelen fotonla çekirdek arasında oluşur. Klasik olarak tek yük gibi düşünülebilen çekirdek gelen dalga tarafından salındırılır. Foton ile çekirdek bir çarpışma yapar. Fakat çekirdeğin kütlesi çok büyük olduğundan bu etki çok küçüktür. Nükleer rezonans saçılması da foton ile atomun çekirdeğinin etkileşmesi sonucu gözlenen bir saçılma olayıdır.

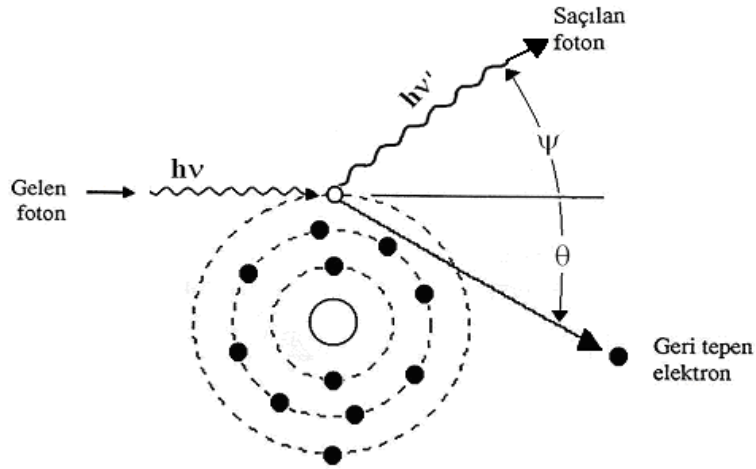
3.1.6.2. İnkohherent saçılma

İnkohherent saçılma olayında, elektromanyetik radyasyonun enerjisinin ancak bir kısmı elektrona transfer edilir. Geri kalan enerji saçılmış foton olarak görülür. Burada gelen ve saçılan fotonların dalga boyları ve fazları birbirinden farklıdır. İnkohherent saçılma, Compton saçılması, Nükleer saçılma ve Raman saçılması olarak üç guruba ayrılır. Bunların arasında en etkin olanı Compton saçılmasıdır.

3.1.6.3. Compton saçılması

Compton saçılması, bir fotonun atoma zayıf bağlı olan elektron ile çarpışmasıdır. Bu olay ışığın tanecikli yapısında olduğunu gösteren önemli bir olaydır. Compton olayının meydana gelmesinde dış tabaka elektronları daha baskındır. Compton olayı öncesinde, gelen fotonun enerjisi, fotonun etkileştiği elektronun bağlanma enerjisinden daha büyüktür. Gelen foton, elektron ile etkileştikten sonra enerjisinin bir kısmını kaybetmiş olarak geliş doğrultusundan sapar. Şekil 3,2'de görüldüğü gibi ψ saçılan fotonun geliş doğrultusuyla, θ ise geri tepen elektronun geliş doğrultusuyla yaptığı açıdır. Bu olayda enerji ve momentum korunur. Saçılan fotonun enerjisi,

$$E' = \frac{E}{1 + \alpha(1 - \cos \psi)} \quad (3.14)$$



Şekil 3.2. Compton olayı.

ifadesi ile verilir. Burada E' , saçılan fotonun enerjisi; E , gelen fotonun enerjisi ve $\alpha = \frac{E}{m_0 c^2}$ dir. m_0 Elektronun durgun kütlesi, $m_0 c^2$ ise elektronun durgun kütle enerjisidir. Saçılmanın serbest ve durgun bir elektrondan olması halinde, geri tepen elektronun enerjisi,

$$E_K = E - \frac{E}{1 + \alpha(1 - \cos \psi)} \quad (3.15)$$

veya

$$E_K = \frac{\alpha E(1 - \cos \psi)}{1 + \alpha(1 - \cos \psi)} \quad (3.16)$$

gelen fotonun enerjisi ile saçılan fotonun enerjisi farkına eşittir.

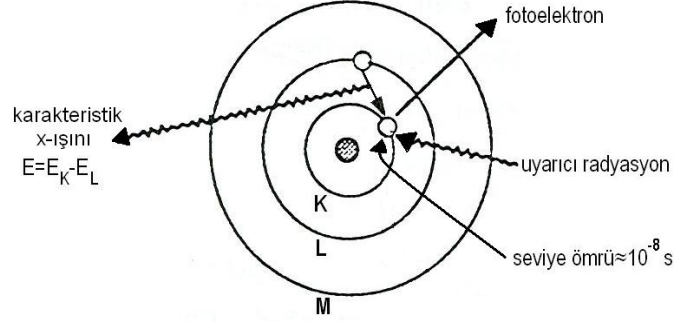
3.2. Karakteristik X-ışınları

3.2.1. Karakteristik X-ışını yayımlanması ve enerji seviyeleri

Bir atomun herhangi bir alt kabuğundan elektron sökülerek uyarıldığında meydana gelen boşluklar, daha üst tabakalardaki elektronlar tarafından $10^{-8} \sim 10^{-9}$ saniye gibi bir zamanda doldurulur. Bu esnada iki yörünge enerji düzeyleri arasındaki fark bir foton olarak yayımlanır. İç tabakalar arasındaki elektron geçişinden yayımlanan bu fotona, o elementin karakteristik X-ışını denir. Karakteristik X-ışınları elementler hakkında bize bilgi verir. Meydana gelen karakteristik X-ışını eğer atomu terk etmeyerek üst tabakalardan bir elektron sökerse bu elektron Auger elektronu olarak yayımlanır.

Bu ışınlar, doğal ve suni olmak üzere iki şekilde meydana gelebilir. Doğal X-ışınları, atom çekirdeği tarafından, K enerji seviyesindeki bir elektronun yakalanması, iç dönüşüm ve β^+ bozulması olaylarıyla meydana gelir. Suni olarak X-ışınları, herhangi bir

yolla atomun uyarılması ile meydana gelir. Karakteristik X-ışını oluşumu Şekil 4.1'de gösterilmektedir.



Şekil 3.3. Karakteristik X-ışını oluşumu.

Sürekli X-ışını spektrumlarının oluşu ise, hızlı yüklü parçacıkların bir elektrik alanı içinde ivmeli olarak hareket ederlerken ani olarak yavaşlatılması veya durdurulması sonucu olarak ışımaya yaparlar. Burada ilk ve son hızları arasındaki enerji farkına eşit enerjide X-ışınları yayarlar. Bu ışımaya, frenleme ışınması manasına gelen “Bremsstrahlung” denir. Aynı zamanda bu ışınlar, X-ışını spektrumlarında sürekli bir bölge oluştururlar, bundan dolayısıyla sürekli X-ışınları olarak adlandırılırlar.

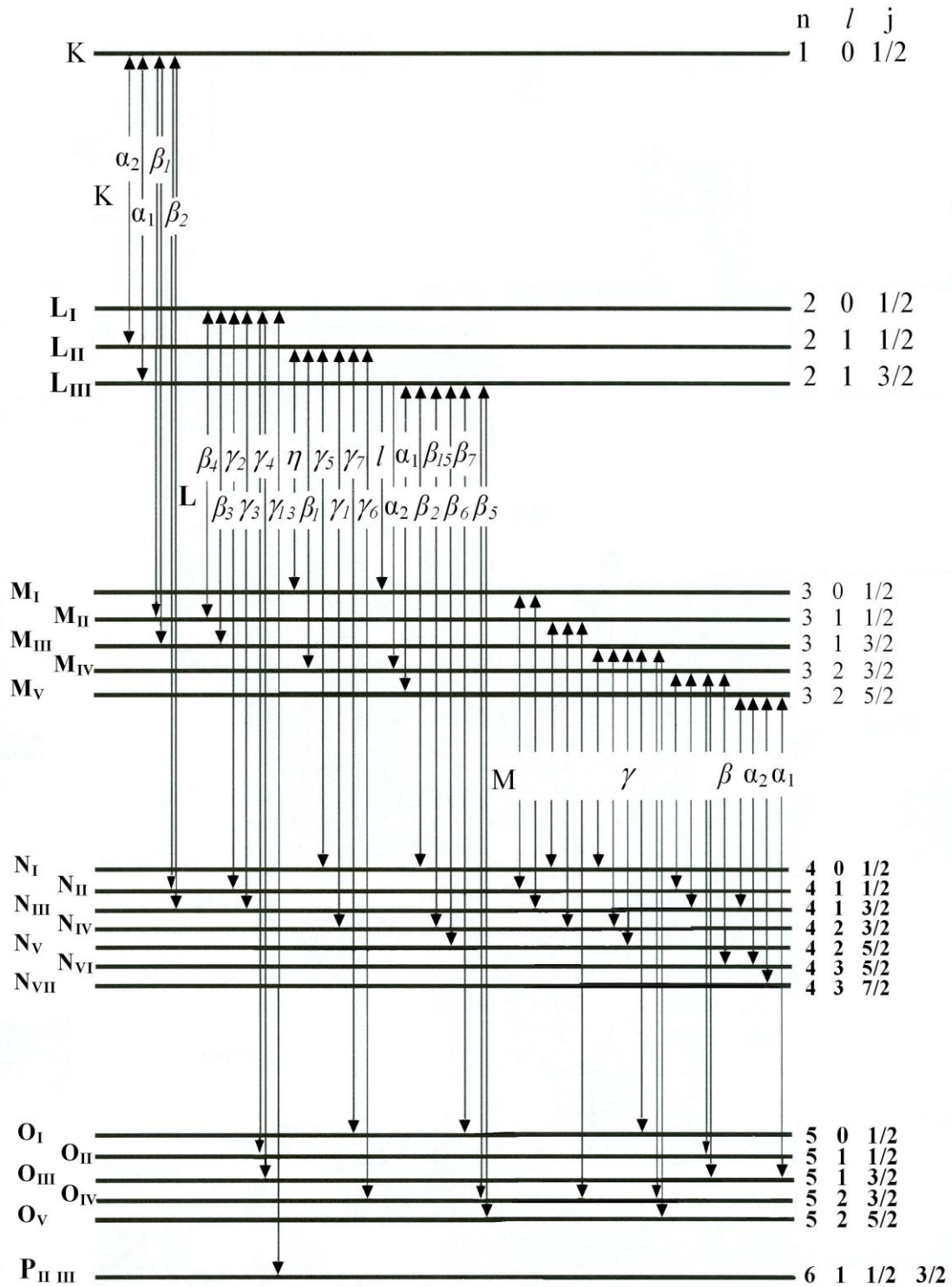
Bir X-ışını demetinin şiddeti, birim alana, birim zamanda düşen enerji olarak tarif edilir. Genellikle cm^2 'ye saniyede gelen enerjidir. X-ışını spektrometre analizinde ise sayım (count) /s olarak verilir.

Bir atomun K tabakasında meydana getirilen elektron boşluğu eğer L tabakasında bulunan bir elektron tarafından doldurulacak olursa, böyle bir elektron geçişi sonucunda yayımlanan fotonun frekansı, karakteristik X-ışını K tabakasına ait K_α çizgisine karşılık gelir. K tabakasındaki boşluk, M tabakasındaki bir elektron tarafından doldurulursa K_β çizgisi, N tabakasındaki elektronlardan biri tarafından doldurulursa K_γ çizgisine karşılık gelen ışınlar yayımlanır. Herhangi bir tabaka veya alt tabakadaki bir boşluk üst tabakalardan bir elektron ile doldurulduğu zaman yayımlanan X-ışınlarının Siegbahn ve IUPAC (International Union of Pure and Applied Chemistry) gösterimleri Çizelge 3.1'de, yaygın olan X-ışını çizgileri ise Şekil 3.4'de şema halinde gösterilmektedir.

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

Çizelge 3.1. X-ışını diyagram çizgilerinin Siegbahn ve IUPAC gösterimleri

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



Şekil 3.4. Yaygın olarak kullanılan enerji seviyeleri ve X-ışını çizgileri.

3.2.2. Atomun yörüngede oluşturulan boşluklara elektron geçişleri

Atomda herhangi bir yolla meydana getirilen boşluk, ışımali ve ışımasız olmak üzere iki geçiş şekliyle doldurulabilir, Her iki durumda da başlangıçtaki iç tabaka boşluğu daha yüksek bir tabakaya veya alt tabakaya aktarılır ve buna ilaveten daha yüksek tabaka boşlukları meydana getirilir. Alt tabakalardan üst tabakalara olan kademeli boşluk geçişleri, tüm boşluklar en dış tabakaya ulaşınca kadar devam eder.

Bohr atom teorisine göre her atom merkezde çekirdek ve çekirdeğin etrafında yörüngelerde dolanan elektronlardan oluşmaktadır. Elektronlar çekirdekten olan uzaklıklarına göre sınıflandırılmıştır. Pauli prensibine göre herhangi bir atomdaki bir elektronun kuantum sayılarında en az birinin diğerlerinden farklı olması gerekir. Her biri belli bir enerji değerine karşılık gelen yörüngelerde bulunan her elektron kuantum sayıları ile tanımlanır. Atomda meydana getirilen boşluklar rastgele elektron geçişleriyle doldurulamaz. Bu geçişler elektrik dipol seçim kurallarına göre olmaktadır. Kuantum sayıları ve seçim kuralları Çizelge 3,2’de gösterilmektedir.

Elektrik dipol geçişinin yasak olduğu yerlerde, diğer yüksek mertebeden geçişler geçerlidir. Seçim kurallarına uygun geçişlere normal veya diyagram geçişleri ve bu geçişler sonucunda meydana gelen çizgilere de normal veya diyagram çizgileri denir. X-ışını spektrumlarında gözlenen flüoresans çizgilerinin çoğu normal çizgiler iken seçim kurallarına uymayan çizgilerde gözlenir. Bu çizgilere yasaklanmış veya non-diyagram çizgiler denir. Bu geçişlerden farklı olarak, Coster-Kronig olarak adlandırılan aynı tabakanın alt tabakaları arasında da meydana gelen geçişlerde mevcuttur.

Çizelge 3.2. Kuantum sayıları

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

3.2.3. Flüoresans verim

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

$$\omega = \frac{\Gamma_R}{\Gamma} \quad (3.17)$$

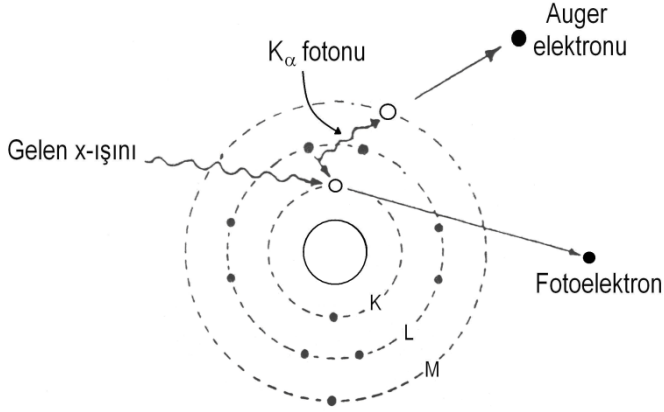
ile verilir. Bir atomda K tabakasında meydana getirilen bir boşluğun karakteristik X-ışını yayımlayarak doldurulması ihtimaline K tabakasına ait flüoresans verim denir. Flüoresans verim,

$$\omega_K = \frac{I_K}{n_K} \quad (3.18)$$

bağıntısı ile verilir. Burada I_K numuneden yayımlanan karakteristik K X-ışınlarının sayısı; n_K ise K tabakasında meydana getirilen boşlukların sayısıdır.

3.2.4. Auger olayı

Atomda herhangi bir yolla, meydana getirilen bir boşluk diğer üst tabaka elektronları tarafından, ışıklı olarak doldurulabildiği gibi ışımaz olarak da doldurulabilir. Auger olayında yayımlanan ışın, atomun üst tabaka elektronlarından birini daha söker ve böylece atom iki defa uyarılmış duruma geçer. Bu olay değişik adlarla ışımaz geçişler ve Auger olayı olarak bilinmektedir. Bu olayda sökülen elektrona Auger elektronu denir. Bu olay Şekil 3.5' de gösterilmiştir.



Şekil 3.5. Auger olayı.

Auger olayının meydana gelme ihtimali a_K , ışımaz geçişlerin sayısı I_{KA} , meydana getirilen boşluk sayısı n_K olmak üzere

$$a_K = \frac{I_{KA}}{n_K} \quad (3.19)$$

ile verilir.

3.3. Atomların foton ve parçacıklarla uyarılması

Atomlar kararlı hallerinde iken en düşük enerji seviyelerinde, yani temel hallerinde bulunurlar. Bir atomu temel durumdan yukarıdaki bir enerji düzeyine uyararak, atomun ışıma yapmasını sağlayan başlıca iki yöntem vardır. Bu yöntemlerden biri, atomun bir başka atom veya parçacıkla çarpışarak enerji soğurmasıdır. Bu yolla uyarılmış bir atom, bir veya daha fazla foton salarak temel duruma döner. Diğer bir yöntem, bir atomun, bir üst enerji düzeyine geçmesine tam yetecek kadar enerjisi olan bir fotonu soğurmasıdır. Atomları karakteristik X-ışınları yayımlamak üzere çeşitli yollarla uyarılabilir.

- Elektronlarla bombardıman,
- Protonlarla, α parçacıkları ve iyonlarla bombardıman,
- Radyoizotop kaynaklardan yayımlanan γ veya X-ışınları ile ışınlama,

- d) Analitin (ilgilenilen elementin) soğurma kıyısından daha kısa dalga boylu spektral çizgiye sahip hedef elementlerden yayımlanan ikincil X-ışınları ile ışınlama, bu ikincil hedefler, X-ışını tüpü veya radyoizotop kaynaktan yayımlanan primer fotonlarla uyarılırlar.
- e) X-ışını tüplerinden yayımlanan primer X-ışınları ile uyarma,
- f) Synchrotron (Sinkrotron) kaynaklarla uyarma,
- g) Self uyarma veya oto uyardır.

Yukarıdaki uyarma kaynaklarına göre, uyardmayı fotonlarla ve parçacıklarla uyarma şeklinde değerlendirmek mümkündür.

3.3.1. Fotonlarla uyarma

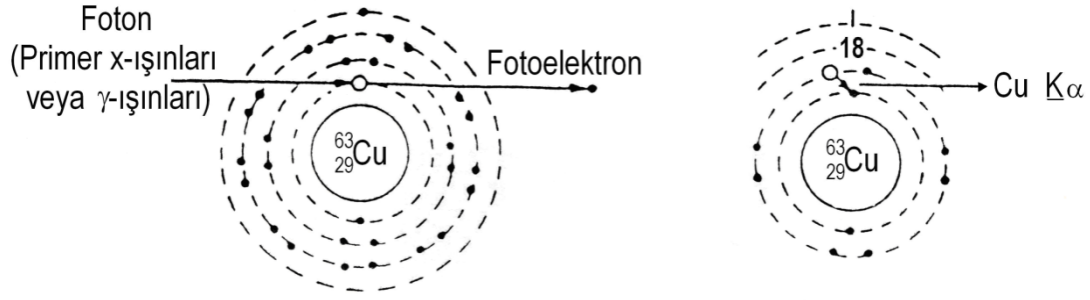
Atomların uyarılmasında kullanılan fotonlar çeşitli kaynaklarla elde edilir. Uyarma kaynak yapısına göre adlandırılır.

3.3.1.1. Radyoizotop kaynaklarla uyarma

Radyoaktif izotop kaynaklarından yayınlanan radyasyon ile maddenin etkileşmesi sonucunda atomlar dört şekilde uyarılır.

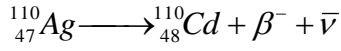
- a) Gama ışını ile uyarma,
- b) β^- bozunumu ile uyarma
- c) İç dönüşüm ile uyarma,
- d) İç çift oluşum ile uyarma.

Madde gama ışınları veya bir X-ışını tüpünden yayımlanan yüksek enerjili fotonlarla ışınlandığında, gelen foton soğurulur ve bu fotonun enerjisi bağlı elektronu sökme ve ona bir kinetik enerji kazandırmada harcanarak, Auger veya flüoresans olayı için boşluklar oluşur (Şekil 3.6).



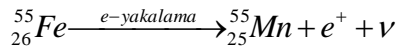
Şekil 3.6. Primer X-ışınları veya γ -ışınları ile uyarma.

Radyoaktif izotop β yayımlaması ile bozulabilir. β parçacığı (hızlı elektron, e^-) yayımlaması bir nötronun bir protona dönüşmesiyle ($n \rightarrow p + e^-$) meydana gelir ve bu olay sonunda β yayımlayan atomun atom numarası bir artar.



reaksiyonuyla verilen ${}^{110}\text{Ag}$ radyoaktif izotopu Cd (Kadmiyum)'a dönüşür ve bu esnada yayımlanan elektron Cd 'un yörünge elektronlarıyla etkileşerek elektronu söker ve yeni elementin (Cd) karakteristik X-ışınları yayımlanır (Şekil 3. 7).

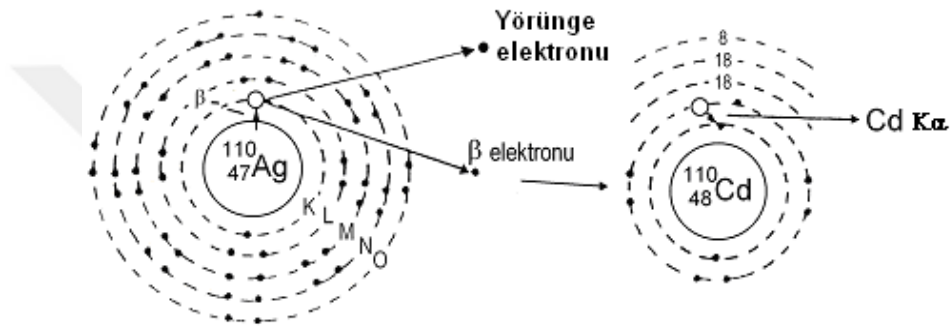
Radyoaktif izotoplar iç-dönüşümle bir yörünge elektronunu yakalayıp bozulabilir. Bu olayda bir K veya L elektronu çekirdek tarafından yakalanır ve bir proton nötrona dönüşür ($p \rightarrow e^+ + n$). Dolayısıyla bu olay sonucunda atomun atom numarası bir azalır. Şekil 3.8'de görüldüğü gibi ${}^{55}\text{Fe}$ izotopu bir K-elektronunu yakalayıp Mn'a dönüşür. Çekirdek tarafından yakalanan elektronun yeri üst tabakadan bir elektronla doldurularak karakteristik X-ışını yayımlanır



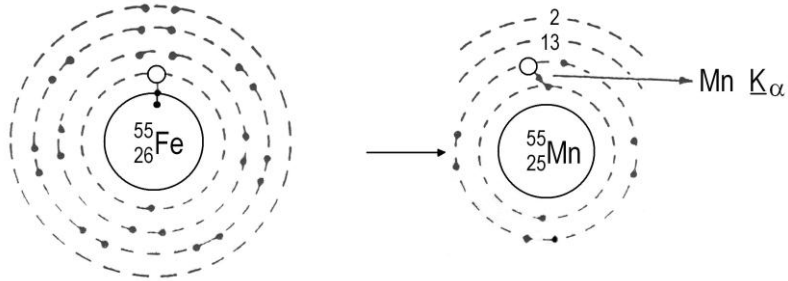
reaksiyonuyla yayımlanan pozitron Manganın yörünge elektronlarıyla etkileşerek çift yok olma meydana gelir ve $E \geq 1,02 \text{ MeV}$ 'lik foton yayımlanır. Yok olan yörünge

elektronunun meydana getirdiği boşluk üst tabakalardan doldurulur ve Manganın karakteristik X-ışını yayımlanır.

Radyoaktif izotoptan yayımlanan γ ışınları hedefin çekirdek kenarından geçerken çift oluşumu meydana gelir. Oluşan elektron yeterli enerjiye sahip ise yörünge elektronunu sökebilir, oluşan pozitron ise yörünge elektronuyla çift yok olma meydana getirerek hedefin elektron konfigürasyonunda boşluklar oluşturabilir. Bunun sonucu hedef karakteristik X-ışını yayımlar.



Şekil 3.7. β^- bozunumu ile uyarma.



Şekil 3.8. Yörünge elektronunu yakalama (e^- -yakalama) ile uyarma.

3.3.1.2. Sürekli fotonlarla (x-ışını tüpleriyle) uyarma

Atomun iç yörünge elektronlarını uyararak için genelde uyarıcı kaynak olarak fotonlar kullanılır. Fotonlar radyoizotop kaynaklardan veya X-ışını tüplerinden elde edilebilirler.

X-ışını tüpünden çıkan radyasyon uyarıda üç şekilde kullanılabilir.

- a) Tüpten çıkan primer ışın hiçbir muameleye tabi tutulmadan doğrudan doğruya numuneyi uyarıma kullanılabilir.
- b) Tüpten çıkan şua filtre edilerek sadece karakteristik çizgilerin numuneyi uyarması sağlanabilir.
- c) Analitin en güçlü (daha fazla şiddetli) soğurma kıyısından daha kısa dalga boylu bir hedef kullanılabilir.

X-ışını tüpleriyle istenilen büyüklükte uyarıcı radyasyon şiddeti elde etmek mümkündür. X-ışını tüplerinin avantajı radyoizotop kaynaklara göre sürekli radyasyon yayımlamaması açısından çevre kirlenmesi etkilerinin azlığıdır. Ancak X-ışını tüplerinin önemli dezavantajları ise çok kararlı güç kaynağına ihtiyaç duymaları ve daha büyük hacim kaplamalarıdır.

3.3.1.3. Sinkrotron ile uyarma

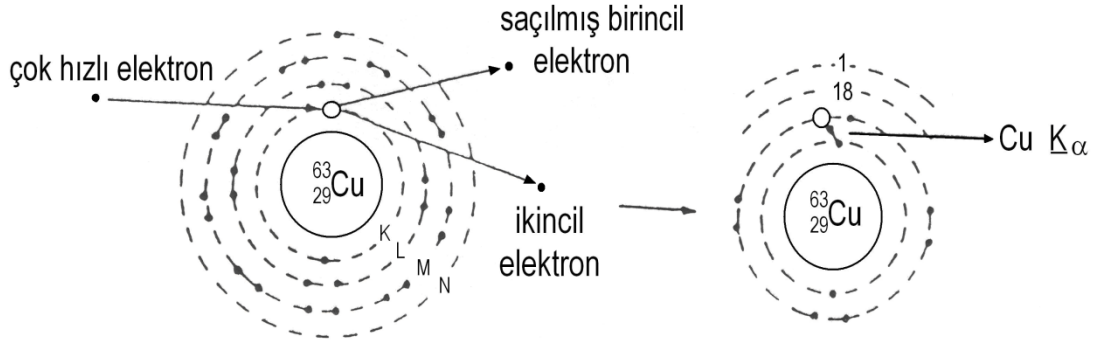
Sinkrotron olayında, birkaç milyar elektron volt (tipik olarak 3 GeV) mertebesinde kinetik enerjili elektronlar veya pozitronlar güçlü bir mıknatısın ($\sim 10^4$ Gauss) kutupları arasında yüksek vakumlu bir tüp içerisinde dairesel bir yörüngede hareket ederler. Düşey bir alan elektronları yatay olarak hızlandırarak sinkrotron radyasyonunun(SR) emisyonuna sebep olur. Böylece sinkrotron kaynak radyasyonu, bir atomun elektronları tarafından yavaşlatılan elektronların meydana getirdiği elektronik frenleme-radyasyonunun (bremsstrahlung) aksine manyetik frenleme-radyasyonu olarak düşünülebilir. X-ışını enerji bölgesinde çok düzgün bir şiddete sahip olmasından dolayı sinkrotron radyasyon karbon, azot ve oksijen gibi düşük atom numaralı elementlerin analizine imkan sağlar. Uygun uyarma için monokromatik (tek-enerjili) şua elde edilebilir. X-ışın şiddeti geleneksel X-ışını kaynaklarından elde edilenden birkaç kat daha büyüktür. Ayrıca SR, transmisyon X-ışın flüoresans tekniğiyle yüzey analizi ve ultra-eser element analizi yapmak için uyarıcı kaynak olarak kullanılabilir.

3.3.2. Parçacıklarla uyarma

X-ışınları, yüklü parçacıkların bombardımanı ile de üretilebilir. Bunlardan elektronlarla, protonlarla ve hızlandırılmış iyonlarla uyarma aşağıda verilmektedir.

3.3.2.1. Elektronlarla uyarma

Elektronlarla uyardırda, çok hızlı elektronlarla madde bombardıman edilerek boşluklar meydana getirilir. Gelen elektron saçılırken atomdan bir elektron sökülür. Saçılan elektrona saçılmış primer elektron, sökülene elektrona da sekonder elektron denir (Şekil 3.9).



Şekil 3.9. Elektronlarla uyarma.

Elektronlarla uyarma metodundaki kararlılık X-ışını tüpüyle uyarma metodundaki kararlılıktan daha düşüktür. Buna karşın elektronla uyarma sisteminde, verilen bir element için saniye başına gerçek sayım, aynı akım ve voltajda çalışılan X-ışını tüpünden daha büyüktür. Bu sistemde kullanılan toplam enerji X-ışını tüpleriyle uyarma sistemlerinde kullanılan toplam enerjiden daha küçüktür.

Elektronlarla uyarma sisteminin avantajları;

- Yüksek uyarma verimi nedeniyle hafif elementler için iyi hassasiyet gösterirler,
- Elektronlar ancak ince yüzey tabakalarından geçebildiklerinden soğurma şiddetlendirme etkileri küçüktür.
- Elektronlar ince filmlerde büyük ölçüde soğurulabildikleri için iyi hassasiyet gösterirler. Oysa X-ışınları, yüzeyden geçmeleri sonucu çok az iyonlaşmaya neden olurlar.

Elektronlarla uyarma sistemlerinin dezavantajları da vardır:

- a) Elektronlar sürekli spektruma sebep olmaları nedeni ile büyük temel sayma verirler.
- b) Elektronların numune derinliklerine nüfuz etmeleri veya numuneden geçme ihtimali çok küçüktür.
- c) Düşük atom numaralı elementler hariç iyi hassasiyet göstermezler.

3.3.2.2. Protonlarla uyarma

Protonlarla uyarmanın, fotonlarla ve elektronlarla uyardan farklı olarak birkaç özelliği vardır. Bunlardan biri, numune tarafından uyarıcı protonlar, foton ve elektronlara kıyasla kolayca yavaşlatılamazlar veya saptırılamazlar; diğeri ise, sürekli spektrum oluşturmazlar ve bunun sonucu olarak da küçük temel sayma verirler.

3.3.2.3. Hızlandırılmış iyonlarla uyarma

İyon bombardımanı ile X-ışınları üretilebilir. İyon hızlandırıcı sistemlerin bazı tipleri, vakum içerisinde hedefe doğru yöneltilen yaklaşık 10 keV ile 10 MeV enerjili iyon demetleri üretirler. Böyle bir sistemin üretim verimi diğeri uyarıcı sistemlerin üretim verimine göre daha küçüktür. Fakat X-ışını üretim verimi iyon enerjisinin artmasıyla artar.



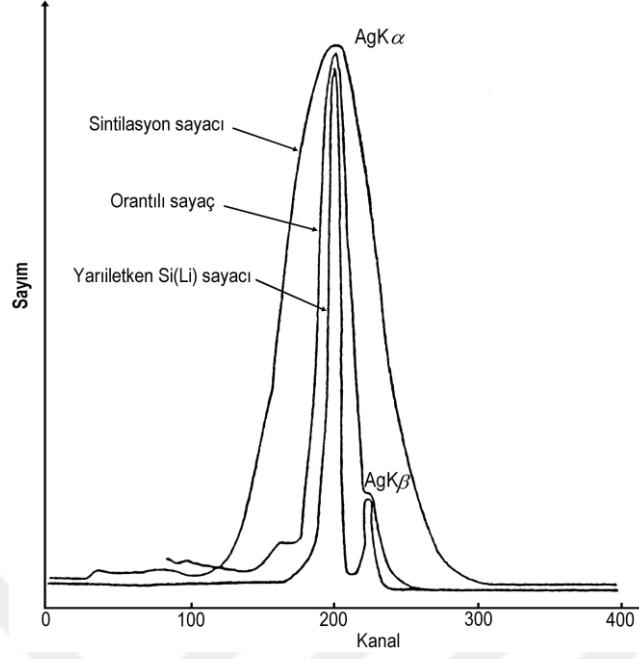
4. MATERYAL VE METOD

4.1. Ölçümler ve Hesaplamalar

Bu bölümde çalışma deneysel ve teorik kapsamlı olduğu için konu ile ilgili bilgiler verdikten sonra, hem deneysel hem de teorik hesaplamalar hakkında bilgi verilmektedir.

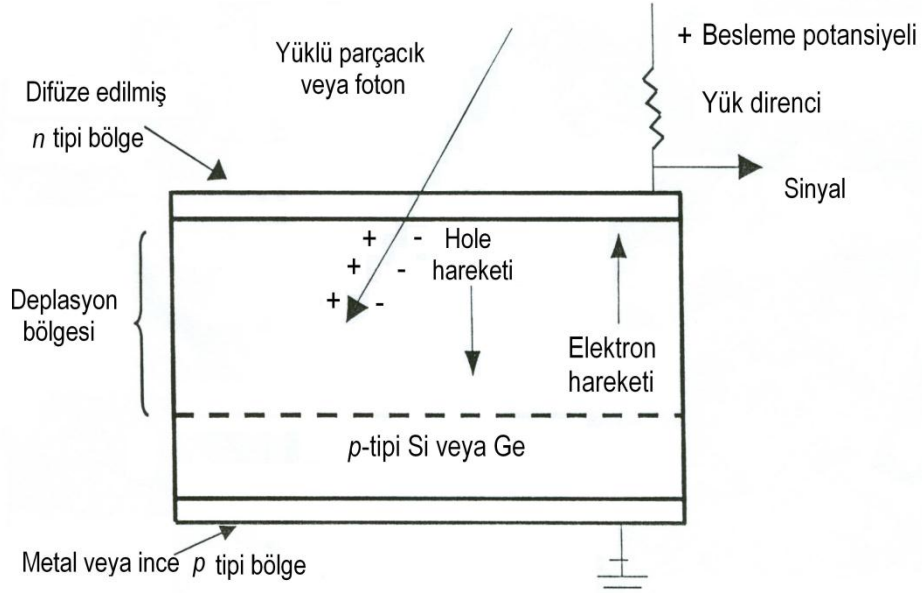
4.1.1. Karakteristik x-ışınlarının ölçümlerinde kullanılan yarı iletken dedektörler ve çalışma prensibi

Bu çalışmalarda sağlıklı veriler elde edebilmek için sayımların yapıldığı dedektörler önem arz etmektedir. Şöyle ki elde edilen foton sayılarının herhangi bir şekilde değişikliğe uğramadan dedektör tarafından sayılması, dedektörün pikleri ayırma gücüne bağlı olarak net sayması bakımından önemlidir. Deneysel çalışma açısından karakteristik X-ışınlarının hem enerjileri birbirine yakın hem de, genel olarak düşük enerji bölgesinde yer alırlar. Bundan dolayı, yapılan araştırmalar için dedektör seçiminde; duyarlı olduğu enerji bölgesine ve ayırma gücü gibi faktörlere dikkat edilir. Şekil 4,1'de enerji ayırmalı X-ışını spektroskopisinde ayırma gücü en yüksek dedektörün yarı iletken olduğu görülmektedir.



Şekil 4.1. Bazı dedektörlerin ayırma güçleri.

X-ışını şiddet ölçümlerinde en önemli gelişmelerden birini lityum katkılanmış katı hal dedektörlerinin yapılması teşkil eder. Lityum katkılanmış katı hal dedektörü pozitif ve negatif (p-tipi ve n-tipi) bölgeleri arasında içsel (i-tipi) bölgeye sahip bir kristalden ibarettir. Dolayısıyla böyle bir sayaç p-i-n tipi bir diyottur. Sürüklenme bölgesi, p-tipi germanyuma uygun şartlar altında lityum katkıları ile elde edilir. Dedektör yüzeyinin ince p-tipi tabakası aktif değildir. Sayma (dedeksiyon) işleminde aktif rol almayan bu tabakaya dead-layer (ölü tabaka) denir. Şekil 4,2’de görülen dedektörün, en önemli iki fiziksel özelliği kalınlığı ve alanıdır. Sayım için önemli bir faktör olan geometrik verimlilik, dedektör alanı arttıkça artar. Ancak bu, ayırma gücünü azaltır. Soğurma verimliliği de dedektör kalınlığı arttıkça artar.



Şekil 4.2. Yarı iletken dedektörün şematik gösterimi.

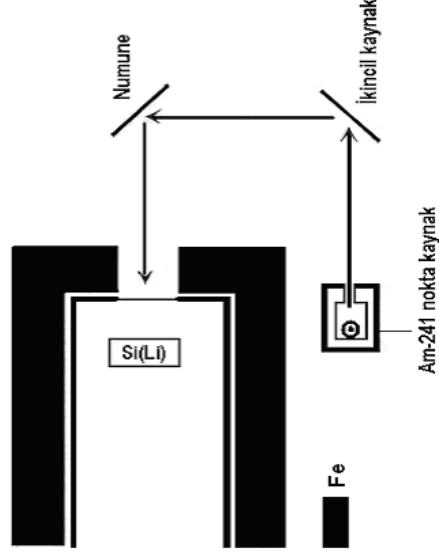
Kullandığımız Si(Li) dedektörünün aktif alanı 12 mm^2 ve kalınlığı 3 mm 'dir. Elektrotlar, lityum katkılanmasıyla elde edilen silisyum yüzeyine yaklaşık 200 \AA kalınlığında altın buharlaştırılarak elde edilir. Dedektör, en uygun ayırma gücünü elde etmek ve gürültüyü azaltmak için sıvı azot sıcaklığında (-196°C) tutulmalıdır. Bunun için sayaç 30lt sıvı azot alabilecek bir kaba (dewar) yerleştirilmiştir. Dedektör dış ortamdan gelebilecek yüzey kirlenmesini önlemek ve kristali vakumda tutmak için 25 \mu m kalınlığında berilyum pencere ile koruma altına alınmıştır. Enerjili bir foton sayacın aktif bölgesine düştüğünde silisyum atomlarını iyonlaştırır. Foton, enerjisinin tamamını foto elektronlara verir. Foto elektron, enerjisi bitinceye kadar yolu boyunca elektron-boşluk çifti oluşturarak dedektör içinde hareket eder. Si(Li) dedektörüne yaklaşık 500voltluk ters besleme potansiyeli uygulanır. Meydana gelen elektrik alan, fotonların oluşturduğu elektron-boşluk çiftlerini toplar. Sonuçta dedektör içine gelen fotonun enerjisi ile orantılı sayıda elektron-hole çifti oluşur. Ters beslenmeden dolayı elektronlar n-tipi bölgeye, boşluklar ise p-tipi bölgeye yönelirler, p ve n-tipi bölgelerde elektrik alan vasıtasıyla toplanan yükler, ilgili elektronik devreler tarafından akım pulsundan potansiyel pulsuna dönüştürülür. Deney sisteminde kullanılan elektronik sistem vasıtasıyla potansiyel pulsuna, puls yükseklik analizöründe enerjisine karşılık gelen kanala yerleştirilir.

4.1.2. Deney numunelerin hazırlanması

Deneysel çalışmada numunelerin hazırlanmasında çevre şartlarının temizliği önem taşımaktadır. Hazırlanan numunelerin saflığını korunması için önemlidir. Yapılan çalışmada, spektrumlarını incelediğimiz hedef numuneler toz halinden hazırlandı. Toz numuneler parçacık büyüklüğü ve soğurma etkisini en aza indirmek için Spex el havanında iyice öğütüldü ve 400 mesh'lik eleklerde elendi. Spex mikserinde 10 dakika karıştırıldıktan sonra Beckman presinde 2 ton basınç altında preslenerek 13 mm çaplı tabletler elde edildi. Hazırlanan numunelerin kütleleri, 10^{-5} g hassasiyete sahip bir terazi kullanılarak tespit edildi. Yapılan numuneler deney geometrisinde hep aynı şartlarda konum ve pozisyon olarak kullanılmıştır.

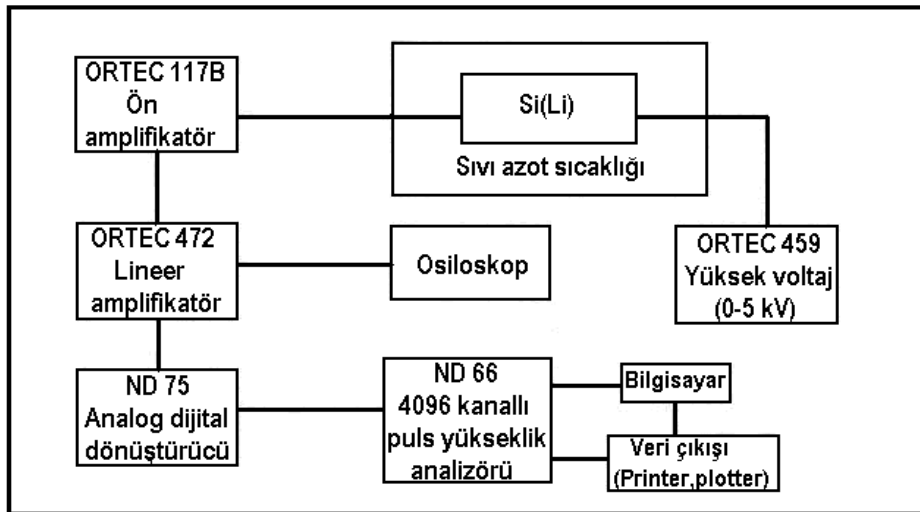
4.1.3. Karakteristik X-ışınlarının sayılması ve deney geometrisi

Bu çalışmada, birincil uyarıcı kaynak (^{241}Am nokta kaynak, ikincil uyarıcı (^{34}Se) ve hedef elementlerin konumları ile belirlenen deneylerin yapım süreci boyunca, çalışmanın daha sağlıklı yapılabilmesi için oluşturulan geometrik düzenek ve çevre şartlarının elverişliliği, deneysel çalışma boyunca kullanılan geometri Şekil 4.3'de gösterildi. Spektrumların alınmasında kullanılan deney sistemine ait blok diyagram ise Şekil 4,4'de görülmektedir. Radyoaktif kaynaktan yayımlanan radyasyonun kolime edilmesinde en uygun elementlerden biri kurşundur. Ancak radyoaktif kaynak ışınlarının kurşunu uyarması sonucu, kurşundan yayımlanan karakteristik X-ışını hem numuneyi uyarabilmekte hem de spektrum içerisinde istenmeyen pikler oluşturabilmektedir. Bu durumun önlenmesi için demir kolimatör kullanıldı. Böylece numuneyi sadece radyoaktif kaynaktan çıkan radyasyonların uyarması sağlandı. Aynı özelliğe sahip bir başka kolimatör de dedektörün Be penceresi önüne yerleştirilerek, dedektör istenmeyen radyasyona karşı koruma altına alındığı gibi sayaç kristalinin kenar bölgelerinin sayma işlemlerindeki olumsuz etkileri de azaltıldı.



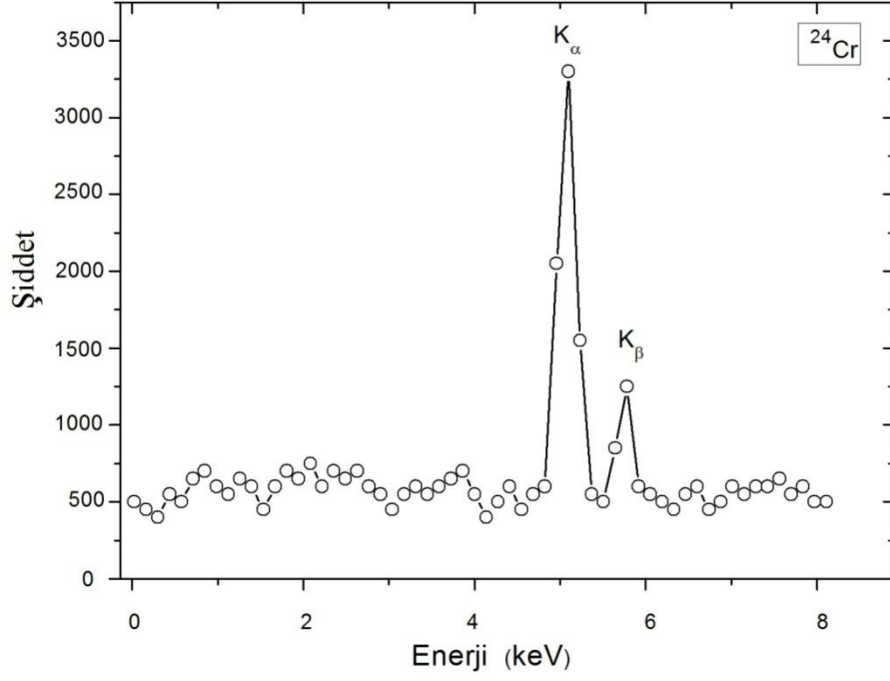
Şekil 4.3. Deney geometrisi.

Numunelerden yayımlanan karakteristik X-ışınlarının sayılmasında kullanılan Si(Li) dedektörünün yarı maksimumdaki tam genişliği (ayırma gücü) 5,9 keV'da 160 eV tur. Si(Li) dedektörün'den çıkan pulslar başlangıçta bir ön amplifikatörde daha sonra bir lineer amplifikatörde büyütülerek bir analog dijital dönüştürücü vasıtasıyla 4096 kanallı bir ND66B puls yükseklik analizörüne gönderildi. Bu pulslar analizörün 1024 kanalına kaydedilerek incelenen elementin K_{α} veya K_{β} X-ray spektrumları elde edildi. Bu spektrumları alanlarındaki birim zamandaki foton sayısı denklem 4.1 de yerine konularak yarı deneysel olarak K tabakasına ait ışınların tesir kesitleri ölçüldü.

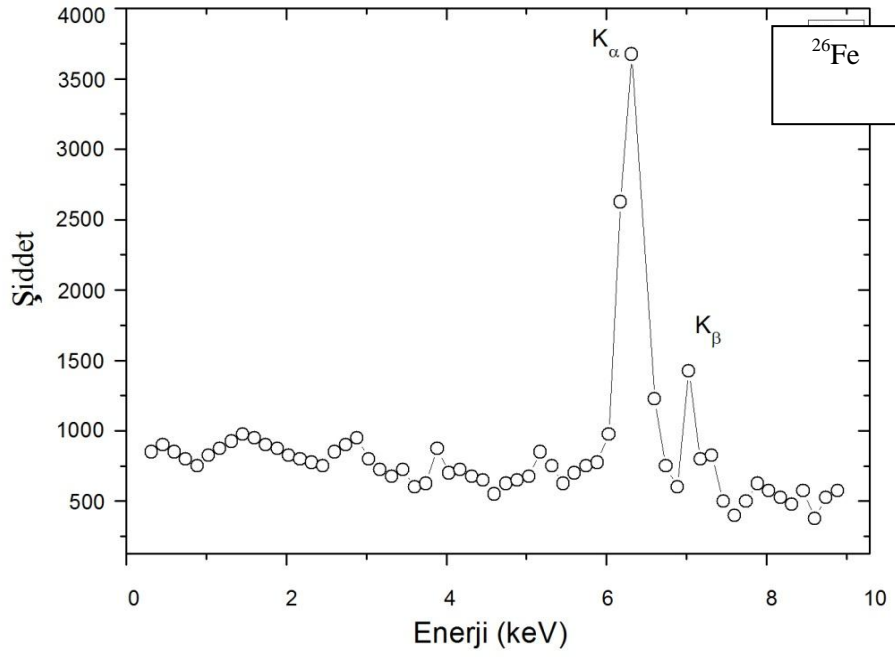


Şekil 4.4. Deney sisteminin blok diyagramı.

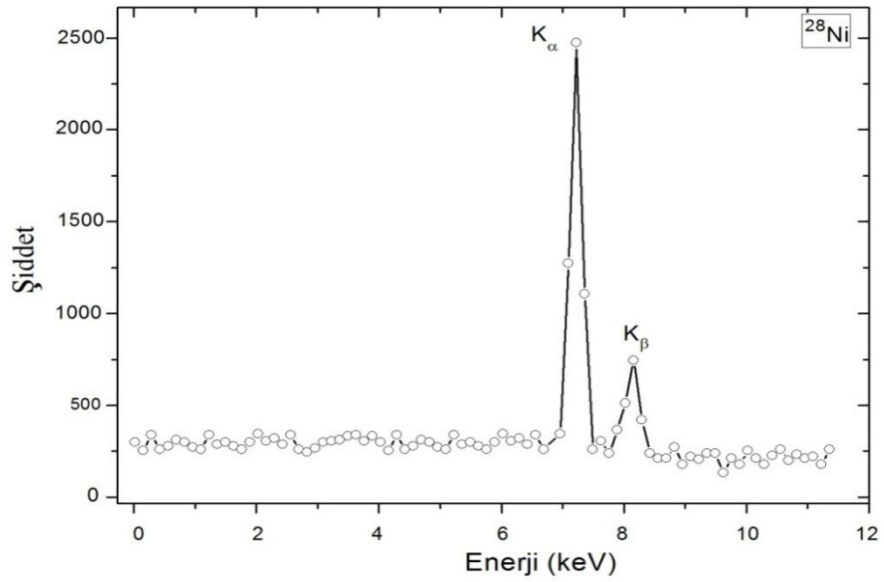
Bu çalışmada elde edilen ^{24}Cr , ^{26}Fe , ^{28}Ni , ^{31}Ga ve ^{33}As elementlerine ait K X-ışını spektrumları Şekil 4.5, Şekil 4.6, Şekil 4.7, 4.8 ve 4.9' da görülmektedir.



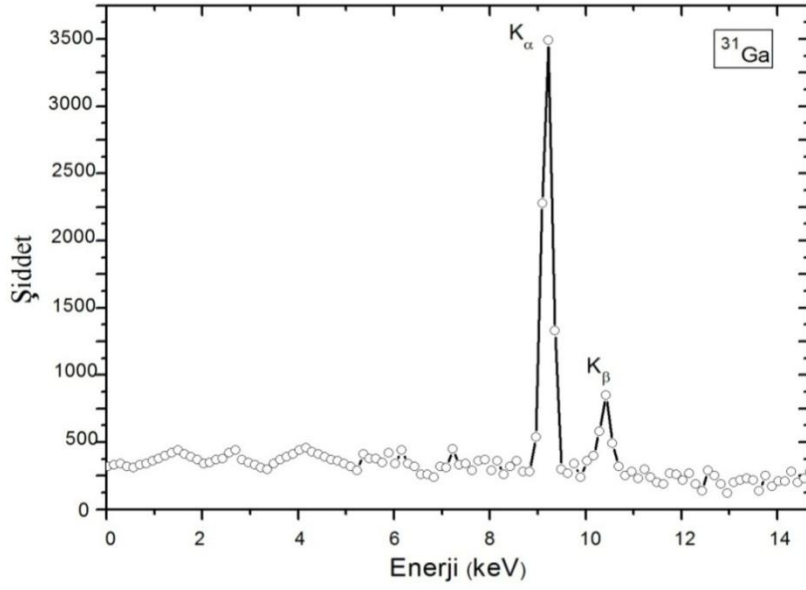
Şekil 4.5. ^{24}Cr elementine ait spektrum



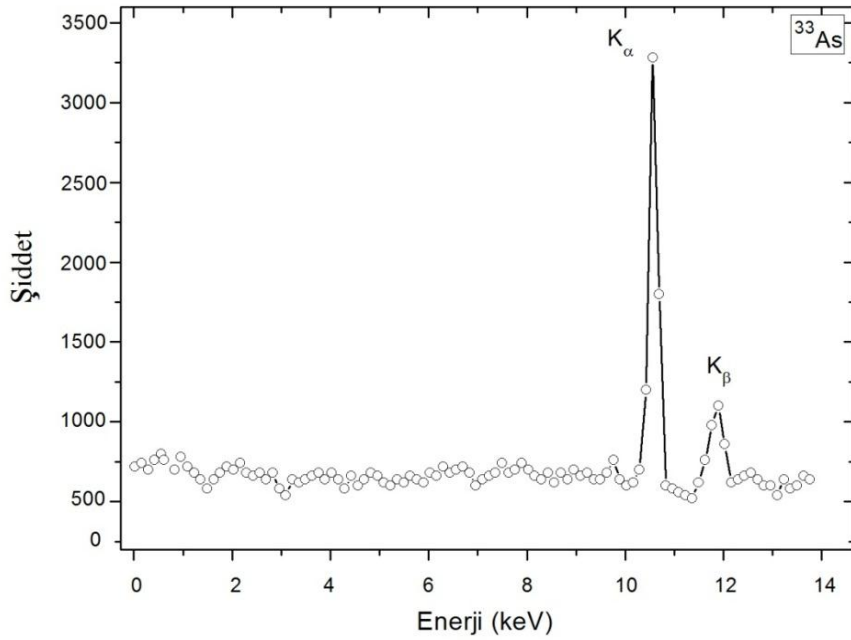
Şekil 4.6. ^{26}Fe elementine ait spektrum



Şekil 4.7. ^{28}Ni elementine ait spektrum



Şekil 4.8. ^{31}Ga elementine ait spektrum



Şekil 4.9. ^{33}As elementine ait spektrum.

Elde edilen spektrumların alanlarının ölçülmesi ise spektrum piklerinin, sağ ve sol tarafında bulunan kanallardaki sayıların ortalaması bulunup, bu sayıya sahip kanal pik sınırı seçilerek piklerin alanı ölçüldü. Elde edilen veriler birim zamanda sayılan foton sayısı olarak değerlendirildi.

4.1.4. *K* X-ışını flüoresans (*K*-XRF) tesir kesitlerinin deneysel ölçümleri

Bu deneysel çalışmada, kullanılan $22 \leq Z \leq 35$ arasındaki ^{23}V , ^{24}Cr , ^{26}Fe , ^{27}Co , ^{28}Ni , ^{31}Ga ve ^{33}As elementlerinin X-ışınları tesir kesitleri ölçülmüştür. Ölçümlerin yapılabilmesi için Şekil 4.3. deney geometrisinde görüldüğü gibi ikincil kaynak olarak kullanılan ^{34}Se elementi, birincil kaynak olarak görülen, ^{241}Am nokta kaynaktan yayımlanan 59.5 keV enerjili fotonlar tarafından fotoiyonizasyona maruz kalmıştır. Bu olay sonucu ^{34}Se elementinden yayımlanan karakteristik X-ışınları Si(Li) dedektörü tarafından sayılarak spektrumlar elde edilmiştir. Buradaki ölçümler kullanılarak elde edilen tesir kesit değerleri, teoriksel fotoiyonizasyon tesir kesitleri ve K_α veya K_β X-ışınlarını meydana gelme olasılıkları kullanılarak *K* tabakasına ait flüoresans verimlerin yarı deneysel olarak tespit edilmiştir.

Deneysel olarak *K* X-ışını flüoresans tesir kesitleri (Durak ve ark.,1998).

$$\sigma_{Ki} = \frac{N_{Ki}}{I_0 \varepsilon G t_i \beta} \quad (4.1)$$

Denklemini kullanılarak hesaplanır. Burada N_{Ki} , ($i=\alpha, \beta$) birim zamanda ölçülen karakteristik *K* X-ışınları sayısı, I_0 numuneye birim zamanda gelen foton şiddeti (uyarıcı radyasyonun şiddeti), ε dedektör verimidir. G , kaynak, numune ve sayacın konumuna bağlı geometrik faktördür. t ise numunenin kalınlığı olup tartılan numune miktarının numune alanına bölümüdür ve birimi g/cm^2 'dir. β ise gelen fotonlar ile yayımlanan karakteristik X-ışınlarının numunede soğurulmalarını hesaba katan öz soğurma düzeltme faktörüdür ve (Durak ve ark., 1998).

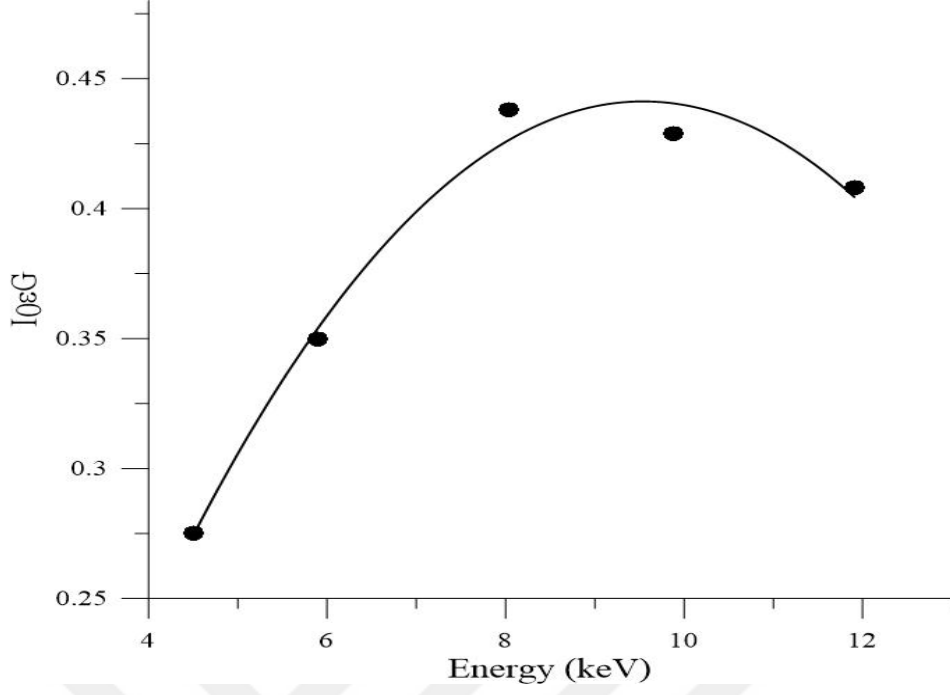
$$\beta = \frac{1 - \exp\left[-\left(\frac{\mu_p}{\cos \theta_1} + \frac{\mu_e}{\cos \theta_2}\right)t\right]}{\left[\frac{\mu_p}{\cos \theta_1} + \frac{\mu_e}{\cos \theta_2}\right]t} \quad (4.2)$$

İle verilir. Burada μ_p , hedef elementin uyarma radyasyon enerjisindeki kütle soğurma katsayısıdır. Aynı şekilde μ_e ise, yayımlanan radyasyon enerjisindeki kütle soğurma katsayılarıdır. Hubbell ve Seltzer'in (1995) tablosu kullanılarak $\ln \mu$ 'ye karşı $\ln E$ 'nin çizilen doğrusal grafiğinden ilgili enerji için μ_p ve μ_e elde edildi. θ_1 ve θ_2 ise sırasıyla numune yüzeyinin normaline göre gelen fotonların ve yayımlanan karakteristik X-ışınlarının yaptıkları açıdır. Kullanılan deney düzeneğinde θ_1 ve θ_2 45^0 olarak alındı.

X-ışını spektroskopisi çalışmalarında, dedektör verimliliğinin bilinmesi ve verimlilik eğrisinin belirlenmesi gerekmektedir. Deney süresince $I_0G\epsilon$ faktörünü sabit tutmak için deney geometrisi değiştirilmedi. $I_0G\epsilon_K$ değerinin tayininde dedektör verimlilik eğrisinin belirlenmesinde,

$$(I_0\epsilon G)_{Ki} = \frac{N_{Ki}}{\beta_{Ki}t_i\sigma_{Ki}} \quad (4.3)$$

denklemleri kullanılarak elde edilir. Dedektör verimini tayin etmek için kullanılan elementler ^{22}Ti , ^{24}Mn , ^{29}Cu , ^{32}Ge ve ^{34}Br . Dedektör verimi bu elementlerin K_α X-ışınlarının birim zamandaki sayımı (N_{Ki}), β_{Ki} , t ve σ_{Ki} değerleri kullanılarak tespit edildi. Dedektör verimi ile ilgili grafik Şekil 4.10'da verilmektedir.



Şekil 4.10. Dedektör verim eğrisi.

4.1.5. Tesir kesitlerinin teorik hesaplamaları

Teorik olarak K tabakasına X-ışını flüoresans tesir kesitlerinin değerleri ise aşağıdaki denklemler kullanılarak hesaplanır (Durak ve ark. , 1998).

$$\sigma_{K\alpha} = \sigma_K^P \omega_K F_{K\alpha} \quad (4.4)$$

$$\sigma_{K\beta} = \sigma_K^P(E) \omega_K F_{K\beta} \quad (4.5)$$

Burada (Eş.4.4) ve (Eş.4.5) denklemlerindeki , σ_K^P , K tabakasına ait uyarma enerjisindeki fotoelektrik tesir kesiti olup Scofield'in (1973) tablosundan alındı). ω_K , K tabakası flüoresans verimi olup Krause'nin (1979) tablosundan alınmıştır. F_{Ki} ise K tabakasından K_α veya K_β X-ışınlarının yayılım hızıdır. Bu ise,

$$F_{K_i} = \left(1 + \frac{I_{K\beta}}{I_{K\alpha}}\right)^{-1} \quad (4.6)$$

denklemleri ile verilir (Durak ve ark.,1998). Burada $I_{K\beta}/I_{K\alpha}$ şiddet oranlarını vermektedir. Bu değerler Scofield' in (1974) tablosundan alındı



5. BULGULAR VE TARTIŞMA

5.1. Deneysel olarak incelenen numunelerin, ölçülen deneysel ve hesaplanan teoriksel K X-ışını flüoresans tesir kesitleri

Bu deneysel çalışmada kullanılan $22 \leq Z \leq 35$ arasındaki ^{23}V , ^{24}Cr , ^{26}Fe , ^{27}Co , ^{28}Ni , ^{31}Ga ve ^{33}As elementlerin K X-ışınları tesir kesitleri ölçülmüştür. Deneysel olarak kullanılan hedef elementlerin ve kullanılan İkincil kaynağın özellikleri Çizelge 5.1'de verilmektedir.

Çizelge 5.1. Uyarıcı Kaynak ve Çalışmada kullanılan numunelerin özellikleri

İkincil Uyarıcı Element			Hedef Element		
Element	Şekli	Parçacık Büyüklüğü (mesh)	Element	Şekli	Parçacık Büyüklüğü (mesh)
			^{23}V	Toz	$400 \leq$
			^{24}Cr	Toz	$400 \leq$
^{34}Se	Toz	$400 \leq$	^{26}Fe	Toz	$400 \leq$
			^{27}Co	Toz	$400 \leq$
			^{28}Ni	Toz	$400 \leq$
			^{31}Ga	Toz	$400 \leq$
			^{33}As	Toz	$400 \leq$

* Kalınlık (g/cm^2)

Bu çalışmada, incelenen elementlerin deneysel olarak spektrumlarındaki, birim zamanda sayılan foton sayısı, denklem 4.1 de kullanılarak yarı deneysel olarak K tabakasına ait X-ışınlarının tesir kesitleri ölçüldü. Ölçümler sonucu elde edilen deneysel tesir kesit değerleri, Çizelge 5.2 ve Çizelge 5.3'de (barns /atom) biriminden

verilmektedir. Aynı zamanda, denklem 4.4 ve 4.5 kullanılarak aynı elementlerin teoriksel olarak K X-ışınları tesir kesit değerleri de Çizelge 5.2 ve Çizelge 5.3’de verilmektedir.

Çizelge 5.2. Deneysel ve Teorik K_{α} X- ışını tesir kesitleri (barns/atom)

Element	Uyarma Enerjisi (keV)	Deneysel Çalışma	Teoriksel Değerler
^{23}V	11.372	1357±095	1393.061
^{24}Cr	11.372	1763±110	1833.954
^{26}Fe	11.372	2911±180	2977.649
^{27}Co	11.372	3790±184	3713.109
^{28}Ni	11.372	4686±246	4559.490
^{30}Zn	11.372	6721±356	6610.239
^{31}Ga	11.372	7687±542	7874.763
^{33}As	11.372	8114±498	8272.348

Çizelge 5.3. Deneysel ve Teorik K_{β} X- ışını tesir kesitleri (barns/atom)

Element	Uyarma Enerjisi (keV)	Deneysel Çalışma	Teoriksel Değerler
^{23}V	11.372	157±05	161.700
^{24}Cr	11.372	202±14	211.293
^{26}Fe	11.372	348±17	359.436
^{27}Co	11.372	458±27	451.954
^{28}Ni	11.372	567±32	558.988
^{30}Zn	11.372	829±43	819.592
^{31}Ga	11.372	979±64	998.785
^{33}As	11.372	1106.±63	1134.1790

Bu deneysel çalışmadan elde edilen tesir kesitleri kullanılarak, flüoresans verimleri deneysel olarak ölçüldü. Literatürdeki deneysel, teorik ve yarı deneysel fit değerleri ile karşılaştırmalı bir şekilde Çizelge 5.4, Çizelge 5.5 ve Çizelge 5.6'da verilmektedir.

Çizelge 5.4. Deneysel flüoresans verimleri(ω_K)

Element	Deneysel Çalışma	Şimşek (2002)	Durak (2001)
^{23}V	0.237±0.006	0.240	----
^{24}Cr	0.266±0.017	0.291	----
^{26}Fe	0.332±0.018	0.331	0.330±0.005
^{27}Co	0.380±0.022	0.355	0.412±0.015
^{28}Ni	0.417±0.028	0.448	----
^{30}Zn	0.481±0.030	0.482	0.482±0.032
^{31}Ga	0.498±0.029	----	----
^{33}As	0.551±0.034	----	0.605±0.032

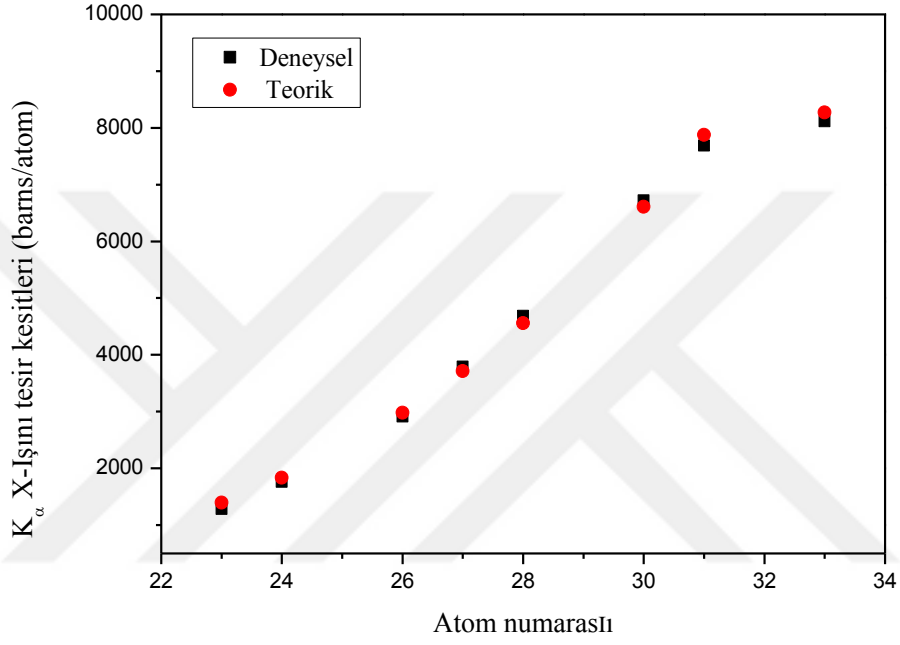
Çizelge 5.5. Deneysel flüoresans verimler(ω_K) ile bazı teoriksel değerler.

Element	Deneysel Çalışma	Walters (1971)	Kostroun (1971)
²³ V	0.237±0.006	0.260	0.243
²⁴ Cr	0.266±0.017	---	---
²⁶ Fe	0.332±0.018	0.362	0.344
²⁷ Co	0.380±0.022	0.397	0.379
²⁸ Ni	0.417±0.028	0.432	0.414
³⁰ Zn	0.481±0.030	0.501	0.482
³¹ Ga	0.498±0.029	----	----
³³ As	0.551±0.034	0.594	0.574

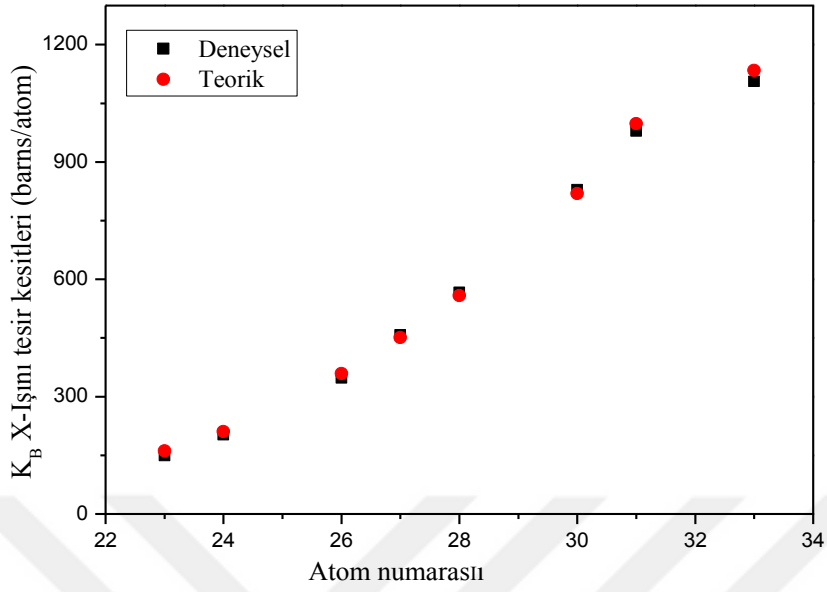
Çizelge 5.6. Deneysel flüoresans verimler(ω_K) ile yarı deneysel fit değerleri.

Element	Deneysel Çalışma	Bambynek (1972)	Hubbell (1994)	Krause (1979)
²³ V	0.237±0.006	0.249	0.256	0.243
²⁴ Cr	0.266±0.017	0.281	0.289	0.275
²⁶ Fe	0.332±0.018	0.347	0.355	0.340
²⁷ Co	0.380±0.022	0.381	0.388	0373
²⁸ Ni	0.417±0.028	0.414	0.421	0.406
³⁰ Zn	0.481±0.030	0479	0.486	0.474
³¹ Ga	0.498±0.029	0.510	0.517	0.507
³³ As	0.551±0.034	0.568	0.575	0.562

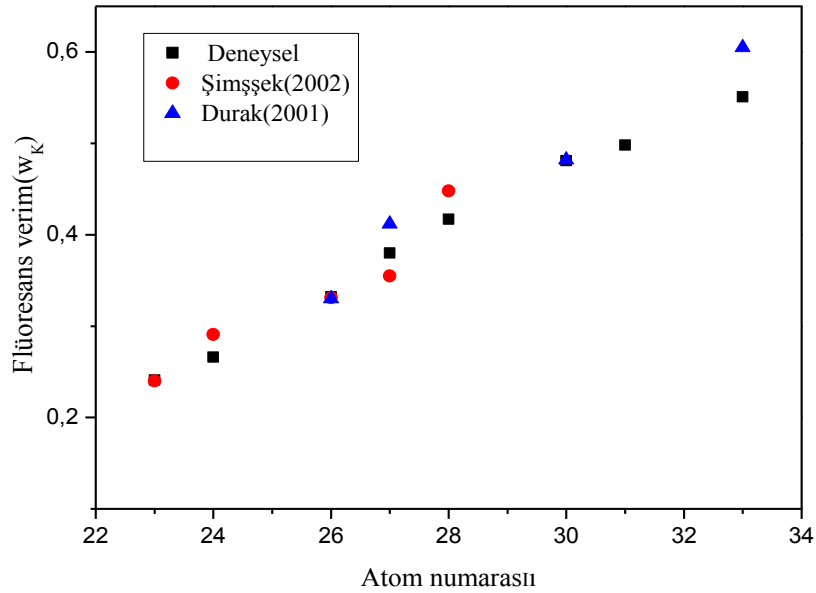
Bu çalışmada, $22 \leq Z \leq 35$ arasındaki ^{23}V , ^{24}Cr , ^{26}Fe , ^{27}Co , ^{28}Ni , ^{31}Ga ve ^{33}As elementlerin K X-ışını flüoresans verimleri ve diğer bazı çalışmalara ait flüoresans verimlerin, atom numaralarına karşı grafikleri Şekil 5.3 , Şekil 5.4 ve Şekil 5.5' de verilmektedir.



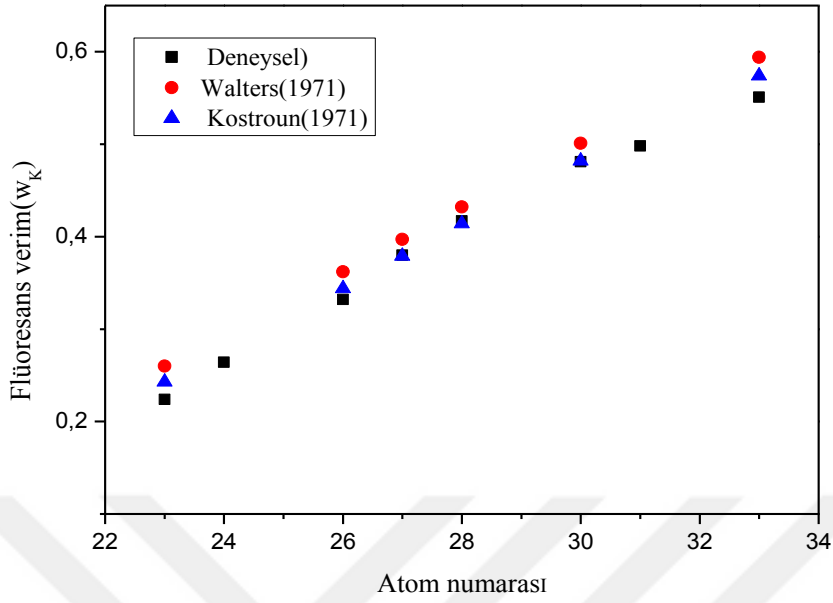
Şekil 5.1. Atom numarasına karşı, deneysel ve teorik K_{α} X-ışını tesir kesitleri (barns/atom).



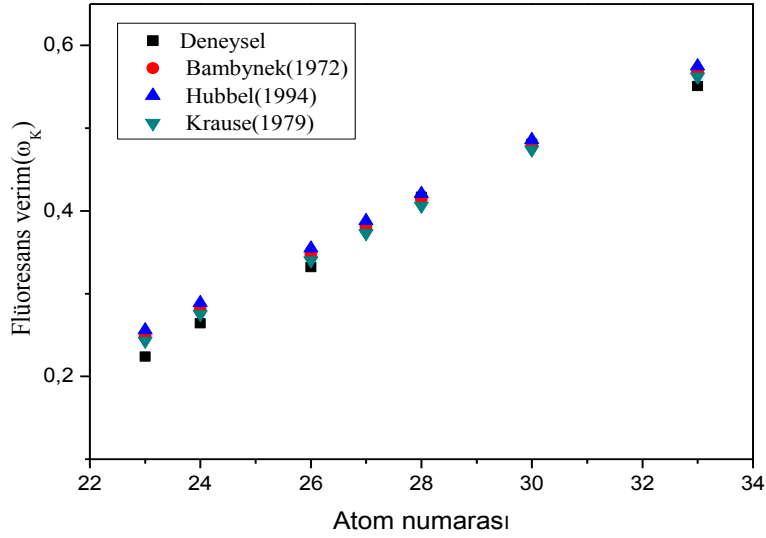
Şekil 5.2. Atom numarasına karşı, deneysel ve teorik K_{β} X- ışını tesir kesitleri (barns/atom).



Şekil 5.3. Atom numarasına karşı, deneysel flüoresans verim (ω_K) ile diğer bazı deneysel flüoresans verim değerleri.



Şekil 5.4. Atom numarasına karşı, deneysel flüoresans verim (w_K) ile bazı teoriksel flüoresans verim değerleri.



Şekil 5.5. Atom numarasına karşı, deneysel flüoresans verim (w_K) ile diğer yarı deneysel fit flüoresans verim değerleri.

Bu çalışmada genel olarak ikincil kaynak ile çalışmada, hem X ışını tesir kesitleri hem de flüoresans verimler soğurma kıyı enerjisine yakın uyarma enerjilerinde artmaktadır, soğurma kıyı enerjisinden uzaklaştıkça azalmakta olduğu görülmektedir. Ayrıca atom numarasına göre , K -X ışınları tesir kesitleri değerlerinin atom numarası arttıkça arttığı görülmektedir . Bu değerler, Şekil 5.1 ve Şekil 5.2 da atom numarasına karşılık tesir kesit değerlerinin grafiklerinde görülmektedir. Yapılan çalışmada, K X- ışınları tesir kesitleri arasında Çizelge 5.2 ve Çizelge 5.3 de görüldüğü gibi K_{α} X-ışınları tesir kesit değeri K_{β} X-ışınları tesir kesitlerinden daha büyük değerlere sahiptir. Bilindiği üzere K tabakasındaki bir boşluk L tabakası tarafından doldurulduğu zaman K_{α} X-ışını meydana gelmektedir. Eğer K tabakasındaki bir boşluk M tabakası tarafından doldurulur ise K_{β} X-ışını meydana gelmektedir. Dolayısıyla K_{α} X-ışını tesir kesit değerlerinin K_{β} X-ışınları tesir kesitlerinden daha büyük olması ise K tabakasından bir boşluk oluşturulduğu zaman, burada meydana getirilen boşluğun L tabakası tarafından doldurulma olasılığının, M tabakasına göre daha fazla olduğunu göstermektedir. Fakat enerji olarak bakıldığında, yayınlanan K_{α} X-ışının enerji olarak, K_{β} X-ışınının değerinden daha küçüktür. Bilindiği üzere bu ise K tabakası ile diğer L ve M yörüngeleri arasındaki enerji farkının değerinden ileri gelmektedir.

6. SONUÇ

İkincil kaynak uyarma metodu ile, atom numarası $22 \leq Z \leq 35$ arasındaki ^{23}V , ^{24}Cr , ^{26}Fe , ^{27}Co , ^{28}Ni , ^{31}Ga ve ^{33}As elementlerin X-ışını flüoresans tesir kesitleri ölçüldü. İkincil kaynağın uyarılmasında Am-241 radyoizotop kaynağı kullanıldı. İkincil kaynak olarak kullanılan ^{34}Se elementinden yayımlanan K_α ve K_β X-ışınlarının ortalama enerjileri kullanıldı. Bu enerji Se elementi için 11.372 keV olarak tüm hesaplamalarda sabit olarak alındı. K karakteristik X-ışınlarının sayımında Si(Li) katı hal dedektörü kullanıldı. Ölçümlerin alınmasında deney sistemi, yani geometrisi çalışmalar boyunca sabit kaldı. Çünkü deney sisteminin geometrisindeki herhangi bir değişiklik ölçümleri etkilememektedir. Böylece çevresel faktörlerde sabit kalmış oldu. Bunlar ise, deneyin daha verimli yapılması açısından önem arz etmektedir. Örneğin kaynak-numune ve numune-dedektör arasındaki açısal değişiklik, hem uyarılan numuneden gelen karakteristik X-ışını sayımlarında değişikliğe hem de β soğurma düzeltme katsayısına yansıtacaktır. Bundan dolayı çalışma mevcut şartları devamlı aynı tutulmalıdır.

Yapılan çalışmada, elde edilen K_α ve K_β X-ışınları tesir kesit değerleri, deneysel ve teorik olarak Çizelge 5.2 ve Çizelge 5.3 de verilmektedir. Elde edilen ölçümlerde yapılan deneysel hata %7 olarak görülmektedir. Bu çalışmada ölçülen K_α X-ışınları flüoresans deneysel tesir kesit değerleri ile teorik değerler arasında iyi bir uyum görülmektedir. Bu uyum %1.6-3.9 arasındadır. K_β X-ışınları flüoresans deneysel tesir kesit değerleri ile teorik değerler arasında da iyi bir uyum görülmektedir. Bu uyum % 1.2-4.2 arasındadır..

Bu çalışmada elde edilen K X-ışınları tesir kesitleri kullanılarak, atom numarası $22 \leq Z \leq 35$ arasındaki ^{23}V , ^{24}Cr , ^{26}Fe , ^{27}Co , ^{28}Ni , ^{31}Ga ve ^{33}As elementlerinin K tabakasına ait flüoresans verimleri yarı deneysel olarak tespit edildi. Bu değerler her element için, deneysel olarak ölçülen ilgili ışının tesir kesit değerleri, teorik olarak uyarma enerjisindeki foto iyonizasyon tesir kesitleri ve ilgili ışının geçiş hız değerleri kullanılarak elde edildi. Elde edilen deneysel değerler, Çizelge 5.4,de bazı deneysel değerler ile karşılaştırmalı bir şekilde verildi. Burada bu çalışmadaki değerler, % 0.3-9.3

içinde bir uyumluluk görülmektedir. Çizelge 5.5 deneysel değerler, Literatürdeki bazı teorik değerler ile karşılaştırıldı. Çizelgeden görüldüğü gibi buradaki uyum %0.2-9.7 içindedir. En iyi uyum Kostroun çalışması ile görülmektedir. Çizelge 5.6 da ise deneysel değerler ile bazı yarı deneysel fit değerleri ile karşılaştırıldı. Elde edilen değerler, Hubbeel, Bambynk ve Krause'nin yarı deneysel değerleri ile %0.2-%8.6 uyum içerisindedir.

Sonuç olarak yapılan bu çalışmada, düşük enerjide $22 \leq Z \leq 35$ arasındaki ^{23}V , ^{24}Cr , ^{26}Fe , ^{27}Co , ^{28}Ni , ^{31}Ga ve ^{33}As elementlerinin X-ışını flüoresans tesir kesitleri ve flüoresans verimleri ölçüldü. Elde edilen değerler geniş kullanım alanları olan atom fiziği, nükleer fizik, tıp alanındaki incelemeler ve tahribatsız element analizlerinde oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır. Deneysel değerlerin ve teorik değerlerin uyum içerisinde olması bu değerlerin kendi arasında birbirlerini doğruluk ve kontrol açısından oldukça önem arz etmektedir. Ayrıca, fotoiyonizasyon yöntemi ve ikincil kaynak kullanımında, eğer ikincil uyarıcının enerjisi elektronun bağlanma enerjisine uygun olduğu durumlarda XRF verimlerinin arttığı görüldü. Atomları uyarmak ve düşük enerjide tesir kesit ve flüoresans verim gibi parametrelerin belirlenmesinde ikincil elementin K X-ışın enerjilerinden yararlanmak bir avantaj sağlamaktadır Bundan dolayı, uyarmada ikincil kaynak kullanımı oldukça faydalı olduğu görüldü.

KAYNAKLAR

- Akkuş, T., Sahin, Y., Yılmaz, D., Tuzluca, F. N., 2017. The K-beta/K-alpha intensity ratios of some elements at different azimuthal scattering angles at 59.54 keV. *Can. J. Phys.* **95**: 220- 224.
- Arora, S.K., Allawadhi, K.L., Sood, B.S., 1981. Measurements of K-shell fluorescence yields in elements 284Z453. *Physica B&C*,**111C**: 71–75.
- Bambynek, W., Craseman, N., Fink, R. W., Freund, H.U., Mark, H., Swift, C.D., Price, R.E., Rao, P.V., 1972. X-ray fluorescence yields, Auger and Coster- Kronig transition probabilities. *Rev. Mod. Phys.*, **44**:716-813.
- Budak, G., Karabulut, A., Demir, L., Şahin, Y., 1999. Measurements of K_{α} and K_{β} fluorescence cross-sections for elements in the range $44 \leq Z \leq 68$ at 59.5 keV. *Phys.Rev.*, **60**: 2015-2018.
- Demir, D., Sahin, Y., 2013. Measurement of K x-ray fluorescence parameters in elements with $24 \leq Z \leq 65$ in an external magnetic field". *Radiat. Phys. Chem.* **85**: 64-69.
- Doğan, M., Olgar, M.A., Cengiz, and Tirasoglu, E. 2016. Alloying effect on K shell X-ray fluorescence cross-sections and intensity ratios of Cu and Sn in Cu_1Sn_{1-x} alloys using the 59.5 keV gamma ray. *Radiat. Phys. Chem.* **126**: 111-115.
- Durak, R., Erzenoğlu, S., Kurucu, Y., Şahin, Y., 1998. Measurement of photon-induced K X-ray production cross-sections for some elements with $40 \leq Z \leq 70$ at 122keV. *Radiation Physics and Chemistry*, **51**: 45–48.
- Durak, R., Özdemir, Y., 2001. Measurement of K-shell fluorescence cross-sections and yields of 14 elements in the atomic number range $25 \leq Z \leq 47$ using photoionization. *Radiation Physics and Chemistry*, **61**:19-25.
- Ertuğral, B., Apaydın, G., Çevik, U., Ertuğrul, M., Kobyay.A.İ., 2007. K_{β}/K_{α} X-ray intensity ratios for elements in the range $16 \leq Z \leq 92$ excited by 5.9, 59.5 and 123.6 keV photons. *Radiation Physics and Chemistry*, **76**: 15- 22.
- Ertuğrul, M., Söğüt, Ö., Şimşek, Ö., Büyükkasap, E., 2001. Measurement of K_{β}/K_{α} intensity ratios for elements in the range $22 \leq Z \leq 69$ at 59.5 keV, *J. Ph.B.*, **34**: 909-914.
- Ertuğral, B., 2007. Experimental measurements of K x-ray production cross-sections and yields for the elements with $58 \leq Z \leq 64$ at 123.6 keV photon energy. *Eur. Phys. J. D* **44**, 313- 317.
- Garg, L., Mehta, D., Kumar, S., Mangal, P.C., Trehan, P.N., 1985. Energy dependence of photon-induced K_{α} and K_{β} X-ray fluorescence cross-sections for some elements with $20 \leq Z \leq 56$. *X-ray Spectrom*, **14**: 165-169.
- Hubbell J. H and Seltzer, S.M., 1995. Tables of X-ray Mass Attenuation Coefficients and Mass Energy-Absorption Coefficients 1keV to 20MeV for elements Z=1 to 92 and additional Substances of Dosimetric Interest. *National Institute of Standard and Technology Report No*, NISTIR 5632.

- Hubbell, J.H., Trehan, P.N., Singh, Nirmal, Chand. B., Mehta,D., Garg, M.L.,Garg,R.R., Singh, Surinder, Puri,S., 1994. A review, bibliography, and tabulation of K,L, and higher atomic shell X-ray fluorescence yields. *J.Phys. Chem. Ref. Data*, **23**:339-364.
- Karabulut, A., Budak, G., Demir, L., Şahin, Y., 1999. $K\alpha$ and $K\beta$ X-ray fluorescence cross-sections in the atomic region $26 \leq Z \leq 42$ excited by 59.5 keV photons. *Nuc.Instrum. Methods*, **155**: 369-372.
- Koksal, O. K., Apaydın, G., Cengiz, E., and Karabulut, K., 2016. Calculation of K Shell Intensity Ratios and Line Widths of Ti and some of its compounds by means of 5,96 keV energy. *J. Phys.: Conference Series* **707**: 012004-6.
- Kostroun, V.O., Chen, M.H., Crasemana, B., 1971. Atomic radiation transition probabilities to the 1s state and theoretical K- shell fluorescence yields. *Phys. Rev. A*, **3**:533-545.
- Krause, M.O., 1979. Atomic radiative and radiation less yields for K and L shell. *Journal of Physical and Chemical Reference Data*, **8**: 307–327.
- Kumar, S., Singh, S., Mehta, D., Singh, N., Mangal, P.C., Trehan, P.N., 1987. Measurement of K X-ray fluorescence cross-sections for some elements with $23 \leq Z \leq 55$ in the energy range 8–60 keV. *X-ray Spectro*, **16**: 203–206.
- Kup Aylikci, N., Tirasoglu, E., Apaydin, G., Cengiz, E., Aylikci, V., Bakkaloğlu, O.F., 2009. Influence of alloying effect on x-ray fluorescence parameters of Co and Cu in CoCuAg alloy films. *Chem. Phys. Lett.*, **475**: 135-140.
- Özdemir, Y., Durak , R. Öz, E, 2002. ‘K- Shell X-ray production cross-sections and fluorescence yields in some medium –Z elements’, *Radiat.Phys. and Chem*, **65**: 193-295.
- Özdemir Y., Kavaz E., Ahmadi N., Ertuğrul M., Ekinçi N., 2016. Investigation of K X-ray intensity ratios of some 4d transition metals depending on the temperature. *Applied Radiation and Isotopes*, **115**:147–154.
- Rao, D.V., Cesereo, R., Gigante, G.E., 1993. Photon-excited K X- ray fluorescence cross-sections for some light elements in the range 20–60 keV. *X-ray Spectrometry*, **22**:406-409.
- Söğüt, Ö.,Büyükkasap, E., Küçükönder, A., Ertuğrul, M., Şimşek, Ö., 1995. Alloying effect on intensity ratios in $\text{Cr}_x\text{Ni}_{1-x}$ and $\text{Cr}_x\text{Al}_{1-x}$ alloys. *Appl. Spectroscopy. Rev*, **30**: 175-180.
- Scofield, J. H, 1973. Theoretical photoionization cross sections from 1 to 1500 keV”, *Lawrance Livermore Laboratory*,UCRL-51326.
- Scofield, J.H. 1974. Relativistic Hartree-Slater values for K and L X-ray emission rates. *Atom. Data Nucl. Data Tables* **14**, 121-137.
- Şimşek Ö.,Yilmaz S.,Karagöz D., Ertuğrul M., 2002. Measurement of K Shell fluorescence cross sections and K Shell fluorescence yields for the atomicregion $22 \leq Z \leq 64$ by 59.5keV photons. *Journal of Radio Analytical and Nuclear Chemistry*, **253**: 143–147.

- Yılmaz, R.2014. Measurements of K- shell X-ray production cross-sections and fluorescence yields for Cr, Mn, Fe and Co elements. *Radiation Physics and Chemistry*, **96**:1-4.
- Yılmaz R., Tunç H., Özkartal A. 2015. Measurements of K-shell X-ray production cross-sections and fluorescence yields for some elements in the atomic number range $28 \leq Z \leq 40$. *Radiation Physics and Chemistry*, **112**: 83-87.
- Walters, D.L,Bhalla, C.P., 1971. Nonrelativistic Auger rates, X-ray rates, and fluorescence yields for the K- shell. *Phys. Rev. A*, **3**:1919-1927.





ÖZ GEÇMİŞ

Yunus Emre AKSÖZ 1988 Yılında Van'da doğdu. İlk, Orta ve Lise eğitimini Van'da tamamladı. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü'nden 2015 yılında mezun oldu. Temmuz 2019'da Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İş Sağlığı ve Güvenliği Ana Bilim Dalı'nda Tezsiz Yüksek Lisans eğitimi tamamladı. Ocak 2017'de Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Anabilim Dalı'nda başladığı Yüksek Lisans eğitimi yapmaktadır.





VAN YÜZÜNCÜ YIL ÜNİVERSİTESİ
Eğitim Bilimler Enstitüsü

LİSANSÜSTÜ TEZ ORJİNALLİK RAPORU

VAN YÜZÜNCÜ YIL ÜNİVERSİTESİ
Eğitim Bilimler Enstitüsü

24/12/2019

Tez Başlığı / Konusu

Atom Numarası 22<Z<35 Arasındaki Bazı Elementlerin İkincil Kaynak Kullanarak K Tabakası X-Işınları Tesir Kesit ve Flüoresans Verimlerinin Ölçülmesi

Yukarıda başlığı/konusu belirlenen tez çalışmamın Kapak sayfası, Giriş, Ana bölümler ve Sonuç bölümlerinden oluşan toplam 53 sayfalık kısmına ilişkin, 24/12/2019 tarihinde şahsım/tez danışmanım tarafından Turnitin.intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtreleme uygulanarak alınmış olan orijinallik raporuna göre, tezimin benzerlik oranı % 3 (üç) dir.

Uygulanan Filtreler Aşağıda Verilmiştir:

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

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

Gereğini bilgilerinize arz ederim.

25/12/2019
Yunus Emre AKSÖZ
Adı, Soyadı, İmza

Adı Soyadı : Yunus Emre AKSÖZ

Öğrenci No :169102167

Anabilim Dalı : Fizik

Program :Fizik

Statüsü : Y. Lisans

Doktora

DANIŞMAN
Doç. Dr. Rafet YILMAZ

25/12/2019

ENSTİTÜ ONAYI
UYGUNDUR

25/12/2019