

**HELYUM ATOMUNUN
İKİLİ UYARILMA-İYONLAŞMA
REZONANS PROFİLLERİNİN
AÇISAL DEĞİŞİMLERİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Nurçin KAYAR

Danışman

Doç. Dr. Hüseyin Ali YALIM

İkinci Danışman

Arş. Grv. Dr. Zehra Nur ÖZER

FİZİK ANABİLİM DALI

Şubat 2017

AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**HELYUM ATOMUNUN İKİLİ UYARILMA-İYONLAŞMA
REZONANS PROFİLLERİNİN AÇISAL DEĞİŞİMLERİNİN
İNCELENMESİ**

Nurçin KAYAR

Danışman
Doç. Dr. Hüseyin Ali YALIM

İkinci Danışman
Arş. Grv. Dr. Zehra Nur ÖZER

FİZİK ANABİLİM DALI

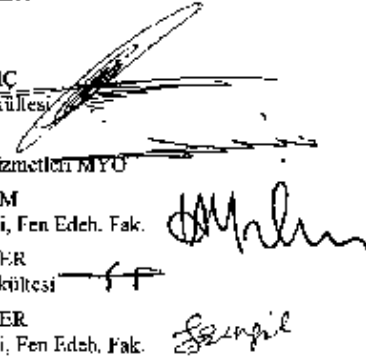
Şubat 2017

TEZ ONAY SAYFASI

Nurçin KAYAR tarafından hazırlanan "Helium Atomunun İkili Uyarılma-Iyonlaşma Rezonans Profillerinin Açısal Değişimlerinin İncelenmesi" adlı tez çalışması lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca 03/02/2017 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalı'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Doç. Dr. Hüseyin Ali YALIM
İkinci Danışman : Arş. Grv. Dr. Zehra Nur ÖZER

Başkan : Prof. Dr. Hamdi Şükür KILIÇ
Selçuk Üniversitesi, Fen Fakültesi
Üye : Prof. Dr. Rıdvan ONAL
Çukurova Üniversitesi, Sağlık Hizmetleri MYO
Üye : Doç. Dr. Hüseyin Ali YALIM
Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Edsh. Fak.
Üye : Yrd. Doç. Dr. Mehmet TAŞER
Selçuk Üniversitesi, Fen Fakültesi
Üye : Arş. Grv. Dr. Zehra Nur ÖZER
Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Edsh. Fak.



Afyon Kocatepe Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun
..... tarih ve
..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Hüseyin ENGİNAR
Enstitü Müdürü



BİLİMSEL ETİK BİLDİRİM SAYFASI
Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- Atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- Ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

03/02/2017

Nurçin KAYAR

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

HELYUM ATOMUNUN İKİLİ UYARILMA-İYONLAŞMA REZONANS PROFİLLERİNİN AÇISAL DEĞİŞİMLERİNİN İNCELENMESİ

Nurçin KAYAR

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Fizik Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Hüseyin Ali YALIM

İkinci Danışman: Arş. Grv. Dr. Zehra Nur ÖZER

Bu çalışmada, Afyon Kocatepe Üniversitesi Elektron Çarpışma Laboratuvarında (e-COL) bulunan elektron spektrometresinde, helyum atomuna ait kendiliğinden iyonlaşma enerji düzeylerinin açisal spektrumu deneysel olarak incelenmiştir. Bu araştırmada, elektron çarpışma laboratuvarında ki (e-COL) deney düzeneği; elektron tabancası, hedef gaz atomu (He), saçılan ve koparılan elektronların tespit eden analizör ve elektron demeti akımını ölçmek amacı ile kullanılan Faraday Elektron Toplayıcıdan (FET) oluşmaktadır.

Helyum atomunun kendiliğinden iyonlaşma enerji düzeylerinin açisal dağılımları, atomun 200 eV enerjili gelen elektron demeti ile uyarılarak koparılan elektronlar detekte edilerek belirlenmiştir. Diferansiyel tesir kesiti ölçümleri ve 10^0 - 130^0 aralığında ve 32,5-35 eV'de ki rezonans enerji düzeyleri için yapılmıştır. Rezonans enerji düzeylerinden iyonlaşma ile direkt iyonlaşma, spektrumlarda üst üste bindiklerinden dolayı ayrı ayrı gözlenememiştir. Rezonans profillerinin simetri durumları küçük açılarda değişkenken, büyük açılarda tamamen simetrik hale gelmektedir.

2017, xi + 68 sayfa

Anahtar Kelimeler: Elektron Spektrometresi, Kendiliğinden iyonlaşma, Rezonans enerji düzeyleri, Helyum atomu

ABSTRACT

M.Sc Thesis

INVESTIGATION FOR ANGULAR DISTRIBUTION OF ATOMIC HELIUM DOUBLE EXCITATION-IONIZATION RESONANCE PROFILES

Nurçin KAYAR

Afyon Kocatepe University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Physics

Supervisor: Assoc. Doc. Dr. Hüseyin Ali YALIM

Co-Supervisor: Research Assistant Dr. Zehra Nur ÖZER

In this study, the angular spectrum of autoionization energy levels of helium atom was experimentally investigated using the electron spectrometry in Electron Collision Laboratory (e-COL) at Afyon Kocatepe University. The experimental setup in the electron collision laboratory (e-COL) consists of an electron gun, target gas atom (He), the analyzer that is designed to measure scattered and ejected electrons, and the Faraday Electron Collector (FET) that is used to measure the electron beam current.

The angular distributions of the autoionization energy levels of the helium atom were determined by detecting the outgoing electrons after the excitation of it by 200 eV energetic electrons. Differential force cross section measurements (DCS) were made for 10° - 130° angular range and for 32,5-35 eV resonance energy levels. Ionization from resonance energy levels and the direct ionization could not be separately observed due to overlapping in the spectra. While the symmetrical shapes of resonance profiles are variable for small angles, they become perfectly symmetrical for large angles.

2017, xi + 68 pages

Key Words: Electron spectrometry, Autoionization, Angular spectrum of resonance levels, Helium atom

TEŞEKKÜR

Çalışmanın sonuçlarının değerlendirilmesi ve tezimin yazımı aşamasında yardım, bilgi ve tecrübeleri ile bana sürekli destek olan başta tez danışmanım Doç. Dr. Hüseyin Ali YALIM'a, yüksek lisans eğitimim boyunca bana göstermiş olduğu büyük emek, sabır ve desteğinden dolayı saygıdeğer hocam Arş. Grv. Dr. Zehra Nur ÖZER'e, araştırma sürecinde desteklerini esirgemeyen Prof. Dr. Mevlüt DOĞAN'a, çalışmalarım boyunca yardımını hiç esirgemeyen değerli eCOL grubu çalışma arkadaşlarıma, hayatımın her evresinde bana destek olan başta rahmetli babam Mustafa KARADENİZ'e, tüm zorlukları benimle göğüsleyen annem Serpil KARADENİZ'e ve ablam Gülçin YÜCEL'e, hayatımın her döneminde varlığıyla daima yüzümü güldürdüğü gibi tez çalışmam boyunca da her zaman yanımda olan, benimle üzülp benimle gülen eşim Ümit KAYAR'a sonsuz teşekkür ederim.

Nurçin KAYAR
AFYONKARAHİSAR, 2017

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	iv
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	v
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xi
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR BİLGİLERİ	4
2.1 Hedefle Etkileşme Sonucu Meydana Gelebilecek Olaylar	4
2.2 Saçılma Tesir Kesiti Kavramı	7
2.3 Elastik Tesir Kesiti	13
2.4 İyonlaşma	17
2.5 Auger Olayı	17
2.6 Kendiliğinden İyonlaşma (Autoionization).....	18
2.7 Helyum Kopan Enerji Spektrumu	24
3. MATERYAL ve METOD	28
3.1 Elektron-Atom Çarpışma Deney Düzenegi ve Elemanları	28
3.1.1 Vakum Sistemi.....	29
3.1.2 Elektron Tabancası	30
3.1.3 Faraday Elektron Toplayıcı	33
3.1.4 Elektron Enerji Analizörü	34
3.2 Sinyal İşleme Ünitesi	36
4. BULGULAR	38
4.1 Kopan Elektron Enerji Analizörü ile Alınan Spektrumlar	40
5. TARTIŞMA ve SONUÇ	54
6. KAYNAKLAR.....	56
ÖZGEÇMİŞ.....	68

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

eV	Elektron Volt
E_0	Gelen elektron enerjisi
k_0	Gelen elektronun momentumu
He	Helyum
E_b	Koparılan elektron enerjisi
k_b	Koparılan elektronun momentumu
E_a	Saçılan elektron enerjisi
k_a	Saçılan elektronun momentumu
$f(\theta, \phi)$	Saçılma faktörü
σ	Toplam Tesir Kesiti

Kısaltmalar

DCS	Diferansiyel tesir kesiti (Differential Cross Section)
EELS	Enerji kayıp spektrumu (Electron Energy Loss Spectroscopy)
FET	Faraday elektron toplayıcı (Faraday Cup)
DDCS	İkili diferansiyel tesir kesiti (Double Differential Cross Section)
SDCS	Tekli diferansiyel tesir kesiti (Single Differential Cross Section)
TCS	Toplam tesir kesiti (Total Cross Section)
TDCS	Üçlü diferansiyel tesir kesiti (Triple Differential Cross Section)
CCC	Yakınsak ıraksama çiftlenim (ConvergentCloseCoupling) teorisi

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1	Elastik saçılma, uyarılma ve tekli iyonlaşma olaylarının şematik gösterimi (Ehrhardt <i>et al.</i> 1971.....	4
Şekil 2.2	Diferansiyel tesir kesit. Detektör penceresi, tepesi hedefte bulunan bir katı açı oluşturur.	8
Şekil 2.3	Tesir kesitin küre üzerindeki integrasyonel kısmının geometrik şekli (Akpınar 2012).....	9
Şekil 2.4	Helyum taban durumundan tekli iyonlaşma durumu için toplam iyonlaşma tesir kesiti. Deneysel veriler, Montague vd. (1984), Rejoub vd. (2002) ve Sorokin vd. (2004) tarafından ölçülmüştür ve teorik modelleme ise Bray and Fursa (2011) tarafından yapılmıştır.....	10
Şekil 2.5	250 eV elektron etkisi ile He atomunun iyonlaşması için koparılan elektronun açısal dağılımı (e,2e) tesir kesiti. a) doğrudan iyonlaşma b) (2s2p) ¹ P ⁰ durumu c) (2p ²) ¹ D durumu. Daireler deneysel verileri, üçgenler Lower ve Weigold'un sonuçlarını, kareler McDonald ve Crowe'un sonuçlarını göstermektedir. Oklar momentum transferinin doğrultusunu göstermektedir. Doğrudan iyonlaşma tesir kesiti koparılan elektron enerjisi 34.5 eV iken alınmıştır. Düz çizgiler Godunov ve arkadaşlarının teorik sonuçlarını (ikinci Born yaklaşımı +CIFS yaklaşımı) ve kesikli çizgiler ise birinci dereceden Born yaklaşımını (GMSC-B1) göstermektedir (Şişe <i>et al.</i> 2011).....	12
Şekil 2.6	Elastik saçılma olayının şematik gösterimi.....	13
Şekil 2.7a	Elastik saçılma diferansiyel tesir kesitlerinin karşılaştırılması, dσ/dΩ, Helyum için açıya bağlı olarak iki potansiyelde alınan diferansiyel tesir kesiti ölçümleri. (a) 50 eV enerjili; (c) 300 eV enerjili; Bromberg (1974) [▲], McConkey ve Preston (1975) [Δ], Gupta ve Rees (1975) [+], Kurepa ve Vuskovic (1975) [∇], Jansen vd. (1976) [o], Register vd. (1980) [◇], Wagenaar vd. (1986) [■], Brunger vd. (1992) [○].....	15

Şekil 2.7b	Elastik saçılma diferansiyel tesir kesitlerinin karşılaştırılması, $d\sigma/d\Omega$, Helyum için açıya bağlı olarak iki potansiyelde alınan diferansiyel tesir kesiti ölçümleri. (b) 100 eV enerjili; (d) 500 eV enerjili. Bromberg (1974) [▲], McConkey ve Preston (1975) [Δ], Gupta ve Rees (1975) [+], Kurepa ve Vuskovic (1975) [∇], Jansen vd. (1976) [o], Register vd. (1980) [◇], Wagenaar vd. (1986) [■], Brunger vd. (1992) [○]	16
Şekil 2.8	Helyum atomuna ait uyarma, tekli iyonlaşma, iki kere uyarma-kendiliğinden iyonlaşma ve ikili iyonlaşma enerji düzeyleri.	19
Şekil 2.9	Helyum atomunda kendiliğinden iyonlaşma enerji spektrumlarının gösterimi	20
Şekil 2.10	Fano (1961) tarafından parametrize edilen rezonans profilleri.....	22
Şekil 2.11	Direkt iyonlaşma ve bir rezonans düzeyi aracılığı ile iyonlaşma durumlarının gösterimi (Şişe 2011).	22
Şekil 2.12	Helyum atomunun kopma açısı 26° - 116° arasında ve enerjisi 250 eV de iken kopan elektron spektrumu. Düz çizgiler verilerle genel uyumda olduğunu ve katı daireler ölçümspektrumlarını belirtmektedir (Zhang <i>et al.</i> 2012).	26
Şekil 2.13	a ve b, kopma açıları aynı sadece enerjilerinde farklılık vardır. Enerjileri sırasıyla 1000eV ve 2000eV olarak ölçüm yapılmıştır.....	27
Şekil 3.1	Elektron çarpışma (e-COL) laboratuvarındaki elektron spektrometresinin yandan çekilmiş fotoğrafı.	28
Şekil 3.2	Turbo moleküler ve mekanik pompalar, basınç ölçüm-görüntüleme cihazları ve bağlantılarının birlikte bulunduğu istasyonun yakından görünümü.	29
Şekil 3.3	Elektron tabancasının genel görünümü ve iç kısmı.	31
Şekil 3.4	Elektron tabancasının mercekleme elemanlarının ve elektronik kontrol sisteminin şematik gösterimi.....	31
Şekil 3.5	Elektron tabancasının lazer ile seviye ayarının gösterimi.....	32

Şekil 3.6	Hairpintipi filament ve filamentin elektron tabancasına yerleştirilmiş halinin görüntüsü.	32
Şekil 3.7	FET ve saçılan analizörün açısı kısıtlamasını ortadan kaldırmak için FET üzerine yerleştirilen daha küçük boyutlardaki ikinci küçük FET' in görüntüsü.	33
Şekil 3.8	Elektron analizörü ve giriş optiğinin kesit görünümü (Şişe 2008).	34
Şekil 3.9	Tek kanallı elektron çoğaltıcı içinde çoğalma işleminin gösterimi.	35
Şekil 3.10	CEM' in sistem içindeki bağlantı görüntüsü.	35
Şekil 3.11	CEM çıkışı osiloskopta gözlenen sinyalin fotoğrafı.	36
Şekil 3.12	Sinyal işleme ünitesinde; detektör, yükseltici ve ayırtedici çıkışındaki sinyallerin osiloskop ekran görüntüleri.	37
Şekil 4.1	e-He çarpışmasında elastik saçılma.....	39
Şekil 4.2	e-He çarpışmasında inelastik saçılma.	40
Şekil 4.3	Gelen elektronun enerjisi $E_0 = 200$ eV için 10° açısında kopan elektronun spektrumu.	41
Şekil 4.4	Gelen elektronun enerjisi $E_0 = 200$ eV için 15° açısında kopan elektronun spektrumu.	41
Şekil 4.5	Gelen elektronun enerjisi $E_0=200$ eV için 20° açısında kopan elektronun spektrumu.	42
Şekil 4.6	Gelen elektronun enerjisi $E_0=200$ eV için 25° açısında kopan elektronun spektrumu.	42
Şekil 4.7	Gelen elektronun enerjisi $E_0=200$ eV için 30° açısında kopan elektronun spektrumu.	43
Şekil 4.8	Gelen elektronun enerjisi $E_0=200$ eV için 35° açısında kopan elektronun spektrumu.	43

Şekil 4.9	Gelen elektronun enerjisi $E_0=200$ eV için 40° açısında kopan elektronun spektrumu.	44
Şekil 4.10	Gelen elektronun enerjisi $E_0=200$ eV için 45° açısında kopan elektronun spektrumu.	44
Şekil 4.11	Gelen elektronun enerjisi $E_0=200$ eV için 50° açısında kopan elektronun spektrumu.	45
Şekil 4.12	Gelen elektronun enerjisi $E_0=200$ eV için 55° açısında kopan elektronun spektrumu.	45
Şekil 4.13	Gelen elektronun enerjisi $E_0=200$ eV için 60° açısında kopan elektronun spektrumu.	46
Şekil 4.14	Gelen elektronun enerjisi $E_0=200$ eV için 65° açısında kopan elektronun spektrumu.	46
Şekil 4.15	Gelen elektronun enerjisi $E_0=200$ eV için 70° açısında kopan elektronun spektrumu.	47
Şekil 4.16	Gelen elektronun enerjisi $E_0=200$ eV için 75° açısında kopan elektronun spektrumu.	47
Şekil 4.17	Gelen elektronun enerjisi $E_0 = 200$ eV için 80° açısında kopan elektronun spektrumu.	48
Şekil 4.18	Gelen elektronun enerjisi $E_0 = 200$ eV için 85° açısında kopan elektronun spektrumu.	48
Şekil 4.19	Gelen elektronun enerjisi $E_0=200$ eV için 90° açısında kopan elektronun spektrumu.	49
Şekil 4.20	Gelen elektronun enerjisi $E_0=200$ eV için 95° açısında kopan elektronun spektrumu.	49
Şekil 4.21	Gelen elektronun enerjisi $E_0=200$ eV için 100° açısında kopan elektronun spektrumu.	50

Şekil 4.22	Gelen elektronun enerjisi $E_0=200$ eV için 105° açısında kopan elektronun spektrumu.	50
Şekil 4.23	Gelen elektronun enerjisi $E_0=200$ eV için 110° açısında kopan elektronun spektrumu.	51
Şekil 4.24	Gelen elektronun enerjisi $E_0=200$ eV için 115° açısında kopan elektronun spektrumu.	51
Şekil 4.25	Gelen elektronun enerjisi $E_0=200$ eV için 120° açısında kopan elektronun spektrumu.	52
Şekil 4.26	Gelen elektronun enerjisi $E_0=200$ eV için 125° açısında kopan elektronun spektrumu.	52
Şekil 4.27	Gelen elektronun enerjisi $E_0=200$ eV için 130° açısında kopan elektronun spektrumu.	53
Şekil 5.1	30° , 60° ve 120° kopan elektron enerji spektrumları ve rezonans profillerinin değişimi.....	54

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 2.1 Elektron-Helyum çarpışma sonrası oluşabilecek durumlar.	6
--	---



1. GİRİŞ

Elektron-atom/molekül etkileşmeleri, atom ve molekül fiziğinde önemli bir yere sahiptir. Özellikle elektronla atom/moleküllerin çarpışması sonucunda uyarılması ve iyonlaştırılması temel seviyede atomik yapıların aydınlatılmasına yardımcı olmaktadır. Kuantum mekaniksel olarak bu tür çarpışmaların; mikroskobik sistemlerin (atom, çekirdek, molekül vs.) davranışını matematiksel kavramlarla ifade edilmesinde önemli bir yeri vardır. Ayrıca temel seviyedeki çok parçacıklı sistemlerin anlaşılmasına yardımcı olacak veri sunmakta ve çarpışma fiziğinde geliştirilen teorilerin doğruluğunu ispatlamakta da önemlidir (Durr *et al.* 2006).

Atomların elektron etkisiyle iyonlaşması, çarpışma çalışmalarında en ilgi çeken alanlardan birisidir. Bu alanda özellikle elektron-atom çarpışmalarını incelemek için sürekli geliştirilen deneysel ve teorik metotlarla diğer bilimlere (Astrofizik, Kimya, Plazma fiziği ve lazer fiziği vs.) temel oluşturacak bilgiler elde edilmektedir. Bu konu sonucu, ilk defa Lenard (1903) tarafından elektron çarpışma tesir kesitleri çalışılması ile bir araştırma alanı haline gelmiştir. Atomların elektron etkisiyle uyarılmasında elektronların enerji kaybı ilk Franck ve Hertz (1914) tarafından da gözlenmiştir. Elektron saçılma deneyleri, belirlenen bir hedef (atom, molekül veya katı) ile monokromatik ince bir demetin (elektron, proton, iyon veya foton) çarpışması ve etkileşmeden çıkan ürünlerin (elektron, iyon veya foton) belli açı ve enerjide detekte edilmesi prensibine dayanmaktadır (Lahman-Bennani 2002).

Bu çalışmanın konusu olan Helyum atomunun tayf çizgilerini ilk olarak 1868'de İngiltere'de astronom Norman Lockyer tarafından gözlenmiştir. İskoçyalı kimyacı William Ramsey 1895 yılında uranyum içeren radyoaktif mineral ve bir asitle yaptığı bir deneyde, helyum oluştuğunu görmüştür. Kararlı bir yapıya sahip olan Helyum atomu renksiz, kokusuz olmakla beraber soy gaz olduğu için tepkimeye girmez. Oda sıcaklığında gazdır ve gaz dışında başka hallerde görmek doğal koşullarda imkansızdır; çünkü erime noktası $-272,5^{\circ}\text{C}$ ve kaynama noktası $268,8^{\circ}\text{C}$ 'dir. Ancak laboratuvar koşullarında sağlanabilen sıcaklıklarda katı ve sıvı halinde görülebilir.

Doğada en basit atomik sistem hidrojen atomudur ve bu atom için deneysel saçılma tesir kesitlerinin anlaşılması ancak 2000’li yılların başlarında gerçekleşebilmiştir (Rescigno *et al.* 1999, Bray 2002). Son yıllarda, atomların elektron etkisiyle iyonlaşma süreci alanında muazzam bir ilerleme kaydedilmiştir. Örneğin, hidrojen atomunun saçılan elektron problemi gibi dış kompleks ölçekleme (Exterior Complex Scaling; ECS), yakınsak ölçekleme (Convergent Close-Coupling; CCC) ve zamana bağlı pertürbatif yaklaşımlar sayısal olarak çözülmüştür (Time-Dependent Close-Coupling; TDCC) (Ren *et al.* 2012). Hidrojenden sonra en basit sistem olan Helyum atomu, elektronlar arası etkileşmenin incelenmesi için en ideal sistemdir ve onun içinde bu yaklaşımlar göz önüne alınarak çalışmalar yapılmıştır. Özellikle düşük enerjideki elektron-atom çarpışmaları uzun yıllardır yoğun bir şekilde çalışılmıştır. Düşük enerjili elektron çalışmalarının tamamı 1975 yılına kadar çalışılmış ve He atomunun bu enerji bölgesinde $(2s^2)^1S$, $(2s2p)^3P$, $(2p^2)^1D$ ve $(2s2p)^1P$ uyarılmış 4 rezonans profili bulunmuştur (Oda *et al.* 1970).

Atomik çarpışmalarda kendiliğinden iyonlaşma (autoionization), rezonans olaylarının gözlenebilmesi için en önemli süreçlerden biridir ve Madden ve Codling (1965) tarafından Helyum atomunun kendiliğinden iyonlaşma olayının incelendiği çalışmadan bu yana, uzun yıllardır ilgi odağı olmaya devam etmektedir. Özellikle senkrotron ışınım kaynakları (özel bir dairesel parçacık hızlandırıcı çeşidi) kullanılarak enerji çözünürlüğünde önemli gelişmeler olmuştur. İki ve daha fazla elektrona sahip olan atomlar, moleküller ve iyonların iki elektronunun uyarılmasıyla elektronlar birbirleriyle Coulomb etkileşmesine maruz kalır ve etkileşme sonucunda elektronlardan biri, enerjisini diğer uyarılmış elektrona aktararak ışıyım yaymadan kendiliğinden iyonlaşır.

Kendiliğinden iyonlaşma seviyelerini çözecek ve tanımlayacak yeterli çözünürlüğe sahip iyonlarla yapılan ilk deneysel çalışmalar Rudd (1964) tarafından gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışmalarda, özellikle kendiliğinden iyonlaşma olaylarında, kopan ve saçılan elektronlar arasındaki etkileşim süreçlerini anlamak önemlidir (Jureta 2014).

Çok sayıda araştırmacının ilgisini çeken kendiliğinden iyonlaşma olayının fiziksel ve

pratikteki önemi günümüzde de bilinmektedir. Kendiliğinden iyonlaşma ve rezonans profillerinin; elektronlar arası etkileşimleri, elektron bulutlarının şekillerini, farklı enerji ve açığa bağlı tesir kesitlerini anlamada (Pochat *et al.* 1982, Lower and Wiegold 1990, Crowe *et al.* 1996, Brunger *et al.* 1997, Samardzic *et al.* 1997, Doğan ve Crowe 2001, 2002) önemli bir yeri olmuştur.

Bu tez çalışmasında, helyum atomunun ikili uyarılma-iyonlaşma enerji düzeylerinin açısall değişimini belirlemek için diferansiyel tesir kesiti ölçümleri yapılmış ve rezonans düzeylerinin açısall spektrumu deneysel olarak belirlenmiştir. Deney düzeneği, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fizik Bölümündeki Elektron Çarpışma (e-COL) Laboratuvarında bulunmaktadır. Bu deney düzeneğiyle yapılan çalışmalarda temel amaç; atomik ve moleküler sistemlerin yapısını incelemek, iyonlaşma olayında elektron korelasyonlarının nasıl gerçekleştiğini görmek, çok parçacık probleminin çözümüne yönelik deneysel veriler üretmek ve teorik modellerin doğruluklarını sınamaktır (Doğan 1999, Ulu 2007, Ulu *et al.* 2007, Şişe 2011, Özer 2013).

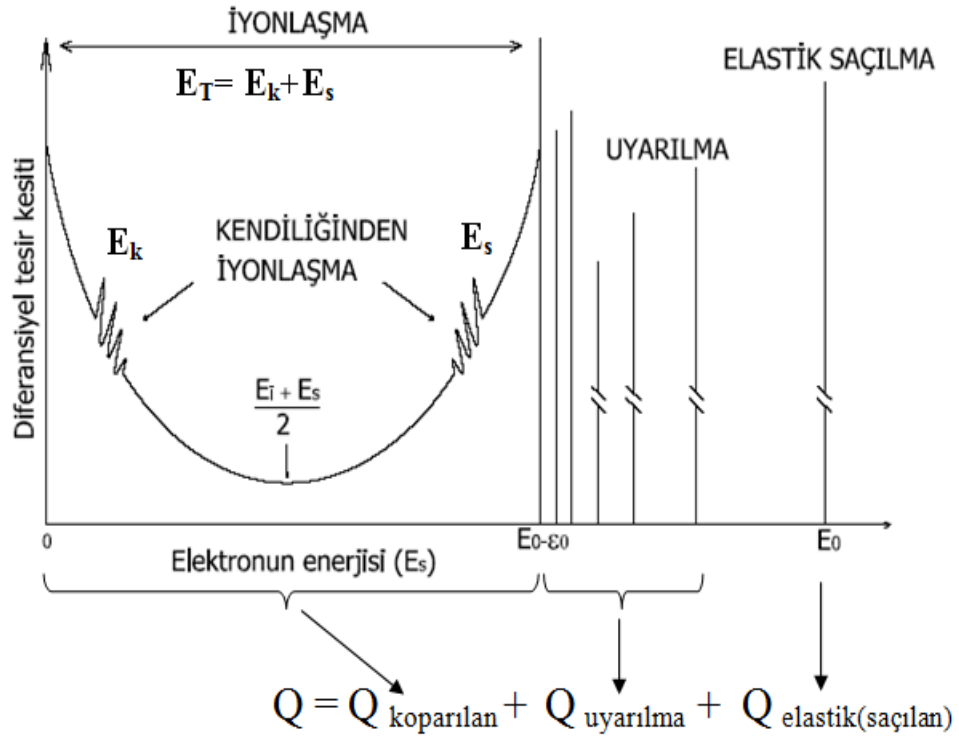
Bölüm 2'de öncelikle literatür bilgisiyle atomik çarpışmaların deneysel altyapısı anlatılmış ve çarpışma kinematiklerinden elastik saçılma, iyonlaşma, kendiliğinden iyonlaşma (autoionizasyon), Auger olayı ve helyum kopan enerji spektrumu durumları incelenmiştir. Ayrıca tesir kesiti kavramına da kısaca değinilmiştir.

Bölüm 3'te deney düzeneği açıklanmış ve elektron çarpışma spektrometresinin parçalarından bahsedilmiştir. Bölüm 4'te alınan deneysel veriler sunulmuş ve son olarak, Bölüm 5'de sonuçlar yorumlanmış ve tartışılmıştır.

2. LİTERATÜR BİLGİLERİ

2.1 Hedefle Etkileşme Sonucu Meydana Gelebilecek Olaylar

Çarpışma fiziğinde atom, molekül veya iyonların yapısını öğrenmek için, hedef üzerine belirli bir enerjiye sahip temel parçacıklar gönderilir. Gelen parçacık olan elektronlar ile hedef arasındaki etkileşme potansiyeli, etkileşen parçacıkların açısal dağılımını ve enerjilerini etkileyen başlıca faktörlerdir. Elektron demeti, çarpışma bölgesinde hedefle etkileştikten sonra saçılır. Saçılan veya hedeften koparılan elektronlar dedekte edilirler. Detekte edilen bu elektronlar aracılığıyla tesir kesiti ölçümleri yapılır ve etkileşme potansiyeli sonucu parçacıkların açısal dağılımı belirlenir.



Şekil 2.1 Elastik saçılma, uyarılma ve tekli iyonlaşma olaylarının şematik gösterimi (Ehrhardt *et al.* 1971).

Şekil 2.1'de He atomunun iyonlaşması sonucu açığa çıkan iki (kopan ve saçılan) elektrona ait tekli diferansiyel tesir kesitinin şematik gösterimi görülmektedir. Şeklin sağ tarafında, gelen elektronun enerjisine bağlı olarak elastik saçılmanın ve uyarılma

olayının diferansiyel tesir kesitleri görülmektedir. Saçılan ve iyonlaşan elektronların ayırt edilmesi olanaksız olduğundan tekli diferansiyel tesir kesiti $(E_e + E_s)/2$ etrafında simetrik olmaktadır. Buna göre saçılan ve koparılan elektronların enerjilerinin toplamaları toplam enerjiye eşit olmalıdır. İyonlaşma eğrisinin üzerinde sürekliliğini bozan rezonans etkileri de görülmektedir (Doğan 1999).

Burada ki olayların hepsinin gerçekleşme olasılığı gelen elektronun enerjisine bağlıdır. Eğer gelen elektronun enerjisi yeterli ise şekilde görülen olayların hepsinin gerçekleşme olasılığı söz konusudur (Ehrhardt *et al.* 1971). He atomunun çarpışma sonrasında saçılan elektronun enerjisinin yüksek (yani küçük açılarda), koparılan elektronun enerjisinin düşük (yani büyük açılarda) olduğu kabul edilir.

Elektron-atom çarpışmalarında farklı türde etkileşimler olabilmektedir. Çarpışma deneylerinde gelen elektronun enerjisine ve hedef atomun bağlanma enerjisine bağlı olarak farklı durumlar meydana gelebilir. Bunlar;

- Elastik saçılma
- Uyarılma
- Uyarılma-iyonlaşma
- Kendiliğinden iyonlaşma (Autoionization)
- Auger olayı
- Direkt iyonlaşma
- Çoklu iyonlaşma

olaylarıdır. Bu çarpışma durumları için Çizelge 2.1'de örnek durumlar verilmiştir.

Çizelge 2.1 Elektron-Helyum çarpışma sonrası oluşabilecek durumlar (Olgaç 2011).

Uyarılma
$e_0^-(E_0) + He[(1s^2)^1S] \rightarrow He(1s2p)^1P + e_a^-(E_s) \rightarrow He[(1s^2)^1S] + h\nu$
İyonlaşma
$e_0^-(E_0) + He[(1s^2)^1S] \rightarrow He^+[(1s)^2S] + e_a^-(E_a) + e_b^-(E_b)$
Kendiliğinden İyonlaşma (Autoionization)
$e_0(k_0) + He(1s^2) \rightarrow He^{**}(2l, 2l') + e_a(k_a) \rightarrow He^+(1s) + e_b(k_b)$
İyonlaşma-Uyarılma
$e_0^-(E_0) + He(1s^2)^1S \rightarrow He^{+*}(2p)^2P + e_a^-(E_a) + e_b^-(E_b) \\ \rightarrow He^+(1s)^2S + 30,4 \text{ nm}$
İkili Uyarılma
$e_0^- + He(1s^2) \rightarrow He^{**}(2l, 2l') + e^* + e_a + e_b$

Diğer taraftan elastik olmayan çarpışmalar da, çarpışan elektronların kinetik enerjilerinde kayıp söz konusudur. Yani gelen elektron kinetik enerjisini atomun iç enerjisine transfer eder. Bu transfer sonucunda çoğu zaman yön değişimi de meydana gelir. Çizelge 2.1'de bu olayların He atomu için düzenlenmiş halleri yer almaktadır. Etkileşme sonucunda meydana gelecek iyonlaşma ve kendiliğinden iyonlaşma olayları için diğer bölümlerde bahsedilecektir. Eş zamanlı uyarılma durumları için deneysel ve teorik çalışmalar literatürde yer almaktadır (Oda *et al.* 1970, Alves and Fierreira 1991, Biagi 1999, Ulu 2007, Şişe 2011, Alves *et al.* 2013).

2.2 Saçılma Tesir Kesiti Kavramı

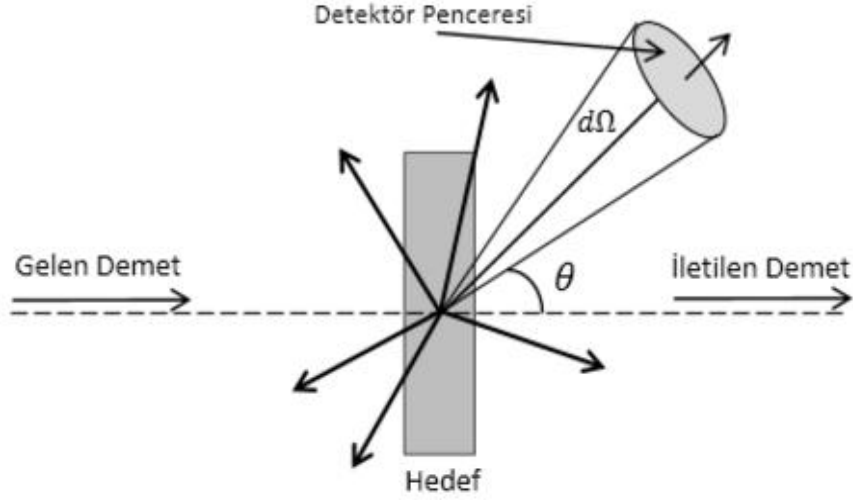
Elektron-atom/molekül çarpışması sonucu elde edilen dalga fonksiyonların içerdiği bilgilerin anlamlı hale getirilebilmesi hedef atomun/molekülün kuantum durumlarındaki değişim olasılıklarının belirlenmesi ile gerçekleştirilebilir. Saçılma deneylerinde, gelen parçacıkların sadece küçük bir kesri hedef atom/molekül ile etkileşir. Atom fiziğinde, bir temel parçacıkla bir atom/molekül arasındaki etkileşme tesir kesiti ile tanımlanmaktadır. Tesir kesiti, bu etkileşmelerin gerçekleşme olasılığının bir ölçüsü olarak tanımlanır. Fiziğin birçok alanındaki geniş uygulaması sebebiyle etkileşme tesir kesiti olgusunun incelenmesi önemlidir. Bu ise gelen ve saçılan elektron demetlerinin akılarının hesaplanması ile elde edilir. Tesir kesiti, bir çarpışma olayında birim zamanda birim hacimde bu olayın oluşma sıklığının, gelen parçacığın akısına oranı olarak tanımlanmaktadır (Burke and Joachain 1995). Bir saçılma deneyinde genellikle belirli bir olayın tesir kesiti belirlenir.

Çarpışma deneylerinde hedefe gönderilen elektron demeti, çarpışmadan sonra hedefin iç durumunda değişiklikler yaparak saçılır (Durakev 1987). Saçılan parçacıklar, türlerine (foton, elektron, iyon) göre farklı detektörlerle sayılırlar. Bir saçılma deneyinde hedeften farklı doğrultularda farklı sayıda parçacık saçılır. Tesir kesiti saçılan parçacıkların toplam sayısı hakkında bilgi verir fakat saçılan parçacıkların açısal dağılımı hakkında bilgi vermez. Bu yüzden hedefin farklılığına göre değişir.

Saçılan parçacıkların açısal dağılımı diferansiyel tesir kesiti ile belirlenir. Şekil 2.2 diferansiyel tesir kesitin tanımında yardımcı olur. (θ, ϕ) doğrultusunda $d\Omega$ katı açısına birim zamanda saçılan parçacıkların sayısı Denk. 2.1'den;

$$\frac{dn_e}{d\Omega} = I \left(\frac{d\sigma}{d\Omega} \right) n_0 \Delta x \quad (2.1)$$

bulunur. Bu ifadede görülen $\left(\frac{d\sigma}{d\Omega} \right)$ niceliği diferansiyel tesir kesitini, n_0 gelen demetin parçacık yoğunluğunu Δx hedefin kalınlığını belirtir.



Şekil 2.2 Diferansiyel tesir kesit. Detektör penceresi, tepesi hedefte bulunan bir katı açı oluşturur.

Diferansiyel tesir kesiti hesaplamak için öncelikle katı açı kavramını bilmek gerekir. Burada $d\Omega$ katı açısı küresel koordinatlarda $d\Omega = \sin\theta d\theta d\phi$ olarak ifade edilir. Bir $|i\rangle = |k_i, \Phi_i, \chi_i\rangle$ ilk durumundan $|j\rangle = |k_j, \Phi_j, \chi_j\rangle$ son durumuna geçişte diferansiyel tesir kesiti, $d\Omega$ katı açısında saçılan parçacık akısının gelen parçacık akısına oranından diferansiyel tesir kesiti;

$$\frac{d\sigma_{ji}}{d\Omega} = \frac{|\vec{k}_j|}{|\vec{k}_i|} |f(\theta, \phi)| \quad (2.2)$$

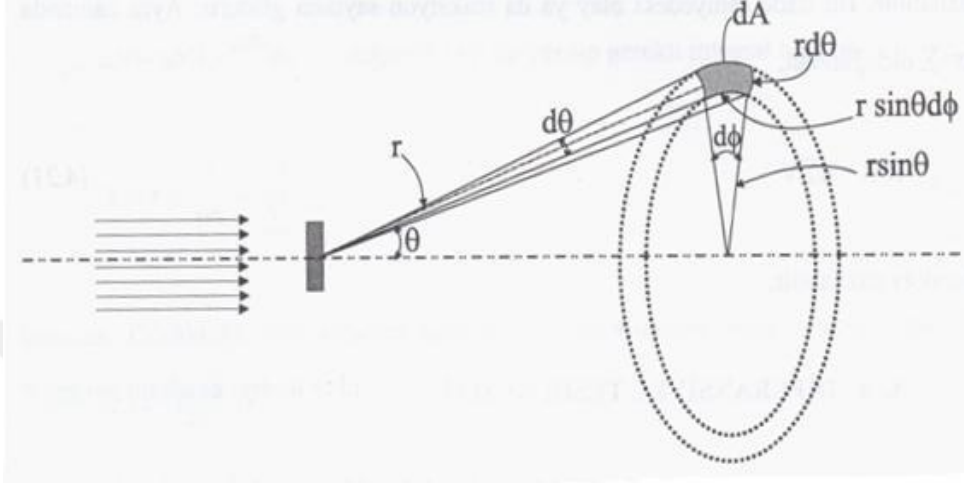
ifadesi ile bulunur (Byron and Joachain 1989). Görüldüğü gibi tesir kesiti, saçılan dalga fonksiyonunun genliği $f(\theta, \phi)$ ile orantılıdır. Denklem 2.2'de eşitliğin sol tarafı teorik diferansiyel tesir kesitini, sağ taraf ise deneysel olarak ölçülen olasılık genliği ifadesini göstermektedir. Toplam tesir kesiti (σ_{top}), bir küre üzerinde integrali alınırsa (Şekil 2.3);

$$\sigma_{top} = \int \left(\frac{d\sigma}{d\Omega} \right) d\Omega \quad (2.3)$$

elde edilir. Bunu da daha ayrıntılı olarak yazacak olursak;

$$\sigma_{top} = \int_0^{2\pi} d\phi \int_0^{\pi} d\theta \sin \theta |f(\theta, \phi)| \quad (2.4)$$

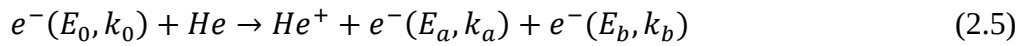
elde edilir.



Şekil 2.3 Tesir kesitin küre üzerindeki integrasyonel kısmının geometrik şekli (Akpınar 2012).

Elastik olmayan saçılmalarda tekli iyonlaşma olayına bakılırken diferansiyel tesir kesiti ifadesi yetersiz kalmaktadır. Çünkü iyonlaşma olayı sonrasında iki elektron ve bir iyon olmak üzere üç parçacık oluşmaktadır. Bu nedenle, daha üst mertebeden diferansiyel tesir kesiti tanımlarına ihtiyaç duyulur.

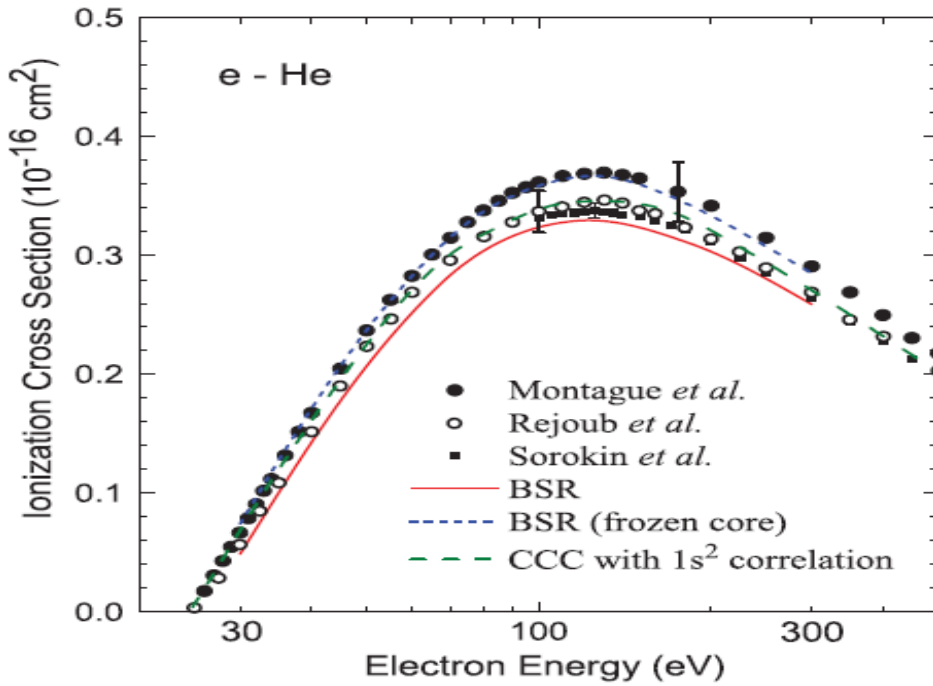
Taban durumunda bulunan hedef parçacığı için elektron etkisi ile tekli iyonlaşması; He hedef parçacık, He^+ ise çarpışma sonucu oluşan iyon olmak üzere ve iyon hareketinin ihmal edilmesi halinde tekli iyonlaşma olayı;



şeklinde yazılabilir. Burada sırasıyla E_0 , E_a , E_b ve k_0 , k_a , k_b gelen, saçılan ve koparılan elektronların enerji ve momentumlarıdır. Çarpışma sürecinde enerji ve momentum korunur.

Elektron etkisiyle iyonlaşma olayında çarpışmadan sonra üç serbest parçacık için farklı türlerde dört tesir kesiti tanımlanabilir. Bunlar: i) toplam iyonlaşma tesir kesiti, ii) tekli diferansiyel tesir kesiti (Single Differential Cross Sections; SDCS), iii) ikili diferansiyel tesir kesiti (Double Differential Cross Sections; DDCS) ve iv) üçlü diferansiyel tesir kesiti (Triple Differential Cross Sections; TDCS) ölçümleridir.

Toplam tesir kesiti (Total Cross Sections; TCS), gelen elektronun enerjisinin bir fonksiyonudur ve çıkan elektronların enerji ve momentumundan bağımsız olarak meydana gelen iyonların sayısının bir ölçüsüdür $\sigma(E_0)$. Detektör, r mesafesinde sabit tutularak bütün açısal konumlarda hareket ettirilirse $4\pi r^2$ 'lik küresel yüzey alanından geçen saçılmış tüm parçacıklar detekte edilebilir (Şekil 2.4).



Şekil 2.4 Helyum taban durumundan tekli iyonlaşma durumu için toplam iyonlaşma tesir kesiti. Deneyisel veriler, Montague vd. (1984), Rejoub vd. (2002) ve Sorokin vd. (2004) tarafından ölçülmüştür ve teorik modelleme ise Bray and Fursa (2011) tarafından yapılmıştır.

Tekli diferansiyel tesir kesiti (SDCS); $\left(\frac{d\sigma}{dE}\right)$, tekli iyonlaşma olayı sonucunda ortaya çıkan iki elektronun enerji dağılımlarını vermektedir. Bir başka ifade ile ikili diferansiyel tesir kesiti (DDCS)'nin çıkan elektronların yönelimleri üzerinden integrasyonu da saçılan ve koparılan elektronların enerji dağılımlarını veren tekli iyonlaşma tesir kesitini verir. Tekli diferansiyel tesir kesiti $d\sigma/dE$, verilen bir enerji (E_o) için, çarpışma sonrası iki elektronun enerji dağılımlarını tanımlar (Ehrhardt *et al.* 1986). SDCS ölçümleri, teorikçiler tarafından teorilerinin test edilmesi için kullanılmaktadır (Bray *et al.* 2002, Chang and Altick 1996).

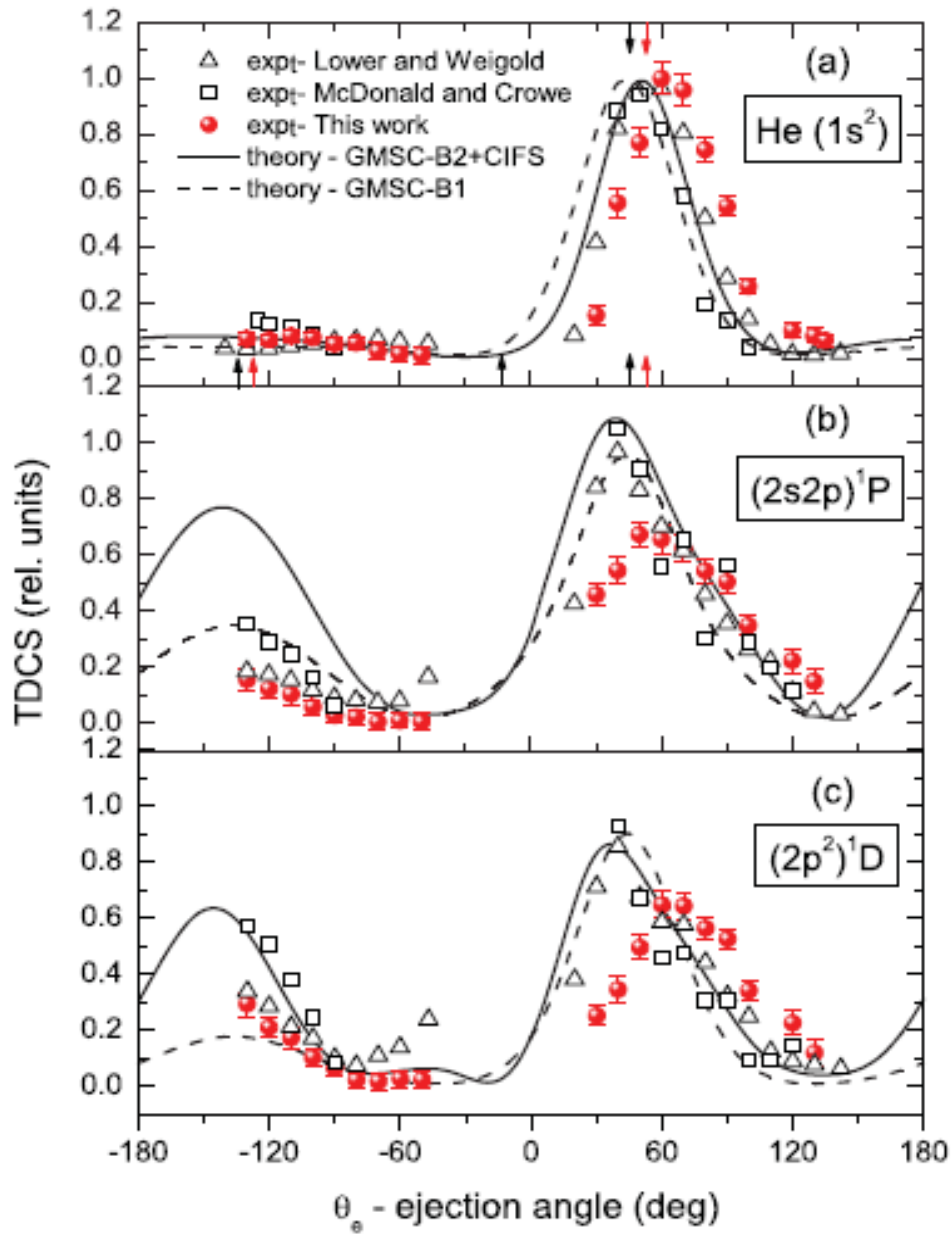
(DDCS); $\left(\frac{d^2\sigma}{d\Omega dE}\right)$, atomun iyonlaşmasıyla çıkan ürün parçacıklardan (saçılan ve iyonlaşan) birinin enerji ve açısal doğrultusu bilinerek elektronların enerji ve açısal dağılımını verir. Teorik açıdan elektron etkisiyle iyonlaşma mekanizmasının detaylı bilgisini içerdiğinden üçlü diferansiyel tesir kesiti (TDCS) en önemli tesir kesitidir. Fakat iyonlaşma olayı hakkında fiziğin değişik dallarındaki pratik uygulamalar için DDCS'lerin incelenmesi uygun olmaktadır. Ayrıca DDCS'ler deney ile teorinin detaylarının etkin bir şekilde karşılaştırılmasını sağlamaktadır.

(TDCS), saçılan ve koparılan her iki elektronun eş zamanlı olarak detekte edilmesi ile iyonlaşma olayı tam olarak tanımlanır. TDCS ölçümleri ile gelen ve çıkan tüm elektronların enerji ve saçılma açıları belirlendiğinden iyonlaşma dinamikleri tam olarak belirlenir ve

$$\frac{d^3\sigma}{d\Omega_s d\Omega_i dE} = \frac{k_s k_i}{k_0} \left[\frac{1}{4} |f + g|^2 + \frac{3}{4} |f - g|^2 \right] \quad (2.6)$$

ile ifade edilir. Denklemdaki $d\Omega_s$, $d\Omega_i$ saçılan ve koparılan elektronların katı açıları; k_s , k_i , k_0 sırasıyla saçılan, koparılan ve gelen elektronların momentumlarını göstermektedir. f ve g direkt ve değiş-tokuş saçılma genliklerini ifade etmektedir. He atomunun iyonlaşması için koparılan elektronun açısal dağılımı (e,2e) tesir kesiti örneği

Şekil 2.5'te verilmiştir.



Şekil 2.5 250 eV elektron etkisi ile He atomunun iyonlaşması için koparılan elektronun açısal dağılımı (e,2e) tesir kesiti. **a)** doğrudan iyonlaşma **b)** $(2s2p)^1P^0$ durumu **c)** $(2p^2)^1D$ durumu. Daireler deneysel verileri, üçgenler Lower ve Weigold'un sonuçlarını, kareler McDonald ve Crowe'un sonuçlarını göstermektedir. Oklar momentum transferinin doğrultusunu göstermektedir. Doğrudan iyonlaşma tesir kesiti koparılan elektron enerjisi 34.5 eV iken alınmıştır. Düz çizgiler Godunov ve arkadaşlarının teorik sonuçlarını (ikinci Born yaklaşımı +CIFS yaklaşımı) ve kesikli çizgiler ise birinci dereceden Born yaklaşımını (GMSC-B1) göstermektedir (Şişe *et al.* 2011).

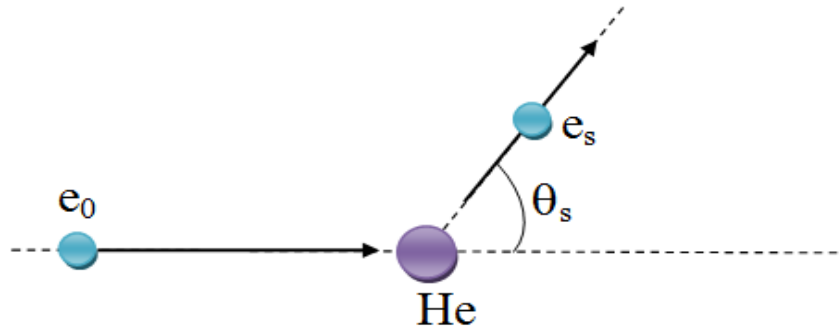
Çarpışma deneylerinde deneysel ve teorik hesaplamaların gelişmesi ile farklı kinematik parametrelerin ölçülebilmesi sağlanmıştır. Böylece yüksek mertebeden diferansiyel tesir kesitleri belirlenebilmiştir.

Nükleer çalışmalar gibi farklı alanlarda parçacıkların eş zamanlı (coincidence) detekte edilmesi tekniğinin elektron-atom çarpışmalarına uygulanmasıyla üçlü diferansiyel tesir kesitleri ölçülmeye başlanmıştır (Ehrhardt *et al.* 1969, Amaldi *et al.* 1969).

2.3 Elastik Tesir Kesiti

Elektronun enerjisinin bir kısmını hedef atoma aktardığı halde momentum ve kinetik enerjinin korunduğu bu tür çarpışmada, sadece elektron ile atom arasında kinetik enerji alışverişi meydana gelir.

Elastik çarpışmada gelen elektron, hedef atomun (He) iç enerjisine kinetik enerji aktarmaksızın yön değiştirir (Şekil 2.6) ve hedef atomun kuantum durumlarında bir değişikliğe neden olmaz. Bu durumda atomun içyapısında herhangi bir değişiklik olmaz.



Şekil 2.6 Elastik saçılma olayının şematik gösterimi.

E_0 enerjili elektron demeti ile taban durumunda bulunan He atomunun elastik çarpışması şekildeki gibi ifade edilebilir:

$$e_0^-(E_0) + He(1s) \rightarrow e_s^-(E_0) + He(1s) \quad (2.7)$$

Burada e_0^- ve e_s^- , sırasıyla gelen ve saçılan elektronu göstermektedir. Elastik e-He saçılması, deneysel ve teorik olarak iyi bir şekilde anlaşılmıştır ve farklı elektron saçılma uygulamalarında kalibrasyon amaçlı kullanılmaktadır.

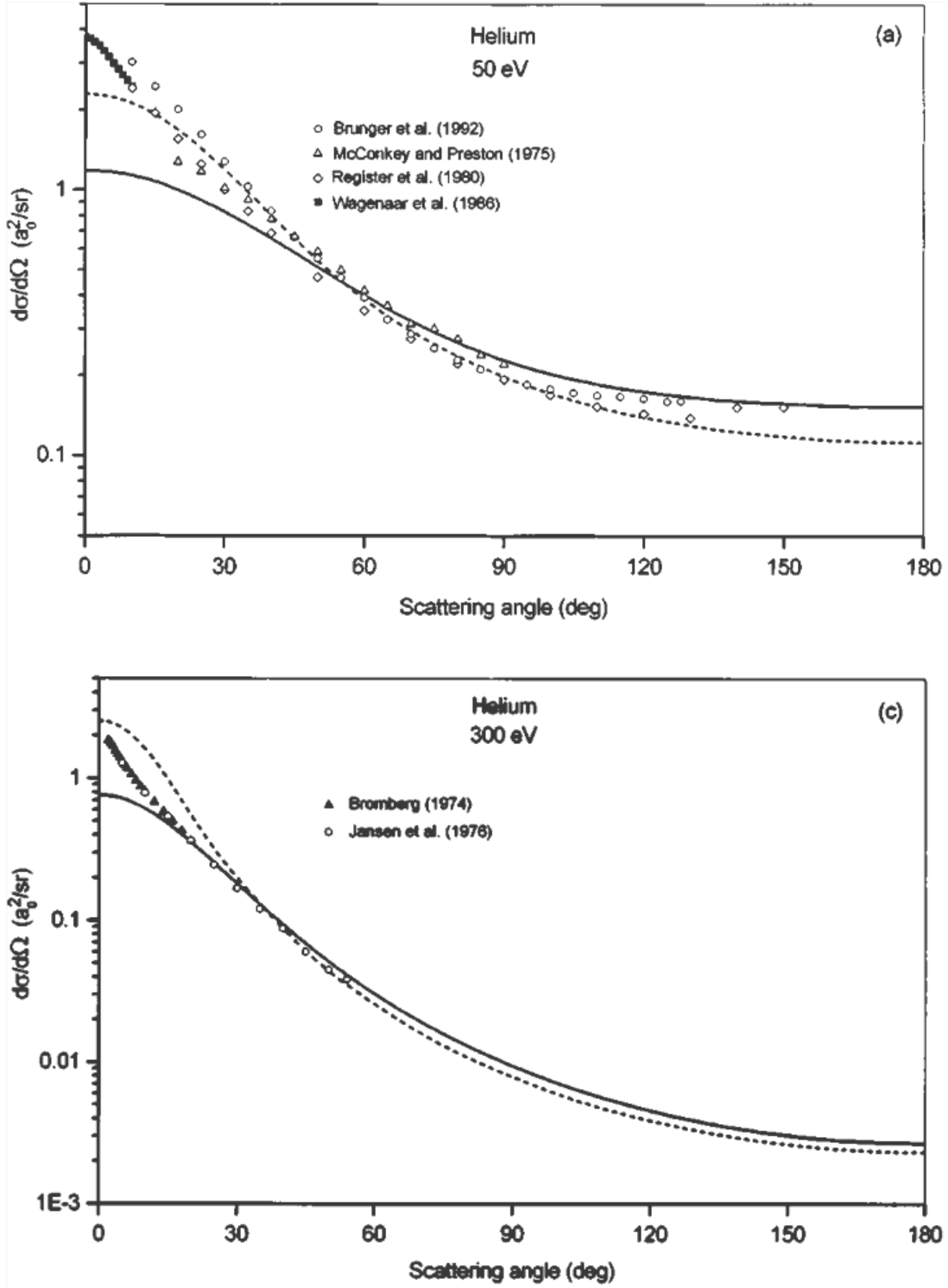
Elastik saçılma olayında düşük enerjili elektronlar, hedef atomun yakınında yüksek enerjili elektronlara göre daha fazla zaman geçirecektir. Elektronlar atomun potansiyelinden daha fazla etkileneceğinden geri saçılma bölgelerinde elektron varlığı gözlenecektir. Buna göre elastik saçılma sonucunda sadece bir saçılan parçacık bulunmaktadır ve enerjisi gelen elektron enerjisine eşittir. Yani hedef ile elektron arasında herhangi bir enerji aktarımı gerçekleşmez. Diğer taraftan elastik saçılma olayında detekte edilen elektronların değişim olasılıklarını hesaplamak için elastik tesir kesiti kavramına ihtiyaç duyulur. Elastik tesir kesiti; $d\sigma(E, \theta) / d\Omega$

$$\frac{d\sigma}{d\Omega}(E, \theta) = \frac{dN_s(E, \theta)}{N_i l d\Omega} \quad (2.8)$$

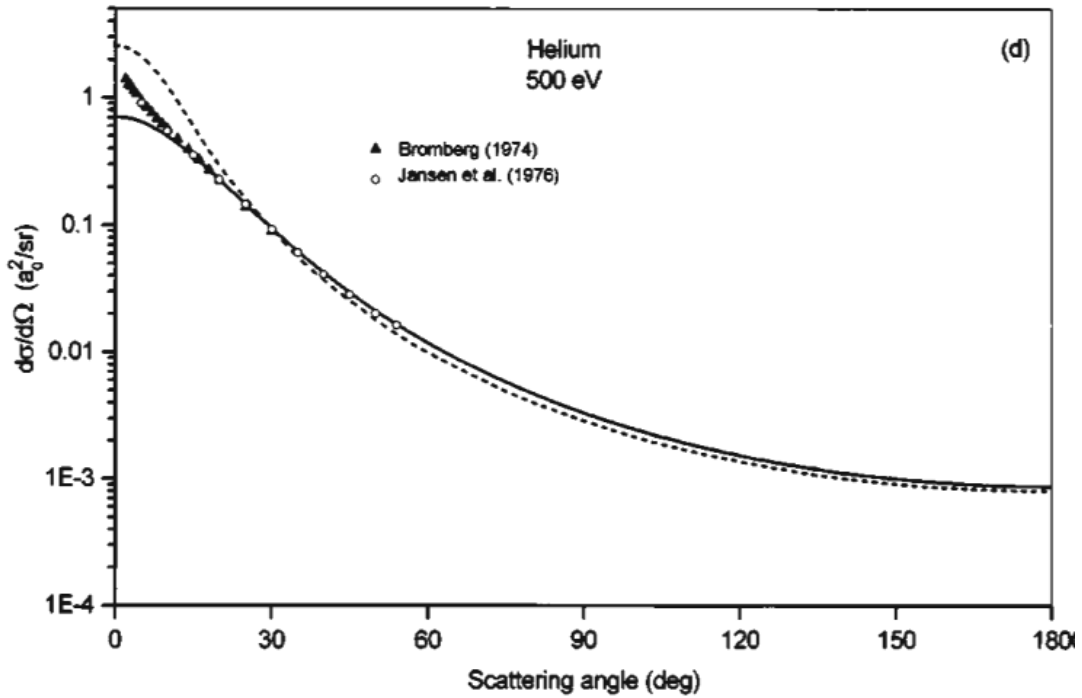
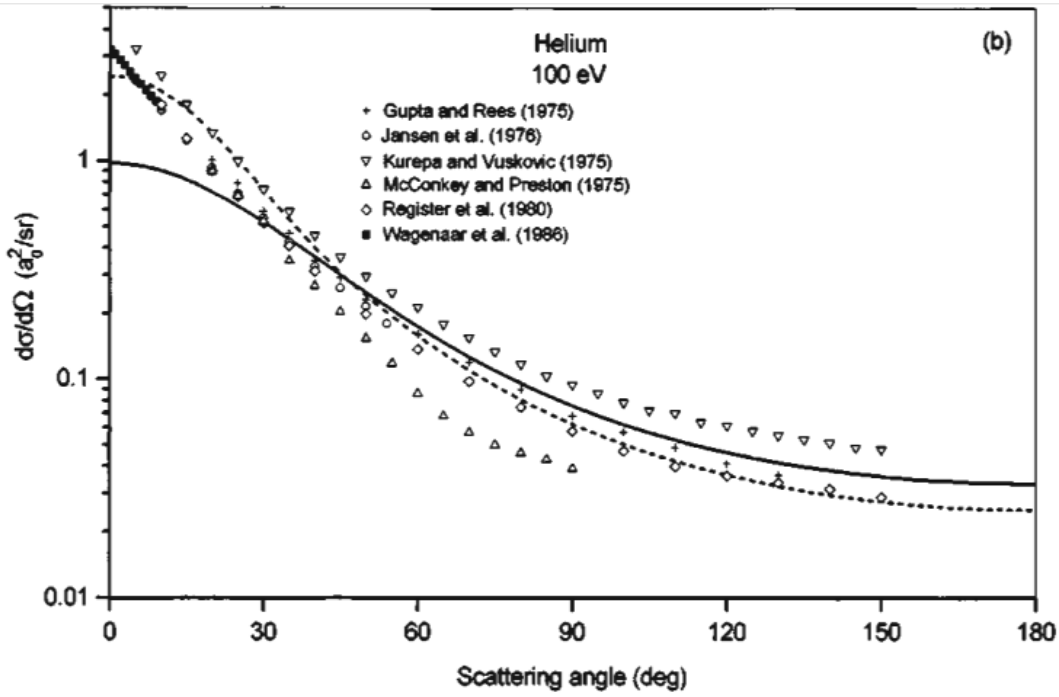
ile tanımlanır (Trajmar *et al.* 2006).

Burada $dN_s(E, \theta)$; gelen elektron demetinin doğrultusuna göre θ açısındaki analizörün $d\Omega$ katı açısı içerisindeki gördüğü E enerjisi saçılan elektronların sayısı ve N_i , l uzunluğunda saçılma içerisinde n yoğunluklu hedef gaz atomları üzerine birim zamanda gelen elektronların sayısıdır.

Şekil 2.7’de enerji çeşitlerine göre elastik saçılma diferansiyel tesir kesitleri ölçümleri alınmıştır ve yapılan çalışmada ölçüm değerlendirilmesi karşılaştırılması yapılmıştır. Ölçüm sonuçlarına göre birbirleriyle uyum içerisinde olduğu gözlenmiştir.



Şekil 2.7a Elastik saçılma diferansiyel tesir kesitlerinin karşılaştırılması, $d\sigma/d\Omega$, Helyum için açığa bağlı olarak iki potansiyelde alınan diferansiyel tesir kesiti ölçümleri.(a) 50 eV enerjili; (c) 300 eV enerjili; Bromberg (1974) [$\blacktriangle$], McConkey ve Preston (1975) [Δ], Gupta ve Rees (1975) [$+$], Kurepa ve Vuskovic (1975) [∇], Jansen vd. [1976] [$\circ$], Register vd. (1980) [$\diamond$], Wagenaar vd. (1986) [$\blacksquare$], Brunger vd. (1992) [$\circ$].



Şekil 2.7b Elastik saçılma diferansiyel tesir kesitlerinin karşılaştırılması, $d\sigma/d\Omega$, Helyum için açığa bağlı olarak iki potansiyelde alınan diferansiyel tesir kesiti ölçümleri. (b) 100 eV enerjili; (d) 500 eV enerjili. Bromberg (1974) [▲], McConkey ve Preston (1975) [△], Gupta ve Rees (1975) [+], Kurepa ve Vuskovic (1975) [▽], Jansen vd. (1976) [○], Register vd. (1980) [◇], Wagenaar vd. (1986) [■], Brunger vd. (1992) [○].

2.4 İyonlaşma

Elektron etkisiyle iyonlaşma olayı, teorik problemlerin de tartışılmasına zemin sağlamaktadır. Elektron etkisiyle iyonlaşma olayında çarpışmadan sonra birbirleriyle uzun menzilli Coulomb etkileşmesi içinde olan en az üç parçacık bulunmaktadır. İyonlaşma mekanizmasının tanımlanması, çok parçacık probleminin çözülmesini gerektirmektedir. Parçacıkların hepsinin enerji ve momentumlarının belirlenmesi iyonlaşma olayının tam olarak tanımlanmasını sağlar.

Elektron etkisiyle iyonlaşma olayı, elektronun enerjisine bağlı olarak direkt iyonlaşma, kendiliğinden iyonlaşma (autoionization), iç ya da orta enerji seviyelerinden iyonlaşma (Auger) olaylarını da içine almaktadır.

2.5 Auger Olayı

Auger etkisi 1925 yılında Pierre Auger tarafından keşfedildi. Bu keşif X-ışınları ile çalışırken ve Wilson bulut haznesini kullanırken yaptı. Çıkan elektronlara karşılık gelen izleri X-ışınlarından oluşan bir demet boyunca gözlemledi. Auger olayı, atomda herhangi bir sebeple dış kabukta oluşan boşluk daha iç bir kabuktaki elektronla doldurulur. Salınan foton üst kabuktaki bir elektronu daha söker. Sökülen elektrona Auger elektronu denir.

Auger elektron spektroskopisi (AES) katı yüzeylerin kimyasal bileşiminin elde edilmesi için oldukça yaygın olarak kullanılan analitik tekniklerden biridir. Bu tekniğin temel avantajları yüzeye yakın 5-20 Angstrom'luk bir alanda kimyasal analizler için yüksek hassaslığa sahip olması, hızlı veri elde etme, hidrojen-helyum-lityumun üzerindeki tüm elementleri algılayabilme becerisi ve yüksek çözünürlük olarak sıralanabilir. Bu yüksek çözünürlük numunenin sonlu bir problem içine odaklanabilen bir elektron demeti ile uyarılmasından dolayı elde edilmektedir. Bu teknik ultra yüksek vakum teknolojisinin ticari olarak ortaya çıktığı 1960'larda geliştirildi.

Bir elektron bir atomun iç kabuğundan çıkarıldığında, oluşan boşluk ya bir ışımalı (X-ışını) ya da bir ışımasız (Auger) süreci ile doldurulabilir. Auger elektron spektroskopisinde atomik çekirdek seviyeleri gelen elektron demeti ile iyonize edilir ve sonucunda Auger elektronları bir elektron spektrometresi ile tespit edilir. Bu elektronlar toplam enerji dağılım fonksiyonundaki küçük pikleri oluşturur. Bir katıya giren yük elektronları hem elastik hem de inelastik saçılmaya uğrarlar. Birincil demet enerjisi keskin bir pik gözlenir buna da numune dışına geri elastik olarak saçılan elektronlar neden olur. Autoionization (Işımasız geçiş) de ise en üst seviyedeki iki elektron eş zamanlı olarak doldurulmamış daha yüksek bir seviyeye uyarılır. Elektronlar eski hallerine döndürüldüğünde diğer bir elektron sökülür. Bu işlemde ikiden fazla elektron da kullanılabilir (Ferreira and Ramos 1987). Işımasız geçişlerin her biri ayrı ayrı isimlendirilmiş olsa da aslında hepsi Auger olayıdır. Auger olayının bir benzeri de kendiliğinden iyonlaşma olayıdır ve ileri ki bölümde daha ayrıntılı şekilde detaylandırılmıştır.

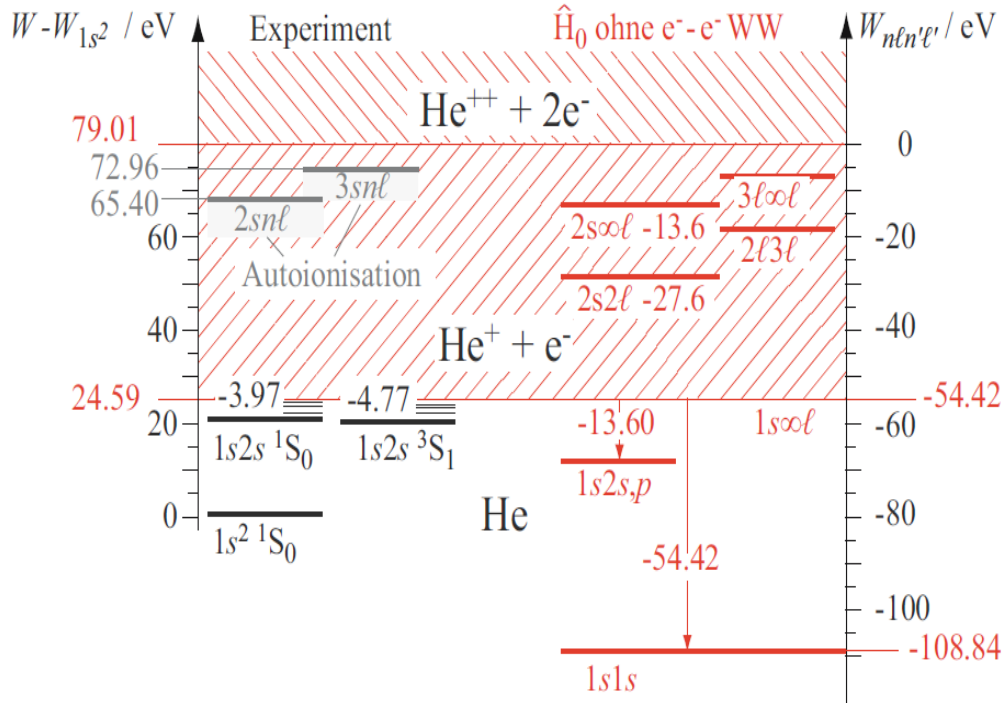
Auger alanında çalışmalar ilk olarak Sewell ve Crowe (1982) tarafından yapılmıştır. İç kabuk iyonizasyonu ile ilgili olarak (e,2e) ve (e,3e) çalışmaları Naja vd. (2007) tarafından elektron detektörlerinin etkinliklerini artırarak gerçekleştirilmiştir.

2.6 Kendiliğinden İyonlaşma (Autoionization)

İki ve daha fazla elektrona sahip olan atomlar, moleküller ve iyonların iki elektronunun birden uyarılmasıyla elektronlar birbirleriyle Coulomb etkileşmesine maruz kalırlar. Etkileşme sonucunda elektronlardan biri, enerjisini diğer uyarılmış elektrona aktararak elektromanyetik ışınım yaymadan düşük enerjili başka bir seviyeye iner. Diğer elektron ise sistemi terk eder. Bu olaya, yüksüz atomlarda “Kendiliğinden iyonlaşma”, moleküllerde “ön-iyonlaşma”, eksi yüklü iyonlara da “Kendiliğinden Ayrılma” denir. Bu olaylara sebep olan durumlara “Rezonans durumlar”, “Yarı-Bağlı durumlar”, enerjilerine de “Rezonans enerjileri” ve “Yarı-Bağlı durum enerjileri” tabirleri de kullanılır.

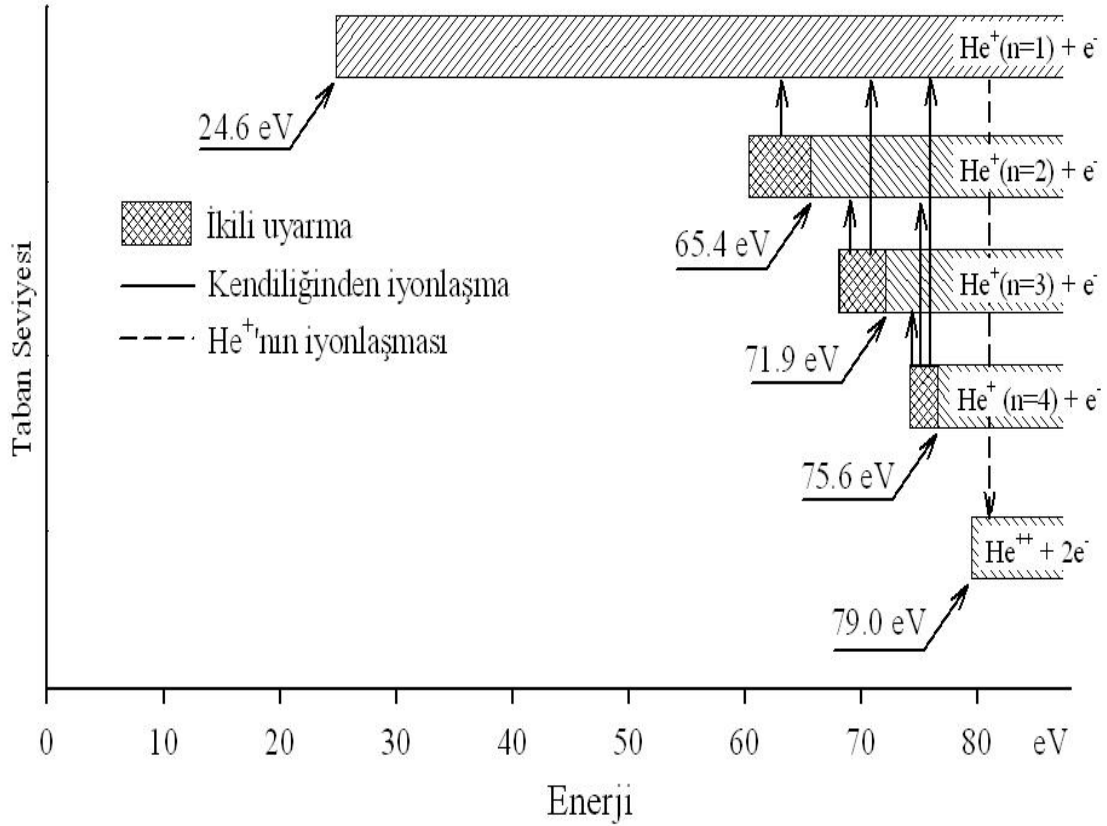
Atom ve moleküllerde kendiliğinden iyonlaşma (autoionization) veya rezonans enerji düzeyleri hem deneysel hem de teorik olarak sıklıkla çalışılmaktadır. Optiksel soğurma (absorpsiyon) spektrumları izinli geçişlerin rezonans profillerinin incelenmesinde kullanılırken, optiksel olarak yasak geçişler yüklü parçacıkların (elektron, proton, iyon gibi) bu hedeflerle çarpışması sonucu gözlemlenmiştir. En temel iki elektronlu helyum atomunda rezonans düzeyleri birinci iyonlaşma eşiğinin üstünde bulunmaktadır. Elektron çarpışma deneylerinde taban durumundaki iki elektron bu düzeylere uyarıldığında bir elektron kendiliğinden iyonlaşmakta ve gelen ve kopan elektronlar tüm açılarda saçılmaktadır.

Uyarılmış atomlarda enerji seviyeleri birinci iyonlaşma eşiğinin altında olduğu zaman atomlar radyasyonsuz geçiş yapamaz. Birden fazla elektronun uyarılması ile meydana gelen durumlar, sürekli bölge içindedir. Bu durumlar ışımsız geçiş yaparak bozunabilirler. Bu geçişler oldukça hızlı meydana gelir ve sürekli bölgedeki ışımalı geçişlerden daha etkilidir (Şekil 2.8).



Şekil 2.8 Helyum atomuna ait uyarma, tekli iyonlaşma, iki kere uyarma-kendiliğinden iyonlaşma ve ikili iyonlaşma enerji düzeyleri (Şişe 2011).

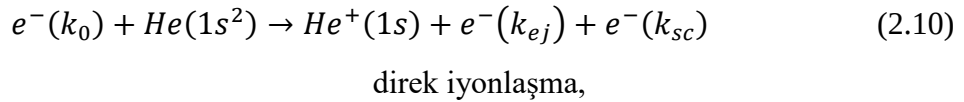
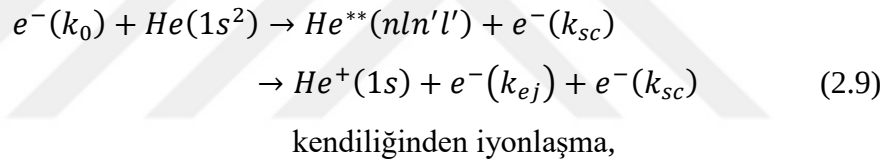
Örnek olarak; iki elektronlu $2s2p$ yerleşiminde bir tekli spin durumu oluşturan helyumun $(2s2p)^1P$ durumunu göz önüne alalım. Bu durum mor üstü ışınımı soğurarak $(1s) 2^1S$ taban durumundan uyarılabilir. Çünkü $L=\mp 1$ ve $S=0$ seçim kuralları sağlanır. Uyarılmadan sonra $(2s2p)^1P$ durumu helyumun bağlı durumlarına (yani taban durumunu içeren 1D ve 1S durumlarına) ışınlımlı geçişlerle bozunabilir. Bununla birlikte bu durum, ışınlımsız (kendiliğinden iyonlaşma) bir serbest elektron ve bir de taban durumunda He^+ iyonuna da bozunabilir. Bu serbest elektronun enerjisi enerjinin korunumundan bulunur. Kesin hesaplamalar helyumun bağlı durumuna kendiliğinden iyonlaşma geçişinin ışınlımlı geçişinden çok daha muhtemel olduğunu göstermektedir. Bu helyumun iki kez uyarılmış başka durumları içinde doğrudur. Sonuç olarak helyumun iki kez uyarılmış durumlarına karşılık gelen yayımlama spektrumunun çizgileri çok zayıftır. He atomunun spektrumunda gözlenen birkaç kanal diyagramı ve onların kendiliğinden iyonlaşmaları ile ilgili olan geçişler Şekil 2.9'da verilmektedir.



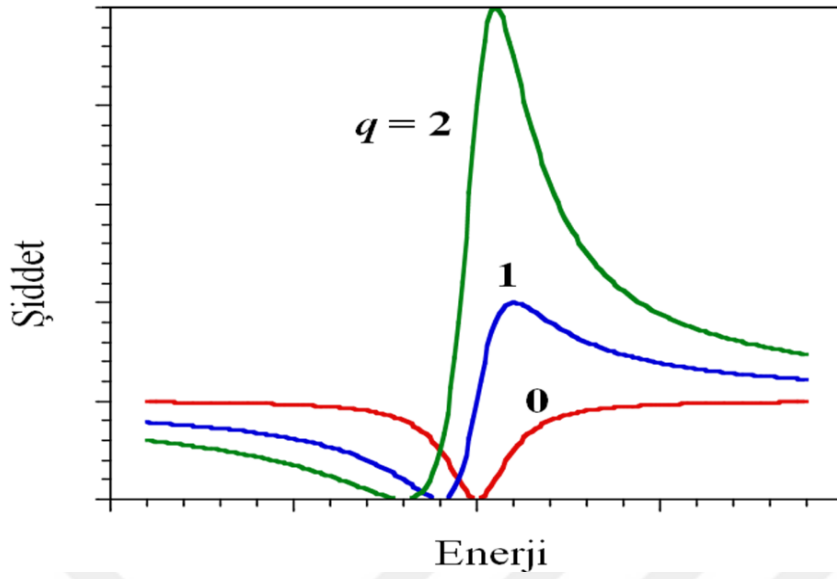
Şekil 2.9 Helyum atomunda kendiliğinden iyonlaşma enerji spektrumlarının gösterimi.

Helyumun ikili uyarma durumları Madden ve Codling (1965) tarafından yapılan ışık soğurma deneyinden bu yana çok ilgi görmüştür ve o zamandan beri kendiliğinden iyonlaşma olayında ki çalışmalara öncü olmuştur. İki elektron arasındaki güçlü etkileşim kendiliğinden iyonlaşma olayı ve uyarılma süreçlerinde keskin çizgiler oluşur. İyonlaşma bölgesinde gömülü bu çizgiler Fano adında şekil olarak belirlenir. Kendiliğinden iyonlaşma olayı ile ilgili ilk teorik çalışmalar 1961 yılında Fano tarafından rapor edilmiştir. O zamandan beri, Fano-q parametreleri ve kuantum sorunları da dahil olmak üzere helyumun rezonans enerjileri ve ikili uyarma rezonanslarının hareketine bağlı olayları açıklamak için daha ayrıntılı çalışmalar Domke vd. (1991) tarafından yapılmıştır.

Elektron etkisiyle kendiliğinden iyonlaşma durumlarında uyarılma varsa bu kendiliğinden iyonlaşma olayında doğrudan (direk) iyonlaşma şu formüllerde ifade edilir:

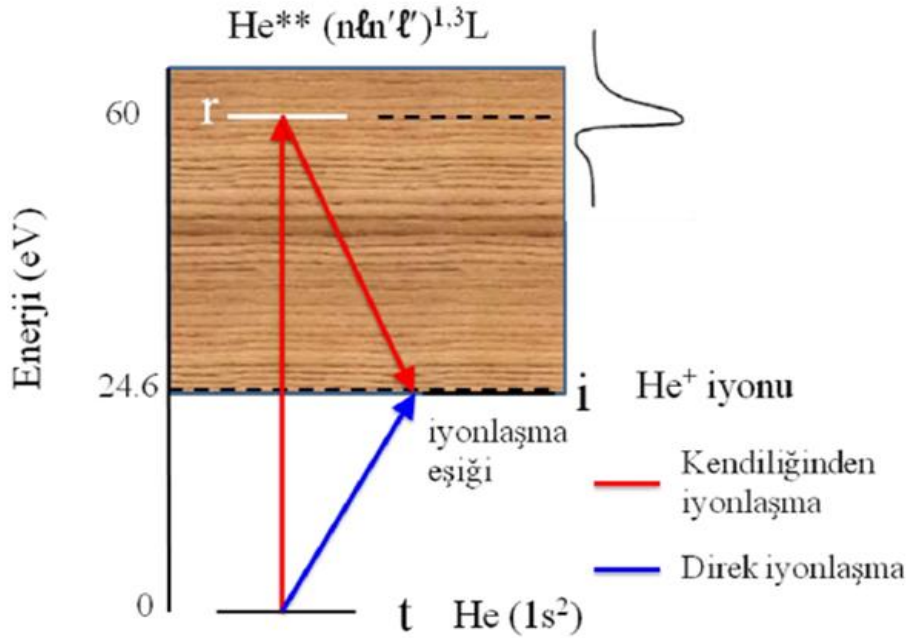


k_0 , k_{ej} ve k_{sc} sırasıyla olayın, kopan elektronun ve saçılan elektronun momentumlarını göstermektedir. Kendiliğinden iyonlaşmada ki son kısım tamamen direk iyonlaşma kısmıyla benzerdir. Bu iki süreçte de enerji uçları arasındaki girişim genlikleri dejeneredir. Sonuç olarak doğrudan ve rezonans durumlarının göreceli fazları farklı, sadece büyüklükleri aynı asimetric Fano profilleri gözlemlenecektir (Şekil 2.10).



Şekil 2.10 Fano (1961) tarafından parametrize edilen rezonans profilleri.

Fano ve arkadaşları (1961) ışık soğurma ve elektron enerji kaybı spektroskopisi (EELS) için rezonans profilleri hakkında bir teorik analiz verirken, kopma elektron spektroskopisi (EES) için rezonans türleri hakkında farklı türde parametrizasyonlar Shore, Balashov ve Tweed tarafından türetilmiştir (Zhang *et al.* 2012).



Şekil 2.11 Direkt iyonlaşma ve bir rezonans düzeyi aracılığı ile iyonlaşma durumlarının gösterimi (Şişe 2011).

Kendiliğinden iyonlaşma ve direk iyonlaşma olaylarının her ikisinde de sonuç atomun iyonlaşmasıdır. Şekil 2.11’de bu geçişlere ait düzeyler şematik olarak gösterilmiştir. Burada: t – He atomu için taban durumunu, r – İkili uyarma rezonans durumunu ve, i – He^+ iyonu için taban durumunu göstermektedir. $t \rightarrow r \rightarrow i$ geçişi kendiliğinden iyonlaşmayı ve $t \rightarrow i$ ise direk iyonlaşma geçişini göstermektedir (Şişe 2011).

Helyum atomunun kendiliğinden iyonlaşma durumlarının enerji seviyelerinin alt yapısını teorik olarak yorumlanması 1963 yılında Cooper, Fano ve Prats tarafından devam edildi. Sonrasında ise kendiliğinden iyonlaşma olayında ek olarak birçok ilave durumlar bulundu. Helyumun enerji durumlarında 35 eV’nin altında ilk iyonlaşma limit değeri 24,6 eV olup bu temel durum için 165-200 Å⁰ radyasyon ışıma gerekmektedir. Bu tür önemli enerji durumunda hem elektronların aynı anda uyarma gerektirmesi açısından helyum atomu ilgi çekicidir. Bu enerji bölgesinin yakınında uyarılmış elektronlar arasında etkileşme devam eder ve kendiliğinden iyonlaşma bölgesi saniyede 10^{-13} - 10^{-14} hızla bozulur.

Helyumun iki elektron uyarılma seviyelerinde ki varoluşunun ilk deneysel ispatı Compton ve Boyce (1928) ve Kruger (1930) tarafından yapılmıştır. Daha sonraki teorik çalışmalar 1944 yılında Wu tarafından desteklenmiştir (Wu 1944). Mevcut çalışmada gözlenen optiksel absorpsiyonda iki en önemli temel rezonans spektrumları varlığına dair kanıtlar ilk olarak Whiddington ve Priestley (1934) tarafından elde edildi ve Helyumun ileri bölgesinde saçılan elektronların enerji kayıp spektrumlarını 1964 yılında Silverman ve Lassettre gözlemlemiştir (Silverman and Lassettre 1964). Farklı enerji ve kendiliğinden iyonlaşma olasılığında birkaç mümkün ikili uyarma durumlarının hesaplamalarını (Fender and Vinti 1934, Wu 1934, 1944, Wilson 1935, Kiang *et al.* 1936, Bransden and Dalgarno 1953, Propin 1960, Cooper *et al.* 1963, Burke *et al.* 1963, O’ Malley and Geltman 1965) yapmıştır. Ayrıca Silverman ve Lassettre’nin ortaya koyduğu kendiliğinden iyonlaşma durumundaki elektron geçişlerinin soğurma profillerinin detaylı teorik olarak formüle edilmesi de Fano tarafından gerçekleştirilmiştir. Sonrasında Helyumun ikili uyarma durumlarında yüksek çözünürlükle ışıma deneyleri Domke vd. (1991, 1992, 1995) tarafından yapılmıştır.

Helyum atomu için elektron-elektron korelasyonunda bir analitik çözümü üretme durumu için sayısız teorik araştırmalar geliştirilmiştir. Kuantum sayılarına göre rezonansların sınıflandırılmasında farklı yaklaşımlar ortaya çıkmıştır (Herrick 1983, Lin 1986, Feagin and Briggs 1986).

Brauner vd. (1989) üç Coulomb dalga fonksiyonu (Three-Coulombwavefunction; 3C) teorisini iyonlaşma tesir kesitlerinin hesaplanmasında kullanmıştır. Burke (1994) tarafından hazırlanan iki ayrı çalışmada elektron-atom/iyon/molekül çarpışma teorisi ayrıntılı bir şekilde incelenmiştir.

Kendiliğinden iyonlaşma olayına ait dinamikler saçılan ve kopan elektronların eş zamanlı olarak detekte edildiği (e,2e) deneylerinde detaylı olarak incelenmektedir. İlk olarak Balashov vd. (1973) (e,2e) tekniğinin kendiliğinden iyonlaşma için kullanılmasını önermiştir. (e,2e) tekniği iyonlaşma olayı hakkında detaylı bilgilere ulaşılmasını sağlasa da deneysel olarak bu tekniğin uygulamaları sınırlı kalmıştır. Bu durumu kendiliğinden iyonlaşma olayı için tesir kesitlerinin düşük olması, yüksek enerji çözünürlüğü gerektirmesi ve girişim etkisinden dolayı spektrumlarda karışık durumların gözlemlenmesinden kaynaklanmaktadır.

2.7 Helyum Kopan Enerji Spektrumu

Rezonans düzeyleri atomdan saçılan elektronun detekte edilmesiyle incelenebileceği gibi çarpışma sonucu atomdan kopan elektronun detekte edilmesiyle de incelenebilir. Helyum atomunun kendiliğinden iyonlaşma deneyleri, elektron-elektron korelasyonlarını ve kendiliğinden iyonlaşma olayını daha iyi anlamayı sağlamakta aynı zamanda da atom çarpışma teorisini daha ayrıntılı sınamaktadır.

Son birkaç yılda Helyum atomunun kendiliğinden iyonlaşma olayını gözlemlemek için, elektron enerji kaybı spektroskopisi (electron energy loss spectroscopy; EELS), kopan elektron spektroskopisi (ejected-electron spectroscopy; EES) ve (e,2e) çakışma tekniği gibi birkaç elektron-etkileşme metotları çalışılmıştır. Helyumun kendiliğinden iyonlaşma durumlarının EES metodundaki çalışmaları uzun yıllar boyunca incelenmiştir.

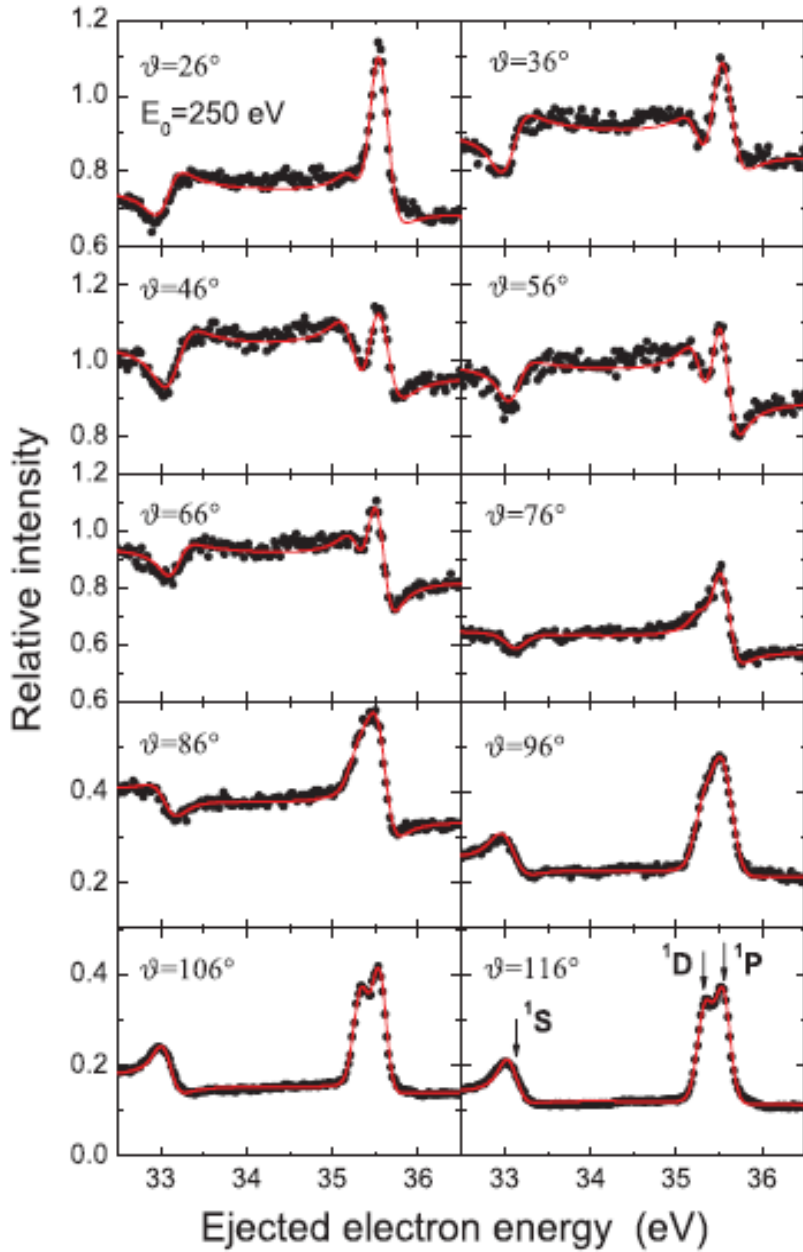
Zhang vd. (2012) tarafından yapılan çalışmada pozisyonların belirlenmesi üzerinde durulmuş ve çalışmalarda farklı enerjilerde (65-1000eV) ve belirli bir kopma açısı (13° - 142°) aralığında kendiliğinden iyonlaşma durumlarında EES spektrumuna göre 4 tane ikili uyarma ($2s^2$) 1S , ($2s2p$) 3P , ($2p^2$) 1D ve ($2s2p$) 1P rezonans durumları elde edilmiştir (Oda *et al.* 1970). Farklı kopma açıları ve 70, 80 ve 100 eV'lik enerji değerlerinde EES spektrumları Gelebart vd. (1976) tarafından gözlemlenmiştir. Ayrıca 100 eV'lik enerji durumu Pochat vd. (1982) tarafından da incelenmiştir. Her iki çalışmadaki spektrumların analizleri için Shore-Balashov parametризasyonları kullanılmıştır. İki çalışmanın sonucunda bazı farklılıklar varken Moorehead ve Crowe tarafından yürütülen başka bir deney ise, Gelebart vd. (1976) tarafından elde edilen sonuçları desteklemiştir (Moorehead and Crowe 1985).

1992 yılında enerjileri 70, 80, 100 ve 200 eV olan ve kopma açıları 40° - 130° arasındaki bu 4 rezonans durumlarının Shore parametreleri kullanılarak elde edilen yeni sonuçlar McDonald ve Crowe tarafından sunulmuştur (McDonald and Crowe 1992). Özellikle küçük açılarda Zhang vd. (2012) çalışmaları Gelebart vd. (1974) tarafından yapılan çalışmalar ile uyumsuzluk göstermiştir (Gelebart *et al.* 1974). Yakın zamanlarda, Şişe vd. (2011) tarafından 250 eV'de ($2p^2$) 1D ve ($2s2p$) 1P durumlarının EES'de Shore parametrelerinin açısal bağımlılığı gösterilmiştir. McDonald ve Crowe tarafından 200 eV'de elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılarak küçük ve büyük kopma açılarının ikisinde de her iki enerji düzeyinde farklılıklar gözlenmiştir.

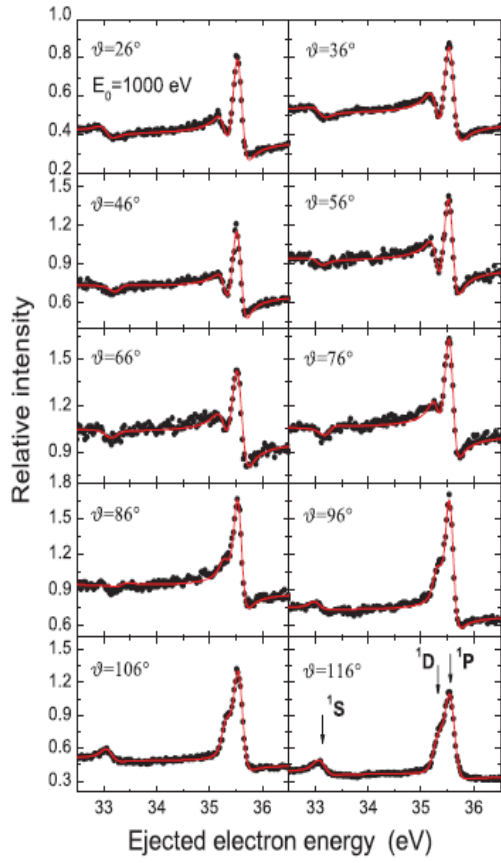
Helyum atomunun belirli bir sistem içindeki kendiliğinden iyonlaşma bölgesinin ölçümleri güçlü elektron çarpışma enerjisine ve kopma açısına bağlıdır. Bundan dolayı ölçüm sonucu özelliğin doğru yorumlanması için farklı elektron etkisi enerjileri ve farklı kopma açılarındaki ölçümler yapmak gereklidir. Elektron etkisi ile yürütülen çalışmalar iki kategoriye ayrılabilir; elektron enerjisinin 500 eV'nin altında düşük ya da 500 eV'nin üstünde yüksek olduğu çalışmalar.

Düşük enerjili mermiler uzun yıllardır yoğun şekilde kullanılmıştır. Düşük enerjili iyon-atom çarpışmalarının incelenmesi her ne kadar astrofizikte olduğu gibi uygulama alanları buluyorsa da temelde atomik yapıyı incelemeyi hedefler.

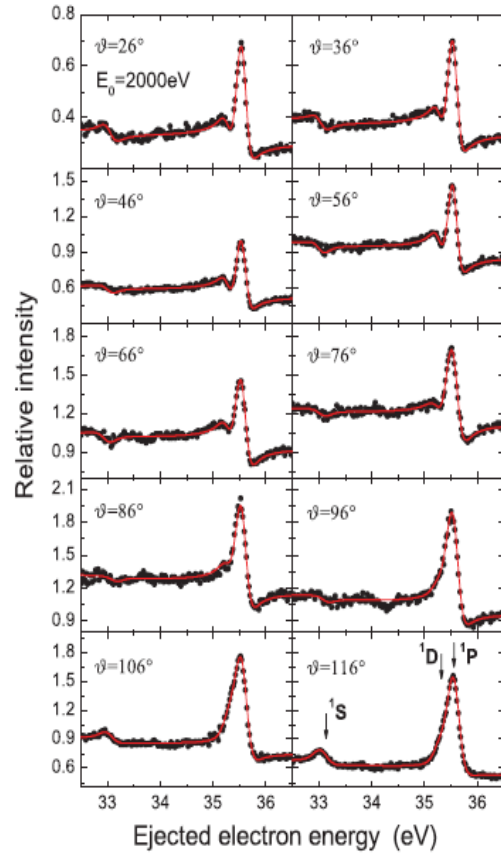
Zhang vd. (2012) tarafından farklı enerjilerde (250, 1000 ve 2000 eV) ve kopma açısı aralığında (26° - 116°) deneysel olarak elde edilen $(2s^2)^1S$, $(2p^2)^1D$ ve $(2s2p)^1P$ rezonans profillerinin spektrumları 250 eV enerjili elektronlar için Şekil 2.12 ve 1000 eV ve 2000 eV enerjili elektronlar için Şekil 2.13'te gösterilmiştir. Birbirleriyle uyumlu birleşen bu üç spektrumunda aslında tüm olay enerjileri ve açılarda deneysel spektrumu ile aynı fikirde olduğu görülebilir.



Şekil 2.12 Helyum atomunun kopma açısı 26° - 116° arasında ve enerjisi 250 eV de iken kopan elektron spektrumu. Düz çizgiler verilerle genel uyumda olduğunu ve katı daireler ölçüm spektrumlarını belirtmektedir (Zhang *et al.* 2012).



(a)



(b)

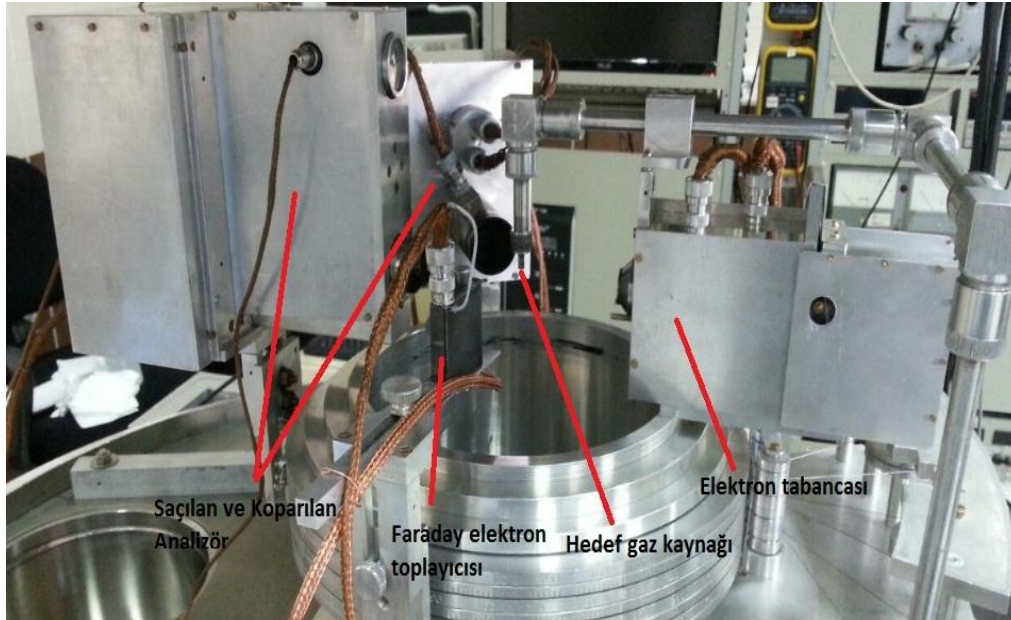
Şekil 2.13 a ve b, kopma açıları aynı sadece enerjilerinde farklılık vardır. Enerjileri sırasıyla 1000eV ve 2000eV olarak ölçüm yapılmıştır.

3. MATERYAL ve METOD

Bu bölümde Afyon Kocatepe Üniversitesi, e-COL laboratuvarında bulunan deney düzeneğinin sistematik yapısı ve çalışma prensibi anlatılacaktır. Elektron çarpışma sisteminin genel görünümü Şekil 3.1’de verilmiştir. Elektron çarpışma deneyleri, iyi odaklanmış bir elektron demetinin dik doğrultuda gönderilen bir gaz demeti ile çarpıştırılması sonucu oluşan parçacıkları enerji ve açılarına göre eş zamanlı olarak detekte edilmesi, elde edilen sinyallerin işlenip bilgisayar ortamında analiz edilmesi ile gerçekleştirilir. Elektron çarpışma deneylerinin gerçekleştirilmesi için deney düzeneğinin tüm parçalarının vakum ortamında yer almaları gerekmektedir. Elektron tabancası, iki enerji analizörü, Faraday elektron toplayıcı (FET), birbirinden bağımsız döner tablalar üzerine seviye ayarları yapılarak yerleştirilmişlerdir.

3.1 Elektron-Atom Çarpışma Deney Düzeneği ve Elemanları

Elektron spektrometresi deney düzeneği; vakum sistemi, elektron tabancası, hedef gaz kaynağı, Faraday elektron toplayıcısı (FET), elektron enerji analizörü, elektron detektörleri, sinyal işleme üniteleri ve elektronik bağlantılardan oluşmaktadır.



Şekil 3.1 Elektron çarpışma (e-COL) laboratuvarında ki elektron spektrometresinin yandan çekilmiş fotoğrafı.

Vakum çemberi içinde sabit bir açıya yerleştirilen elektron tabancasıyla üretilen elektron demeti, etkileşme bölgesine doğru lensler yardımıyla elektrik alanlar vasıtasıyla yönlendirilir. Elastik veya inelastik çarpışma olaylarından herhangi biri için saçılan veya koparılan elektronlar enerji analizörleriyle detekte edilirler. Analizörler gelen elektron demetine göre istenilen farklı açılara yerleştirilebilirler. Enerji analizörünün çıkışına gelen elektronlar çoğaltıcı detektörler (channel elektron multipler; CEM) ile çoğaltılarak sinyal işleme ünitesine gönderilir. Buradan da bilgisayar ortamına aktarılır.

3.1.1 Vakum Sistemi

Vakum sistemi, elektron çarpışma deneylerinin en önemli kısmı oluşturmaktadır. Bunun nedeni ise çalıştığımız ortamda sadece hedefe ait gaz olduğundan emin olmak istenmesidir. İstenilen hedef gaz dışında herhangi yabancı bir gazın ortamda bulunmaması gerekir. Bunun için ideal olan bir sistemde sadece incelenmek istenilen atom bulunmalıdır. Elektron spektrometre parçaları döner tablalara sabitlenmiş bir şekilde vakum odası içerisine yerleştirilmektedir. Deney boyunca vakum odası pompa sistemi yardımıyla boşaltılırken, aynı zamanda ölçüm yapılmak istenen hedef gaz sabit bir oranda vakum odası içine gönderilmekte ve sabit bir basınç sağlanmaktadır.



Şekil 3.2 Turbo moleküler ve mekanik pompalar, basınç ölçüm-görüntüleme cihazları ve bağlantılarının birlikte bulunduğu istasyonun yakından görünümü.

Pompa sistemi düşük basınçlara inebilmek için kullanılan iki aşamalı bir sistemdir. Destek pompa (Backingpump) olarak mekanik (Rotary) pompa, yüksek vakum pompası olarak da turbo moleküler pompa (TMP) kullanılmaktadır (Şekil 3.2). Kullanılan vakum odasında $\sim 10^{-8}$ mbar'a kadar düşülmüştür. İçeriye hedef gazın verilmesiyle birlikte çalışma basıncı $\sim 6 \times 10^{-6}$ mbar'a kadar yükselmekte ve kararlı bir şekilde bu değerde kalmaktadır. Basınç ölçümü bir basınç ölçer (ion gauge; Pfeiffer) ile yapılmaktadır. Çalışma basıncının görüntülenmesi, basınç ölçere bağlanan dijital gösterge yardımıyla yapılmaktadır.

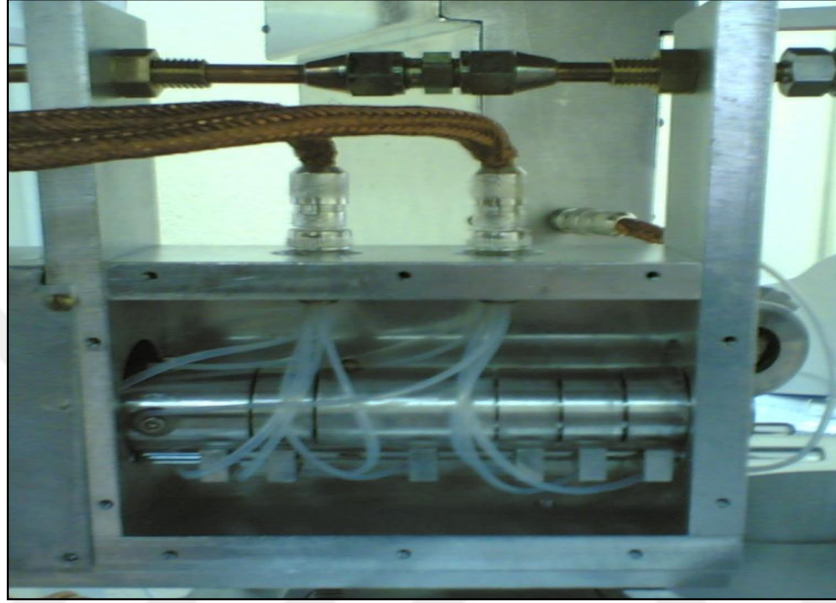
Vakum odası manyetik özelliği olmayan paslanmaz çelikten yapılmıştır. Manyetik alanlar düşük enerjili elektronların yörüngesinde değişikliğe sebep olduğu için çarpışma bölgesinde dışarıdan gelen manyetik alan etkileri en aza indirilmeye çalışılmıştır. Bu amaçla, vakum odasının iç çeperinde mu-metal kılıf bulunmaktadır. Bu kılıf, dış manyetik alanlarının çarpışma bölgesine etkisini daha da azaltmak için kullanılmaktadır. Ayrıca x, y ve z yönlerine yerleştirilen Helmholtz bobinleri ile dış manyetik alanın etkisi en aza indirilmeye çalışılmıştır.

3.1.2 Elektron Tabancası

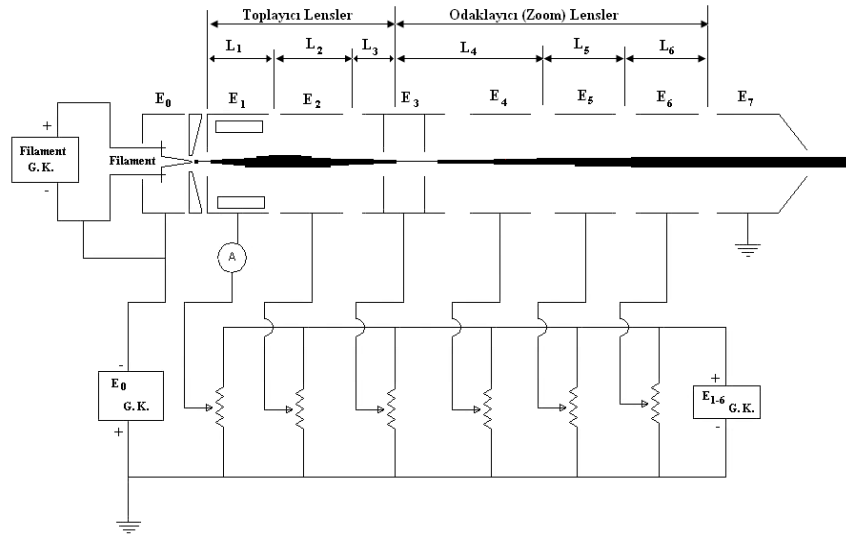
Bir elektron tabancası toplamda 7 lensten genel olarak da üç kısımdan oluşmaktadır. Bunlar, (i) elektron üretimini gerçekleştiren filament veya katot bölgesi, (ii) demetin odaklanma ve yönlendirilmesini sağlayan elektrostatik lens sistemi ve (iii) demetin açısal dağılımını belirleyen delikli disklerdir. Ayrıca demetin eksensel olarak kaymasını engellemek için de X ve Y yönlerinde deflektörler kullanılmaktadır (Ulu 2007). Elektron-atom çarpışmalarının incelenmesinde çakışma tekniğinin verilerinin iyi sonuçlanması elektron tabancası çözünürlüğüne bağlıdır. Böylesi bir çalışmada yüksek yoğunluklu bir elektron demetinin oluşturulması ve odaklanması önemlidir. Deney düzeneğinin performansının artırılması için elektron demetinin akımının, enerjisinin ve çapının uygun bir şekilde ayarlanması gerekmektedir. Deneyler sırasında demet akımının ve çapının uzun süreler (6-12 ay) boyunca sabit kalması istenmesi nedeniyle üretilen elektron demetinin kararlı ve uzun bir periyotta değişmemesi gerekmektedir (Özer 2013). Elektron tabancasının performansı 50 ile 350 eV enerji aralığında, $1 \mu A$ 'lık akımlı ve 1-2 mm çapında paralel elektron demeti üretebilmelidir.

Şekil 3.3’de elektron spektrometresinde kullanılan elektron tabancasının görünümü verilmiştir.

Şekil 3.4’te ise elektron tabancasını oluşturan elektrostatik lens elemanları ve elektrik bağlantıları görülmektedir.

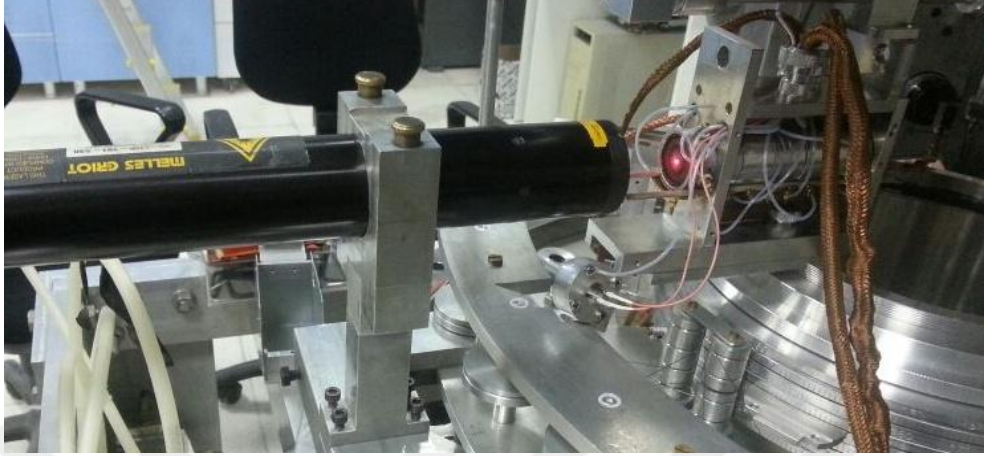


Şekil 3.3 Elektron tabancasının genel görünümü ve iç kısmı.



Şekil 3.4 Elektron tabancasının mercek elemanlarının ve elektronik kontrol sisteminin şematik gösterimi.

Şekil 3.5'te bu çalışmada kullanılan elektron tabancasının sistem üzerindeki şeklini ve lazerle kontrol edilme durumunun fotoğrafı görülmektedir (Özer 2013).



Şekil 3.5 Elektron tabancasının lazer ile seviye ayarının gösterimi.

Elektron tabancalarında tungsten filament Şekil 3.6'da gösterildiği gibi bir Wehnelt elektrodunun içine ve bir anot elektrotu ile arasında belirli bir mesafe kalacak şekilde yerleştirilir. Katot bölgesinde filamentten üretilen elektronlar Wehnelt elektrotu yardımıyla hızlandırılarak anot diskine doğru odaklanırlar. Odaklanan elektronlar anot voltajına göre pozitif veya negatif potansiyelde tutulabilmektedir. Elektron tabancasında kullanılan tungsten hairpin filamentin, Wehnelt elektrotu içindeki pozisyonu önemlidir. Filamentin doğru yerleştirilmesi akımı artırır (Özer 2013).

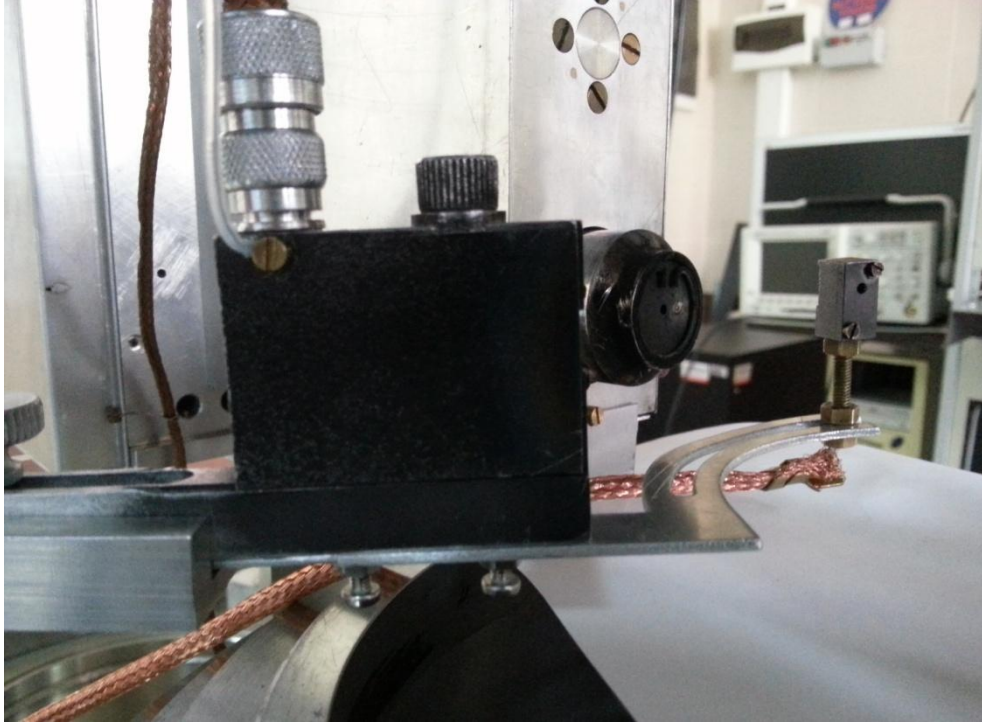


Şekil 3.6 Hairpintipi filament ve filamentin elektron tabancasına yerleştirilmiş halinin görüntüsü.

3.1.3 Faraday Elektron Toplayıcı

Deney sırasında elektron demeti sürekli olarak Faraday Elektron Toplayıcı (FET) tarafından toplanmaktadır. Faraday elektron toplayıcı, üretilen elektron demetinin akımını ve tabancanın odaklama kalitesini belirlemekte kullanılmaktadır ve sisteme hedef gaz demeti verilmeden önce elektron tabancasının tam karşısına yerleştirilmektedir. Ayrıca hedef gaz ile çarpışmadan sonra çarpışmaya girmeyen elektronların topraklanarak ikincil saçılmaların önlenmesi için kullanılmaktadır. Böylece FET sayesinde elektron tabancasının odaklama kalitesi deneyden önce ve deney süresince ölçülmektedir.

Saçılan analizörün açı sınırlılığını ortadan kaldırmak için Şekil 3.7’de görüldüğü gibi FET’e sabitlenen daha küçük boyutlarda ikinci küçük FET yerleştirilmiştir. Bu sayede saçılan elektron analizörü ile 6° - 32° aralığında ölçüm alınabilmektedir.

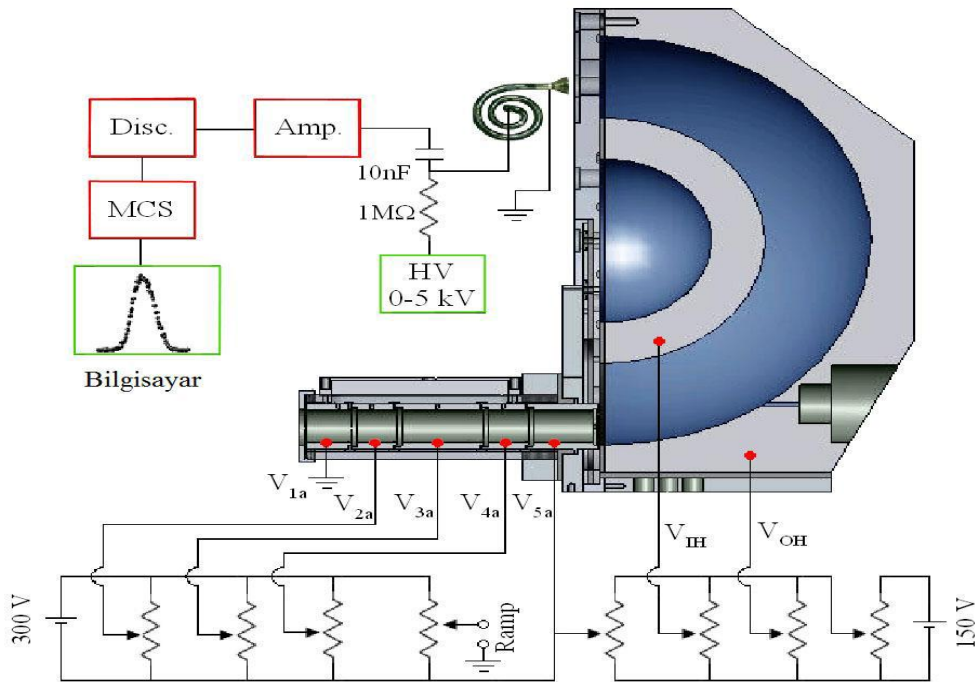


Şekil 3.7 FET ve saçılan analizörün açı kısıtlamasını ortadan kaldırmak için FET üzerine yerleştirilen daha küçük boyutlardaki ikinci küçük FET' in görüntüsü.

3.1.4 Elektron Enerji Analizörü

Elektron tabancasının çıkışında oluşturulan elektron demeti etkileşme bölgesinde hedef atomla çarpıştıktan sonra farklı açılarda ve enerjilerde yayılır. Analizörler, çarpışma sonrası hedeften saçılan ve iyonlaşan elektronları enerjilerine göre seçerek detekte eden sistemlerdir. Bir analizör sistemi, etkileşme bölgesinden gelen elektron demetini odaklamak için kullanılacak olan giriş lens optiği, enerji analizinin yapılacağı 180° yarıküresel deflektör kısmı ve elektron çoğaltıcı detektör (CEM)'den oluşmaktadır. Giriş optiğinin iki işlevi bulunmaktadır; i) analizör girişine gelen elektronları yarı-küresel deflektör girişine odaklamak, ii) E_{5a} lensine uygulanan toprağa göre negatif gerilim (retarding potential) sayesinde gelen elektronları yavaşlatarak yarıküresel deflektörlerin etkin çalışabildiği enerji seviyelerine getirmektir.

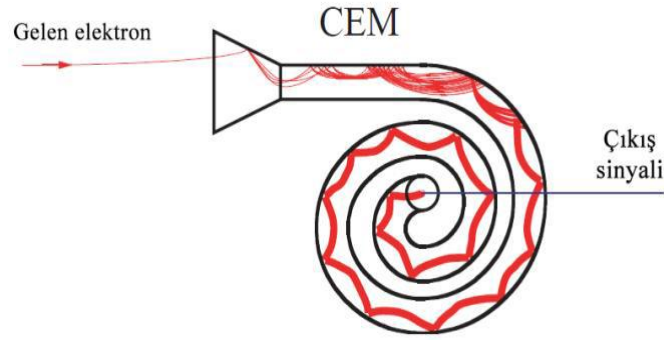
Dış yarıküreye (OH) negatif, iç yarıküreye (IH) ise pozitif gerilim uygulanarak belirlenen enerjiye sahip elektronların merkez yörüngede kalması sağlanmakta, dolayısıyla sadece istenilen enerjideki elektronlar detektör girişine yönlendirilmektedir (Şekil 3.8).



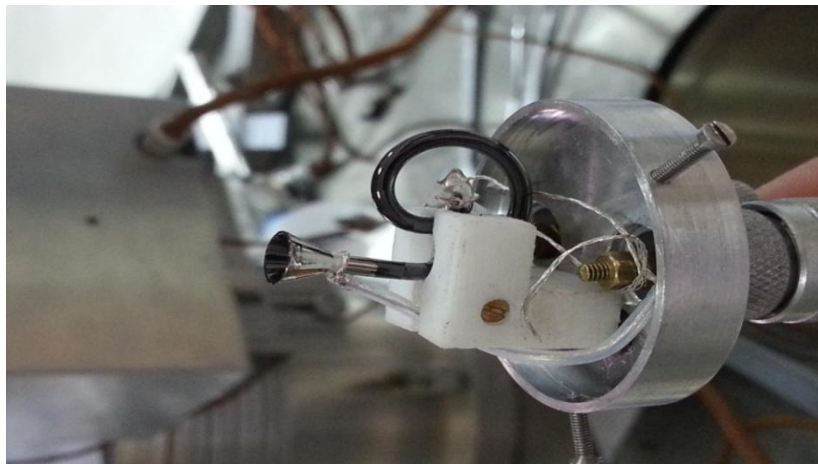
Şekil 3.8 Elektron analizörü ve giriş optiğinin kesit görünümü (Şişe 2008).

Elektron tabancası ve elektron enerji analizörlerinin toplam enerji çözünürlüğü, elastik saçılma sonucu elastik saçılma spektrumunun yarı yükseklikteki tam genişliği alınarak elde edilmektedir. Bu bize sistemin toplam enerji çözünürlüğünü vermektedir. Elastik saçılma olayını gözlemlerken elektron tabancası ve enerji analizörü de çözünürlüğü etkilemektedir.

Elektronlar, analizörün yarıküresel yörüngesinde düzgün bir şekilde yolu izleyerek deflektörün çıkışına ulaşır. Deflektörün çıkışına ulaşan tek elektron okunabilir büyüklükte sinyal üretemez. Bu nedenle deflektörün çıkışına yerleştirilen detektör ile gelen elektronlar çoğaltılmaktadır (Şekil 3.9). Böylelikle sinyal işlenebilir büyüklüğe gelmiş olmaktadır. Elektronların hızlandırılması giriş ve çıkış uçları arasında yüksek voltaj (2,0-2,5 kV) uygulanarak gerçekleştirilir.



Şekil 3.9 Tek kanallı elektron çoğaltıcı içinde çoğalma işleminin gösterimi.



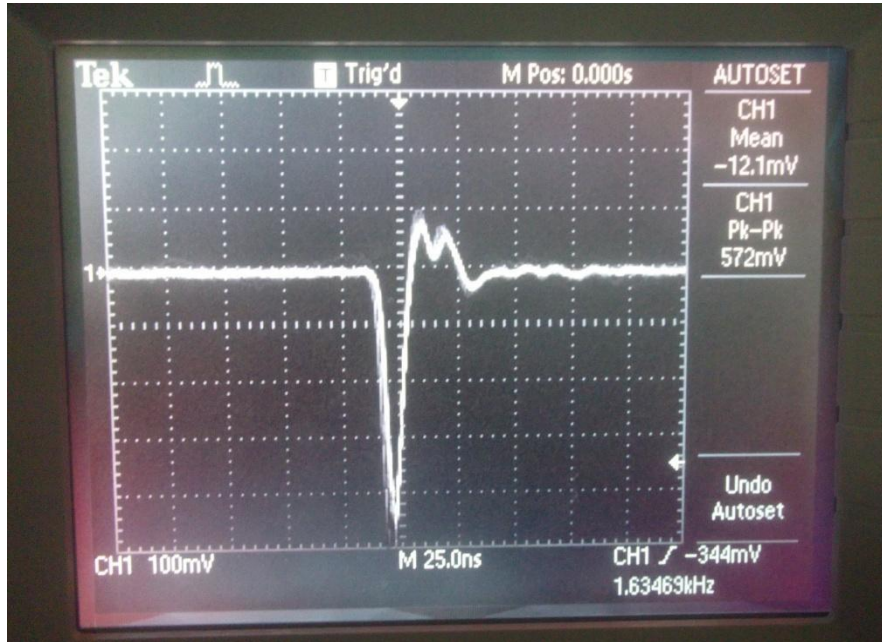
Şekil 3.10 CEM' in sistem içinde ki bağlantı görüntüsü.

CEM girişine gelen elektronları çıkışa yönlendirmek için uçları arasına yüksek gerilim (~2,5 kV) uygulanır. CEM çıkışında, toprağa göre negatif, işlenebilir büyüklükte bir sinyal elde edilmiş olur. Bu sinyal, yükseltece aktarılarak sinyal işleme ünitesine aktarılmaktadır. CEM çıkışında, toprağa göre negatif sinyal elde edilmiş olur.

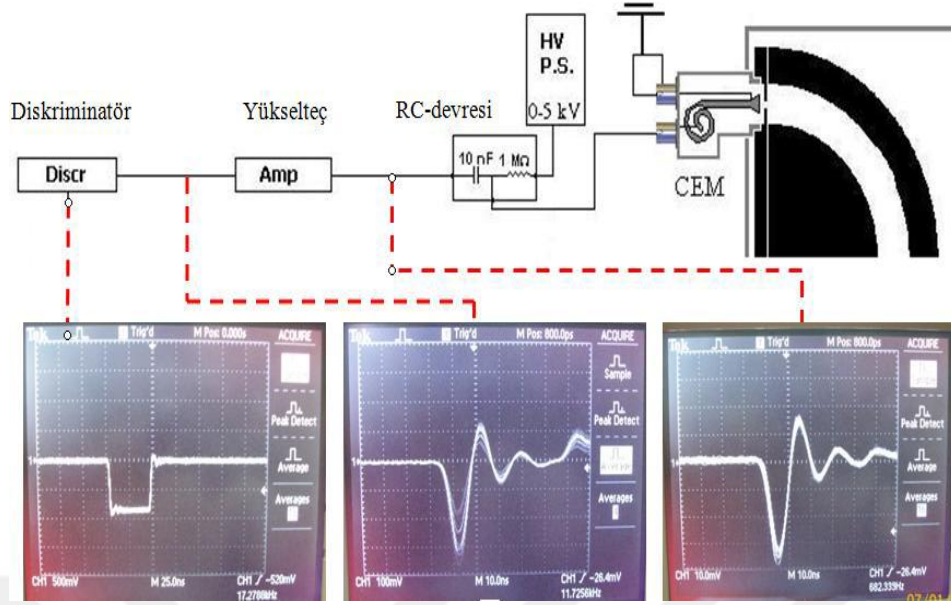
Elektron çoğaltıcı detektör (CEM) ile elde edilen ve belirli bir açıda ve enerjide elektron tespit edildiği anlamına gelen sinyalin analiz edilebilmesi için yükseltilmesi, gürültüden süzülmesi ve veri toplama kartlarının girişine uygun hale getirilebilmesi için işlenmesi gerekmektedir. Yükselticiler, girişteki elektriksel sinyalin şiddetini artıran elektronik cihazlardır.

3.2 Sinyal İşleme Ünitesi

Enerji analizörlerinin çıkışına yerleştirilen detektörün girişine gelen bir elektron detektör çıkışında bir sinyal olarak osiloskop vasıtasıyla gözlenir. Şekil 3.11'de gözlenen sinyal görülmektedir. Sinyale dönüştürülen elektronlar işlenmek üzere sinyal işleme ünitesine gönderilirler.



Şekil 3.11 CEM çıkışı osiloskopta gözlenen sinyalin fotoğrafı.



Şekil 3.12 Sinyal işleme ünitesinde; detektör, yükseltici ve ayırtedici çıkışındaki sinyallerin osiloskop ekran görüntüleri.

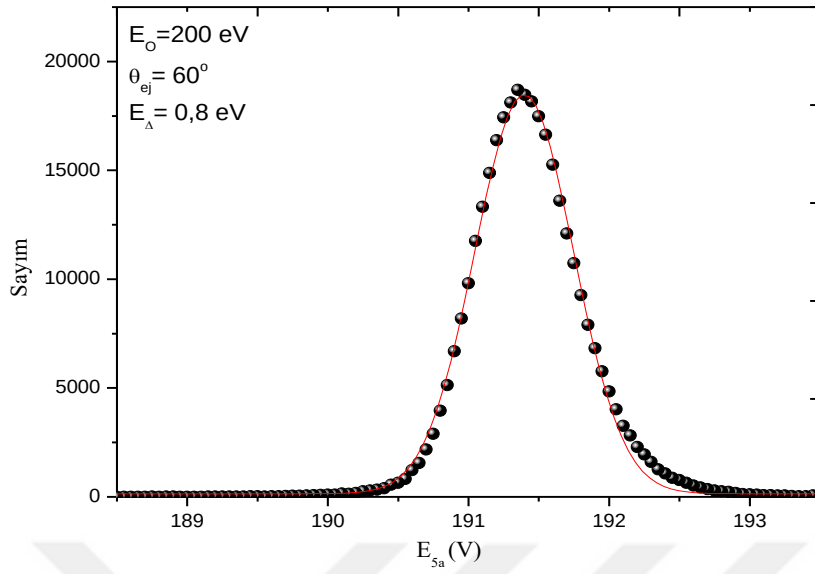
Yükseltecin çıkış sinyali bir ayırtediciye (discriminatör) bağlanarak gerçek sinyalin gürültü sinyalinden ayırt edilmesi sağlanmaktadır. Bu işlemler sonucunda CEM' e giren her bir elektron için ayırtedici çıkışında düzgün kare bir sinyal elde edilir (Şekil.3.12). Daha sonrasında sinyal MCS karta aktarılır.

4. BULGULAR

Bu araştırmada He atomunun kendiliğinden iyonlaşma olayı rezonans düzeylerinin açısıl değişimleri incelenmiştir. He atomunun uyarılma durumlarının gözlenmesi amacı ile enerji kayıp spektrumuna bakılmıştır. Ölçümler tek bir analizör kullanılarak yapılmıştır. Kopan analizör için spektrum alındığında; saçılan analizör ölçüme dahil edilmemiştir. Çarpışma sonrası saçılan ve koparılan elektronlar açığa çıkmakta ve bunlar ayırt edilemediğinden enerjisi fazla olan saçılan diğeri ise kopan olarak adlandırılmaktadır. Kopan elektron analizörünün açısıl dağılımı, helyumun farklı elektron enerji demetlerinde inelastik tesir kesitlerin ölçümlenmesi ile elde edilmiştir. Elastik saçılma olayında, gelen elektron demeti enerjisinden bir kayıp olmaz. Bu elektronlar enerji kayıp spektrumunda bir elastik pik oluşturur. Öncelikle analizörün çözünürlüğünün belirlenmesi gerektiği için elastik piki almak oldukça önemlidir.

Kopan elektron analizörünün tarayabildiği aç değeri bu deney düzeneği kullanılarak gerçekleştirilen önceki benzer çalışmalarda 35° - 135° aralığında iken, bu tez çalışması sırasında sisteme adapte edilen ikincil küçük Faraday kapile taranabilir aç aralığının 10° - 130° olması sağlanmıştır. Küçük açılarda birincil Faraday kap fiziksel olarak engel olduğundan dolayı alınamayan ölçümler, ikincil Faraday kap kullanılarak alınabilmektedir.

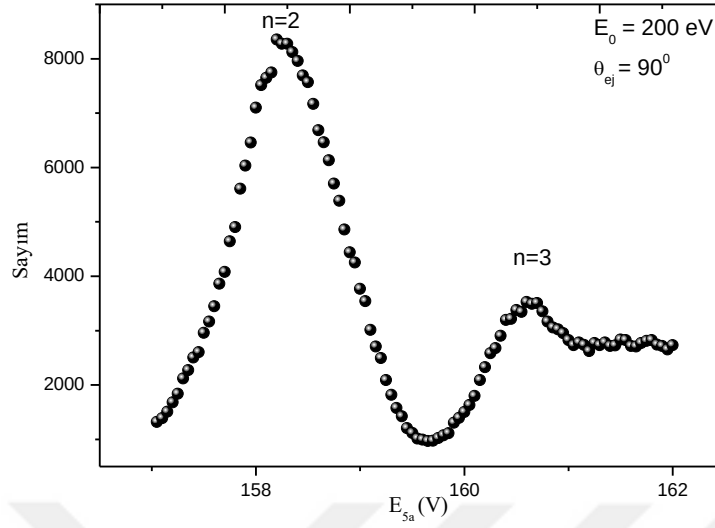
Çarpışma sonucu farklı enerji kayıplarına uğrayan ve aynı doğrultuda saçılan ve koparılan elektronların birbirinden ayırt edilmesi gerekir. Enerji çözünürlüğü, analizörün ayırma gücünü yani analizörün detekte edebildiği en küçük enerji değişimini verir. Herbir analizörün enerji çözünürlüğü elastik saçılma enerji kayıp spektrumlarından ölçülür. Analizörün enerji çözünürlüğünü belirleyen enerji kayıp spektrumu Şekil 4.1’de verilmiştir. Alınan spektrumun yarı yükseklikteki maksimum genişliği (Full Width at Half Maximum; FWHM), 0.8 V olarak ölçülmüştür.



Şekil 4.1 e-He çarpışmasında elastik saçılma.

Atom veya moleküldeki herhangi bir enerji düzeyine uyarılma, saçılan veya kopan elektronların enerji kaybı spektrumlarına bakılarak incelenebilir. Elastik olmayan çarpışmalarda ise atomun iç yapısında değişiklikler meydana getirir. Elastik pikle analizörlerin çözünürlükleri belirlendikten sonra inelastik pik alınarak uyarılma durumuna bakılır ve analizörün çözünürlüğüne bağlı olarak rezonans profillerinin ayırt edilip edilmeme durumu ortaya çıkar.

Helyum atomunda kendiliğinden iyonlaşma enerji düzeyleri, birinci iyonlaşma eşiğinin üzerinde bulunmaktadır. Helyum atomunda her iki elektronun da bu enerji düzeylerine uyarılması sonucu elektronlardan birisi ışımasız geçiş yaparak taban duruma dönerken diğer elektron bu enerjiyi alarak atomdan kopmaktadır. Helyum atomunda $(2s^2)^1S$, $(2p^2)^1D$ ve $(2s2p)^1P^o$ kendiliğinden iyonlaşma (rezonans) enerji düzeyleri için enerji kayıp spektrumu farklı açı değerinde ölçülmüştür (Şekil 4.2).

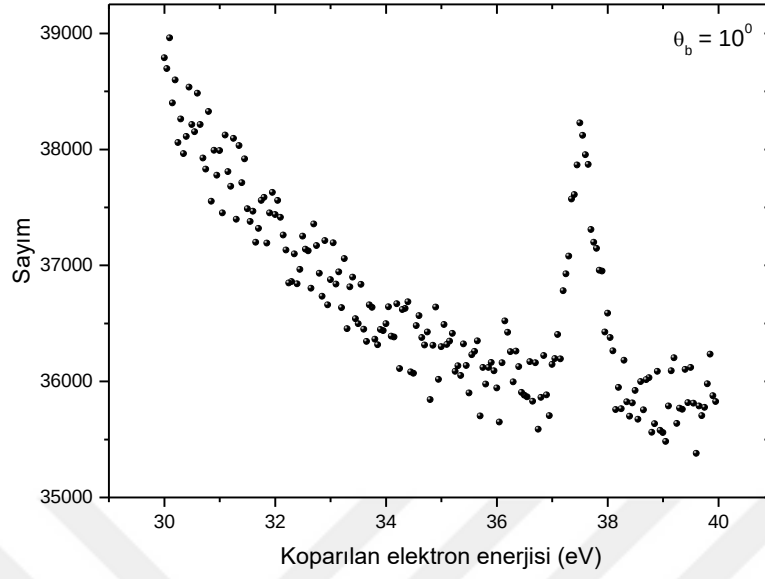


Şekil 4.2 e-He çarpışmasında inelastik saçılma.

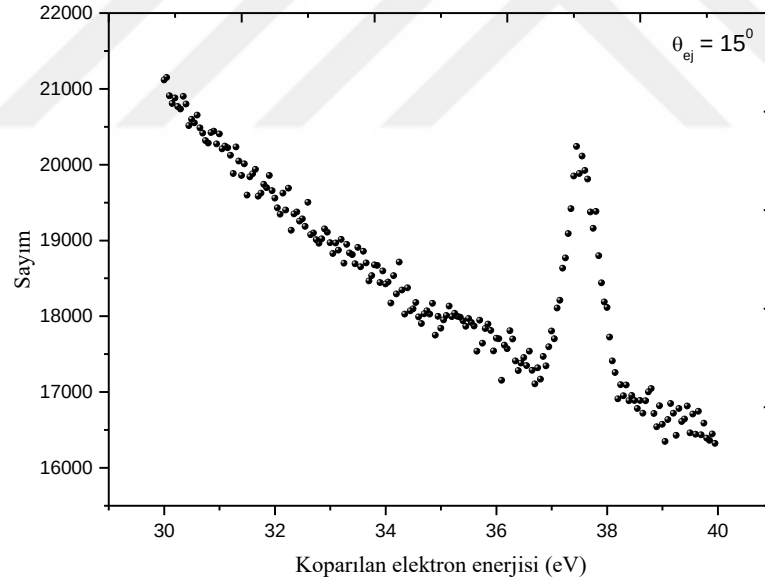
4.1 Kopan Elektron Enerji Analizörü ile Alınan Spektrumlar

Enerji seviyeleri atomdan kopan elektronun detekte edilmesiyle incelenebilir. Kopan elektronların enerji seviyeleri 32-35 eV arasındadır. Tek analizörle kopan elektronlar detekte edildiğinde; saçılan analizörden elektronlar detekte edilmemiştir. Tek bir analizör için ölçümler direk iyonlaşmanın katkısı ile birlikte gösterilmiştir. Rezonans düzeyleri iyonlaşma potansiyelinin üstünde olduğu için girişim etkisi gözlenmektedir. Spektrumlar, gelen elektron enerjisi 200 eV iken analizör enerjisi 10 V kadar taranarak elde edilmiştir.

Şekil 4.3-4.4'te 10° ve 15° 'de kopan elektronların uyarılma spektrumları gözlemlenmiştir. Şekil 4.3-4.4'te görüldüğü gibi her iki açıda da kendiliğinden iyonlaşma ve direk iyonlaşmanın katkısından oluşan bir pik gözlemlenmiştir.

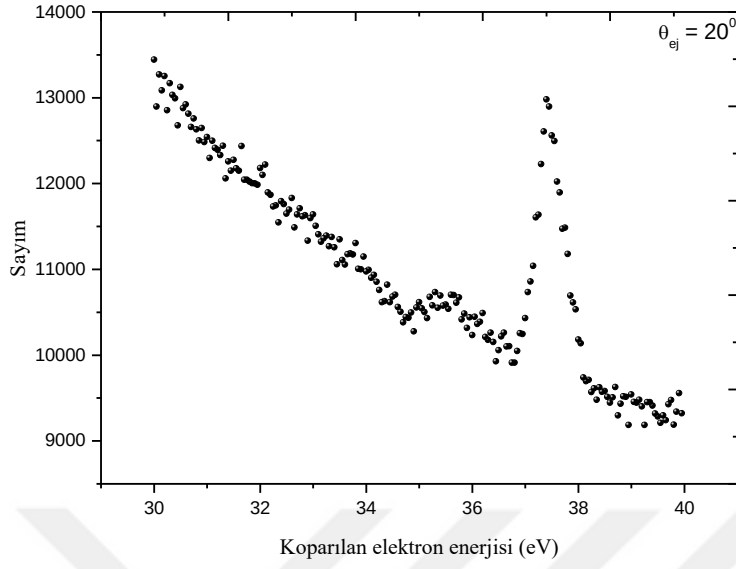


Şekil 4.3 Gelen elektronun enerjisi $E_0 = 200$ eV için 10° açısında kopan elektronun spektrumu.

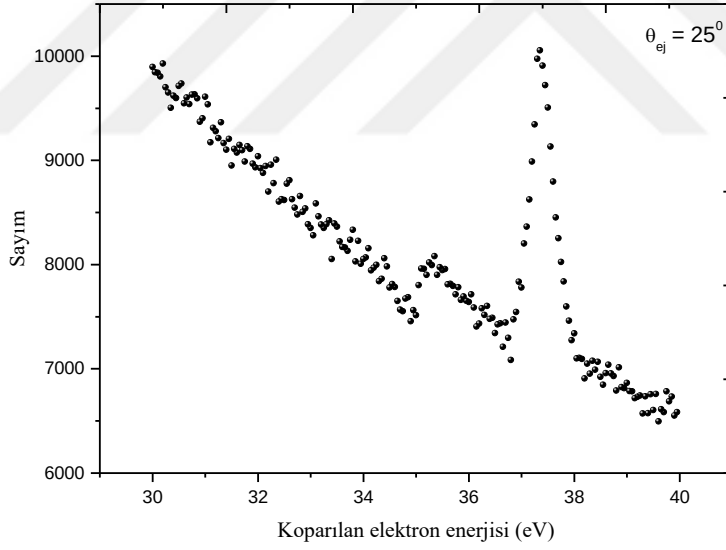


Şekil 4.4 Gelen elektronun enerjisi $E_0 = 200$ eV için 15° açısında kopan elektronun spektrumu.

Şekil 4.5-4.6'da 20° ve 25° 'de kopan elektronların uyarılma spektrumları gözlenmiştir. İki olayında görüldüğü şekillerde hem simetrik hem asimetrik yapı gözlenirken, simetrik yapının daha baskın olduğu görülmektedir.

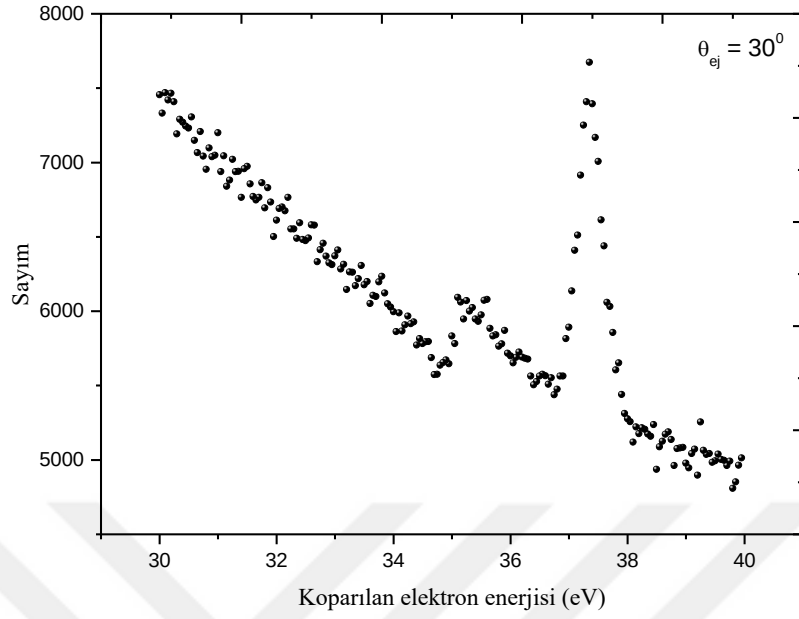


Şekil 4.5 Gelen elektronun enerjisi $E_0=200$ eV için 20° açısında kopan elektronun spektrumu.

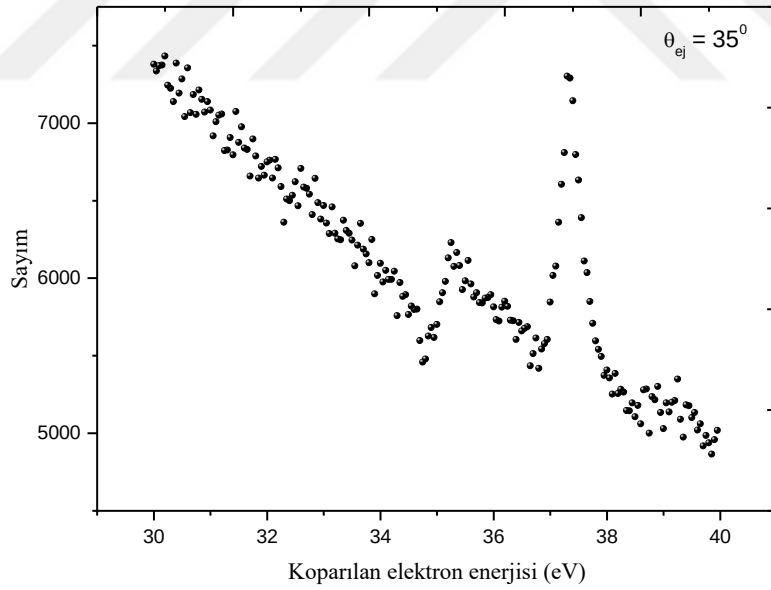


Şekil 4.6 Gelen elektronun enerjisi $E_0=200$ eV için 25° açısında kopan elektronun spektrumu.

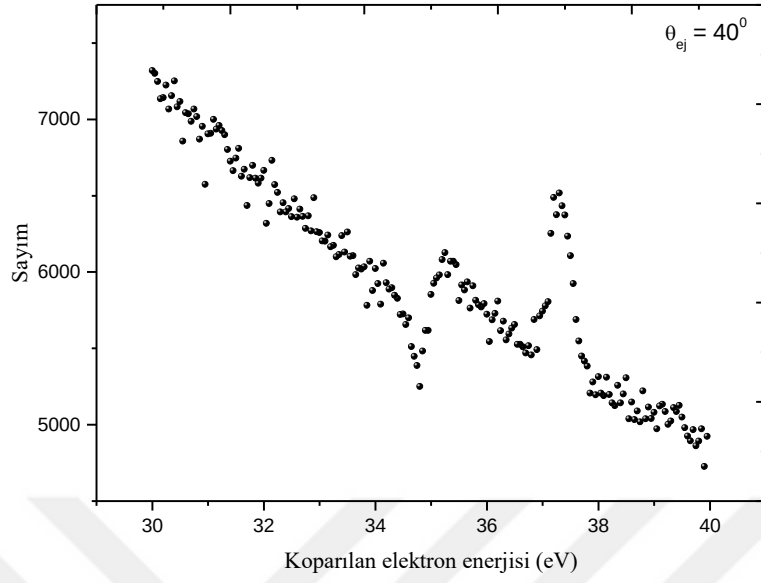
Şekil 4.7-4.10'de ki ölçümlerde birbirine benzer sonuçlar görülmektedir. Her dört açıda da simetrik ve asimetrik yapı gözlenmektedir. Şekil 4.10'da görülen simetrik pikin şiddeti azalmıştır.



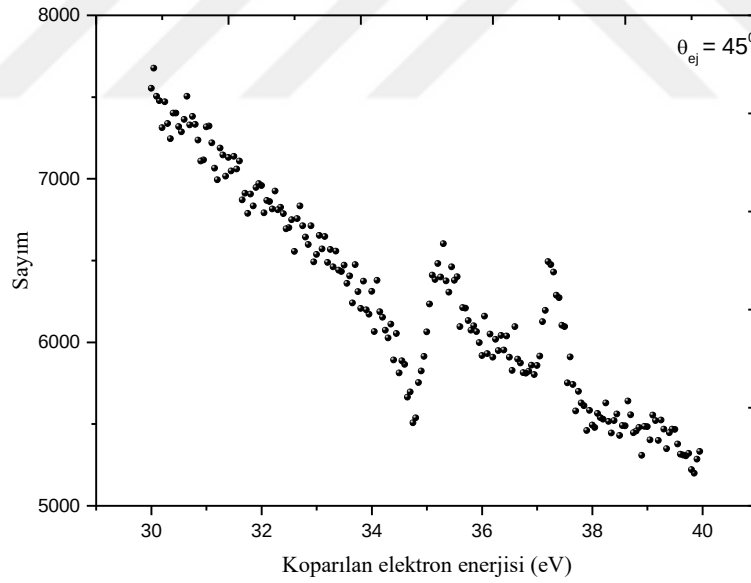
Şekil 4.7 Gelen elektronun enerjisi $E_0=200$ eV için 30° açısında kopan elektronun spektrumu.



Şekil 4.8 Gelen elektronun enerjisi $E_0=200$ eV için 35° açısında kopan elektronun spektrumu.

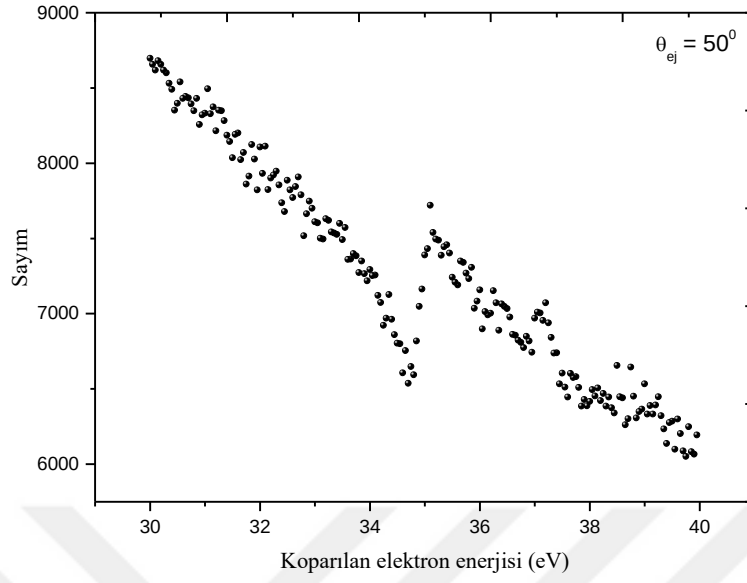


Şekil 4.9 Gelen elektronun enerjisi $E_0=200$ eV için 40° açısında kopan elektronun spektrumu.

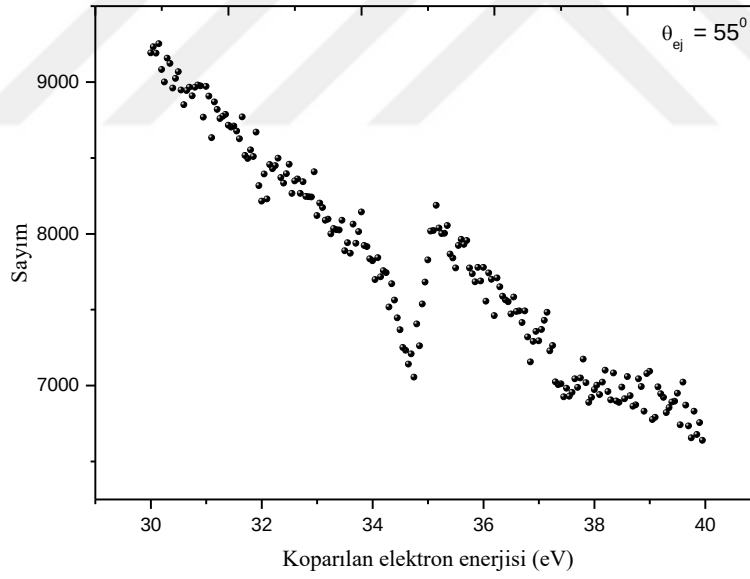


Şekil 4.10 Gelen elektronun enerjisi $E_0=200$ eV için 45° açısında kopan elektronun spektrumu.

Şekil 4.11-4.12’de, 50° ve 55° ’de kopan elektronların uyarılma spektrumları gözlenmiştir. Daha çok asimetrik yapıda pikler gözlenmiştir.

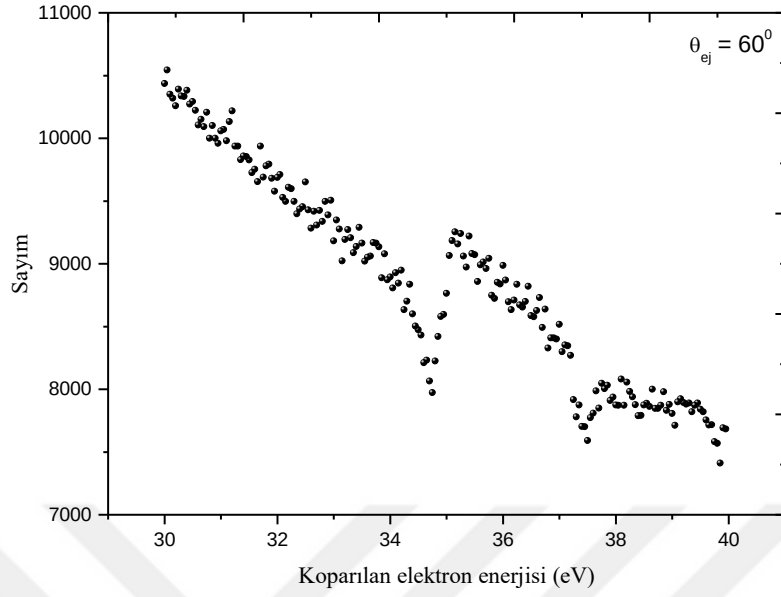


Şekil 4.11 Gelen elektronun enerjisi $E_0=200$ eV için 50° açısında kopan elektronun spektrumu.

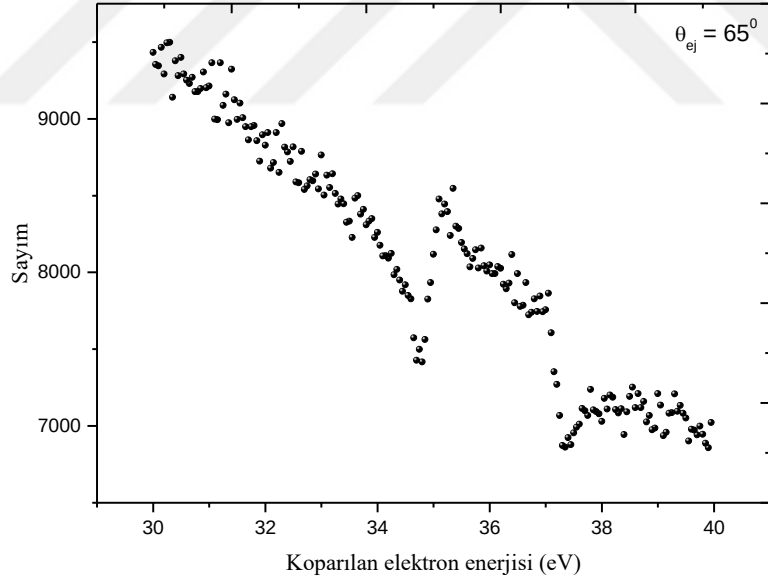


Şekil 4.12 Gelen elektronun enerjisi $E_0=200$ eV için 55° açısında kopan elektronun spektrumu.

Şekil 4.13-4.14’de, 60° ve 65° ’de alınan kopan elektronların uyarılma spektrumları asimetrik yapı göstermektedir.

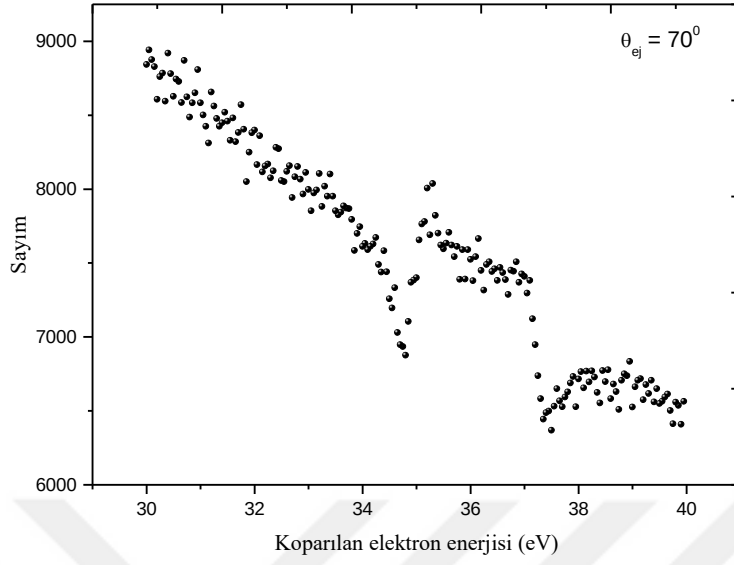


Şekil 4.13 Gelen elektronun enerjisi $E_0=200$ eV için 60° açısında kopan elektronun spektrumu.

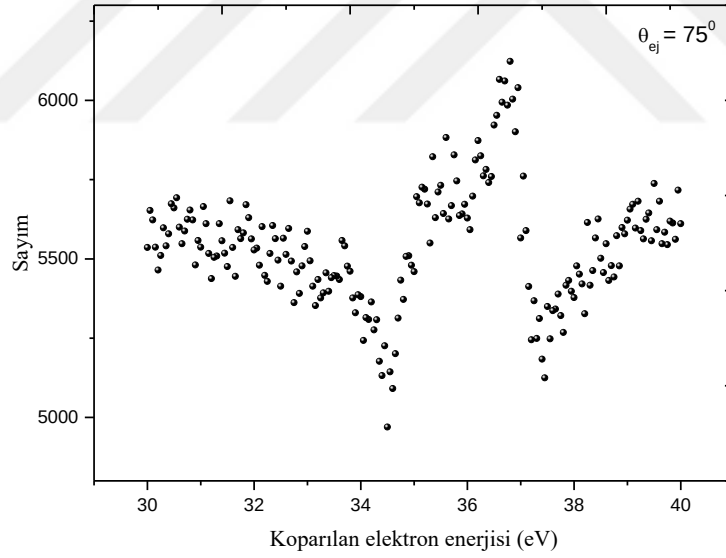


Şekil 4.14 Gelen elektronun enerjisi $E_0=200$ eV için 65° açısında kopan elektronun spektrumu.

Şekil 4.15-4.16’da, 70° ve 75° ’de kopan elektronların uyarılma spektrumları gözlenmiştir. Her iki açıda da kendiliğinden iyonlaşma ve direkt iyonlaşmanın katkısından oluşan pikler gözlenmiştir. 70° ’de asimetrik yapı hakimken 75° ’de hem asimetrik hem simetrik yapı gözlenmiştir.

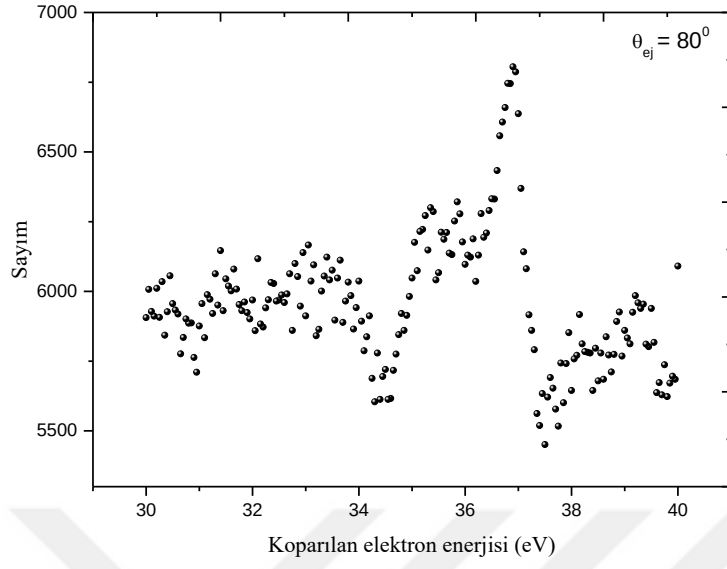


Şekil 4.15 Gelen elektronun enerjisi $E_0=200$ eV için 70° açısında kopan elektronun spektrumu.

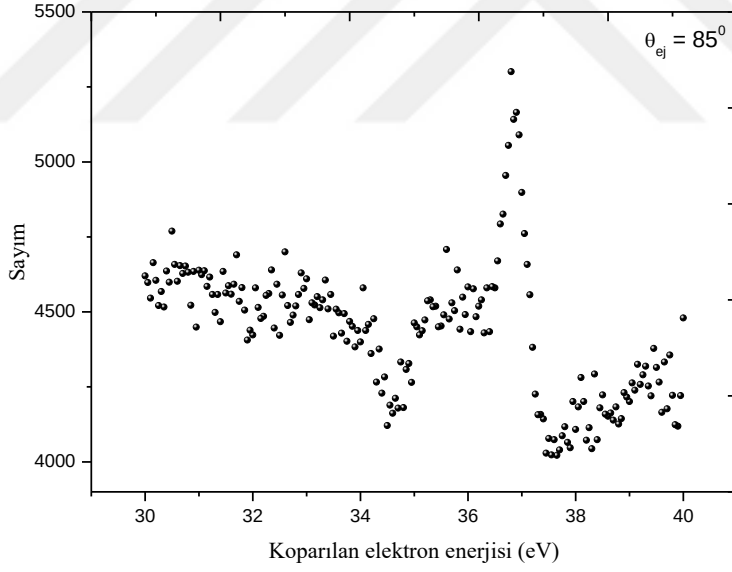


Şekil 4.16 Gelen elektronun enerjisi $E_0=200$ eV için 75° açısında kopan elektronu nspektrumu.

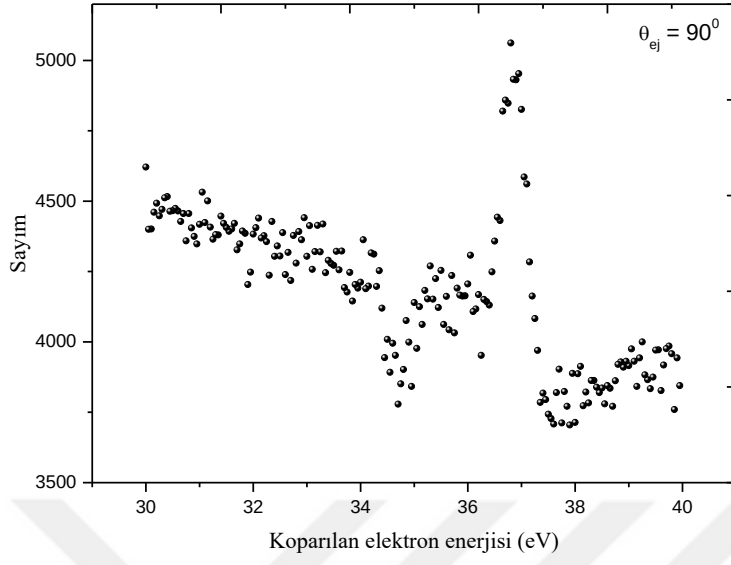
Şekil 4.17-4.20'de, 80° , 85° , 90° ve 95° açılarında kopan elektronların uyarılma spektrumları gözlenmiştir. Her dört açıda da hem simetrik hem de asimetrik yapı görülmektedir.



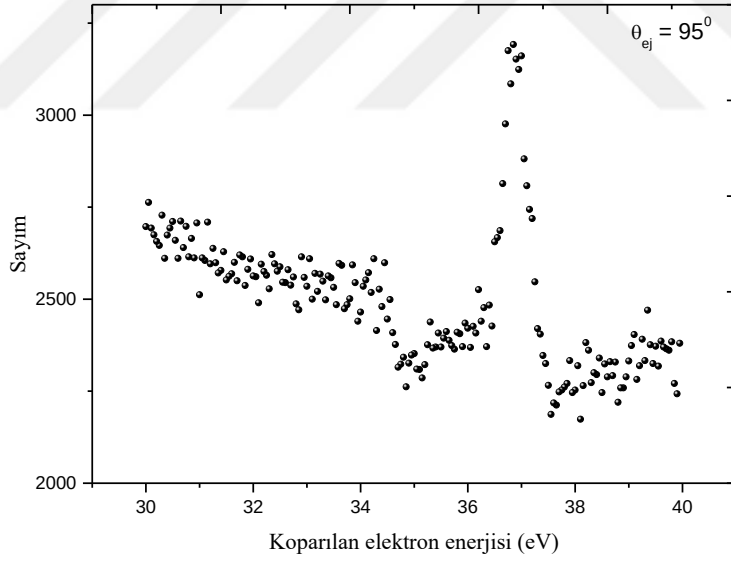
Şekil 4.17 Gelen elektronun enerjisi $E_0 = 200$ eV için 80° açısında kopan elektronun spektrumu.



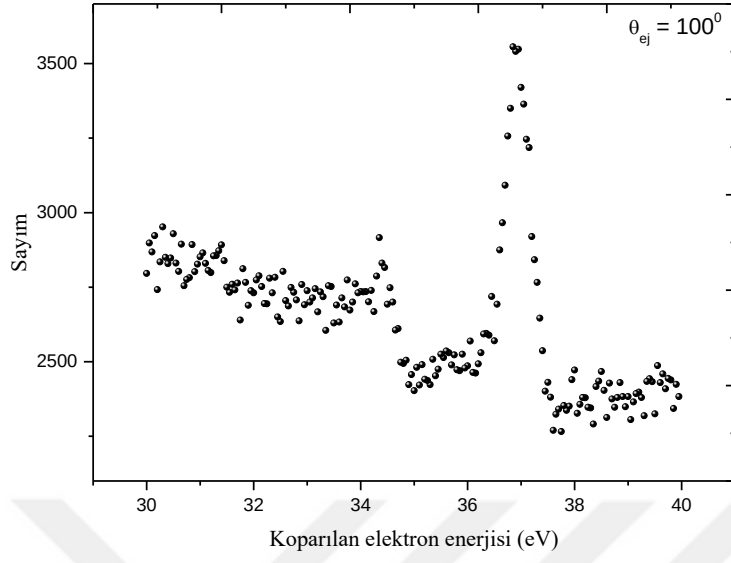
Şekil 4.18 Gelen elektronun enerjisi $E_0 = 200$ eV için 85° açısında kopan elektronun spektrumu.



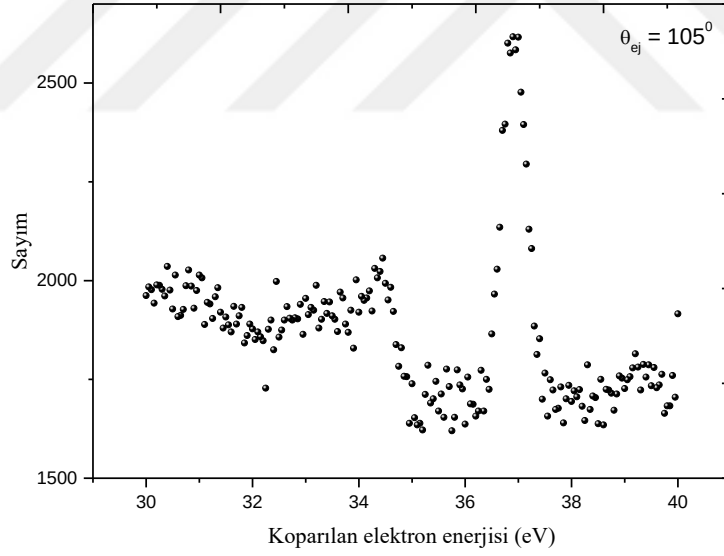
Şekil 4.19 Gelen elektronun enerjisi $E_0=200$ eV için 90° açısında kopan elektronun spektrumu.



Şekil 4.20 Gelen elektronun enerjisi $E_0=200$ eV için 95° açısında kopan elektronun spektrumu.

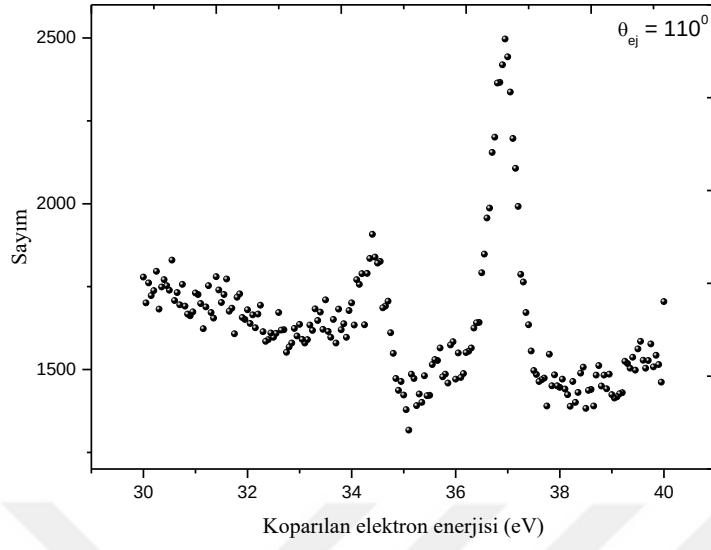


Şekil 4.21 Gelen elektronun enerjisi $E_0=200$ eV için 100° açısında kopan elektronun spektrumu.

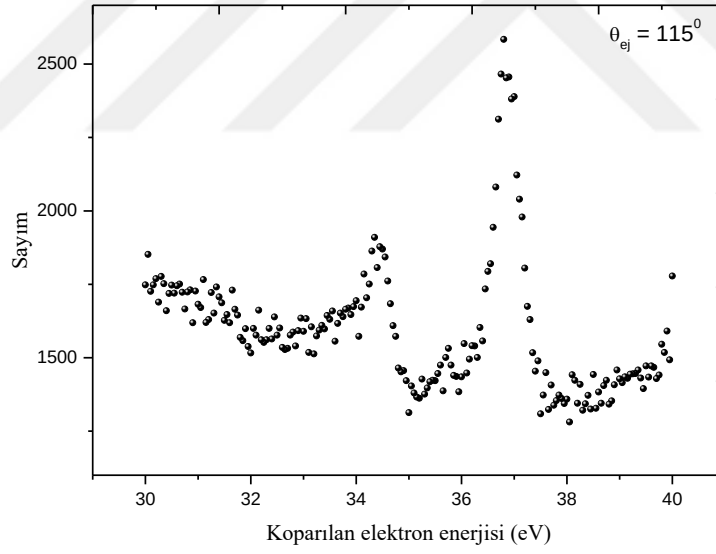


Şekil 4.22 Gelen elektronun enerjisi $E_0=200$ eV için 105° açısında kopan elektronun spektrumu.

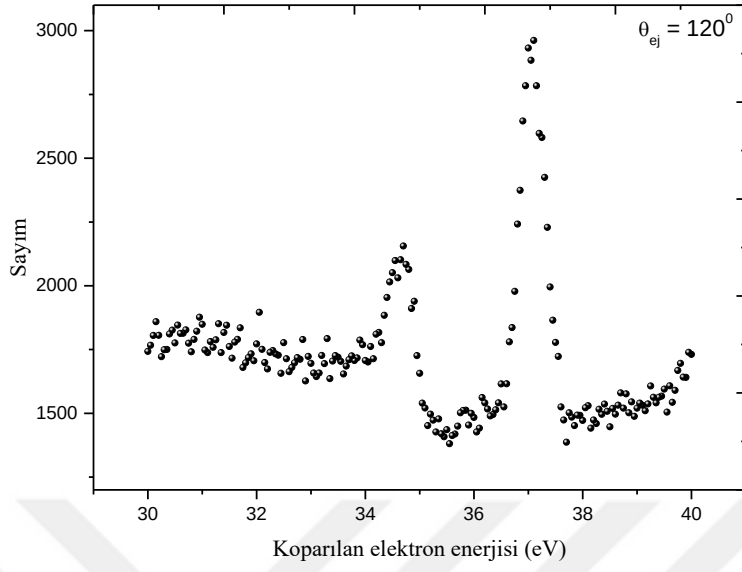
Şekil 4.21-4.27’de kopan elektronların uyarılma spektrumları gözlenmiştir. Büyük açılara doğru gidildikçe simetrik yapı görülmektedir.



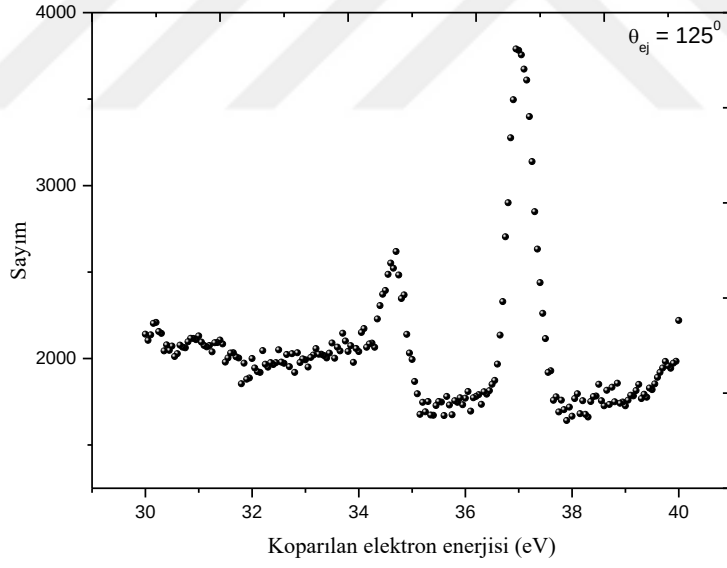
Şekil 4.23 Gelen elektronun enerjisi $E_0=200$ eV için 110° açısında kopan elektronun spektrumu.



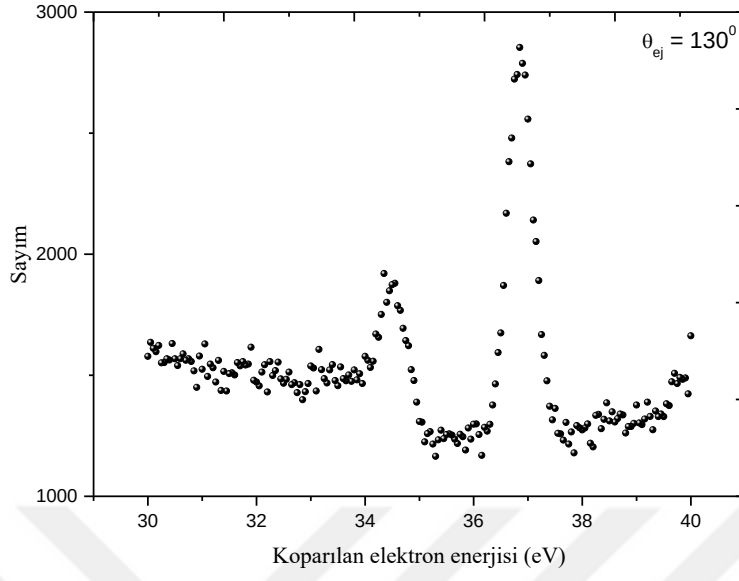
Şekil 4.24 Gelen elektronun enerjisi $E_0=200$ eV için 115° açısında kopan elektronun spektrumu.



Şekil 4.25 Gelen elektronun enerjisi $E_0=200$ eV için 120° açısında kopan elektronun spektrumu.



Şekil 4.26 Gelen elektronun enerjisi $E_0=200$ eV için 125° açısında kopan elektronun spektrumu.

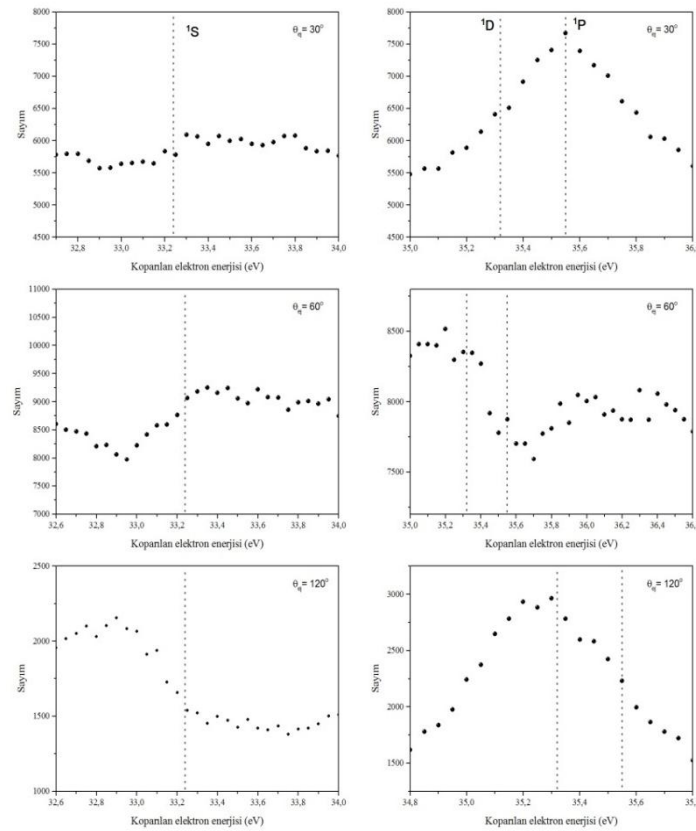


Şekil 4.27 Gelen elektronun enerjisi $E_0=200$ eV için 130° açısında kopan elektronun spektrumu.

5. TARTIŞMA ve SONUÇ

Bu tez çalışmasında, helyum atomunun ikili uyarılma-iyonlaşma enerji düzeylerinin açısal değişimini belirlemek için diferansiyel tesir kesiti ölçümleri yapılmış ve rezonans düzeylerinin açısal spektrumu deneysel olarak belirlenmiştir.

Kopan elektronların rezonans düzeyleri 32-35 eV arasındadır. Gelen elektron enerjisi 200eV iken farklı açılarda spektrumlar alınmıştır. Analizörlerin çözünürlüğüne bağlı olduğundan $n=2$ için birbirine çok yakın olan 1D ve 1P düzeyleri ayırt edilememiştir. Alınan spektrumlarda, rezonans düzeyleri civarında direkt iyonlaşma tesir kesitlerinin üzerinde simetrik ve asimetrik yapıda rezonans profilleri oluşmaktadır. Burada $(2s^2)^1S$, $(2p^2)^1D$ ve $(2s2p)^1P$ piklerini daha net görebilmek için Şekil 5.1'de bu rezonans düzeyleri için üç farklı açıda alınan spektrumlar verilmiştir. Buna göre 60° civarında enerji spektrumları asimetrik bir yapıdayken, 30° ve 120° 'de simetrik bir yapıya sahiptir.



Şekil 5.1 30° , 60° ve 120° kopan elektron enerji spektrumları ve rezonans profillerinin değişimi.

Alınan spektrumlarda piklerin konumları gelen elektronun enerjisinden bağımsızdır. Rezonans enerji düzeylerinden iyonlaşma olayı ile direk iyonlaşma olayı enerji spektrumlarında üst üste binmelerinden dolayı ayırt edilememektir. Bu da çizgilerin simetri ya da asimetric durumlarını değiştirmektedir. Küçük açılarda piklerin simetri durumları değişirken büyük açılara doğru gidildiğinde pikler simetric olarak gözlenmektedir. Örneğin 60° civarında ki açılarda enerji spektrumu asimetric yapı gösterirken 120° 'de simetric bir yapı göstermiştir. Dolayısıyla (e,2e) tekniği kullanılarak iki elektronun eř zamanlı olarak detekte edilmesi daha net sonuçlar verebileceğinden, benzer bir çalışmanın bu teknik ile tekrarlanmasında yarar olduğu değerlendirilmektedir.



6. KAYNAKLAR

- Akpınar, R. (2012). Elektron-Argon Atomu Çarpışması Sonucunda 15° Saçılma Açısında İyonlaşma Tesir Kesitlerinin Ölçülmesi. Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyonkarahisar.
- Amaldi, Jr.U., Egidi, A., Marconero, R. and Pizzella, G. (1969). Use of a two channeltron coincidence in a new line of research in atomic physics. *Review of Scientific Instruments*, **40**: 1001-1004.
- Alves, L.L. and Ferreira, C.M. (1991). Electron kinetics in weakly ionized helium under DC and HF applied electric fields. *Journal of Physics D: Applied Physics*, **24(4)**: 581-592.
- Alves, L.L., Bartschat, K., Biagi, S.F., Bordage, M.C., Pitchford, L.C., Ferreira, C.M., Hagelaar, G.J.M., Morgan, W.L., Pancheshnyi, S., Phelps, A.V., Puechs, V. and Zatsarinny, O. (2013). Comparisons of sets of electron - neutral scattering cross sections and swarm parameters in noble gases: II. Helium and Neon. *Journal of Physics D: Applied Physics*, **46(33)**: 334002.
- Balashov, V.V., Lipovetskii, S.S. and Senashenko, V.S. (1973). A unified description of the resonance line profile in the energy spectra of scattered and emitted electrons. *Soviet Physics JETP*, **36(5)**: 1622-1627.
- Biagi, S.F. (1999). Monte Carlo simulation of electron drift and diffusion in counting gases under the influence of electric and magnetic fields. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research*, **421(1-2)**: 234-240.
- Bransden, B.H. and Dalgarno, A. (1953). The calculation of auto-ionization probabilities-I: Perturbation methods with application to auto-ionization in Helium. *Proceedings of the Physical Society, Section A*, **66(10)**: 904-910.

- Brauner, M., Briggs, J.S., Klar, H. (1989). Triply-differential cross sections for ionisation of hydrogen atoms by electrons and positrons. *Journal of Physics B: Atomic, Molecular and Optical Physics*, **22**: 2265-2287.
- Bray, I., Fursa, D. (2002). Electrons and photons colliding with atoms: development and application of the convergent close-coupling method. *Journal of Physics B: Atomic, Molecular and Optical Physics*, **35(15)**: 117-146.
- Bray, I. (2002). Close-Coupling approach to coulomb three-body problems. *Physical Review Letters*, **89(27)**: 273201.
- Bray, I. and Fursa, D.V. (2011). Benchmark cross sections for electron-impact total single ionization of helium. *Journal of Physics B: Atomic, Molecular and Optical Physics*, **44(6)**: 061001.
- Bromberg, J.P. (1974). Absolute differential cross sections of electrons elastically scattered by the rare gases. I. Small angle scattering between 200 and 700 eV. *The Journal of Chemical Physics*, **61(3)**: 963-970.
- Brunger, M.J., Buckman, S.J., Allen, L.J., McCarthy, I.E. and Ratnavelu, K. (1992). Elastic electron scattering from helium: absolute experimental cross sections, theory and derived interaction potentials. *Journal of Physics B: Atomic, Molecular and Optical Physics*, **25**: 1823-1838.
- Brunger, M.J., Samardzic, O., Kheifets, A.S. and Weigold, E. (1997). A study of autoionization phenomena in helium using (e, 2e) spectroscopy. *Journal of Physics B: Atomic, Molecular and Optical Physics*, **30**: 3267-3285.
- Burke, P.G., McVicar, D.D. and Smith, K. (1963). Calculation of autoionization levels in He. *Physical Review Letters*, **11(12)**: 559-561.

- Burke, P.G. (1994). Electron-atom scattering theory and calculations. *Advances in Atomic, Molecular and Optical Physics*, **32**: 39-55.
- Burke, P.G. and Joachain, C.J. (1995). Theory of electron-atom collisions: Part One: Potential Scattering. Springer Science & Business Media, New York, USA.
- Byron, F.W. and Joachain, C.J. (1989). Theory of (e,2e) reactions. *Physics Reports*, **179(4)**: 211-272.
- Chang, D.W. and Altick, P.L. (1996). Doubly, singly differential and total ionization cross sections of rare-gas atoms. *Journal of Physics B: Atomic, Molecular and Optical Physics*, **29**: 2325-2335.
- Compton, K.T. and Boyce, J.C. (1928). Extreme ultraviolet spectra excited by controlled electron impacts. *Journal of the Franklin Institute*, **205(4)**: 497-513.
- Cooper, J.W., Fano, U. and Prats, F. (1963). Classification of two-electron excitation levels of helium. *Physical Review Letters*, **10(12)**: 518-521.
- Crowe, A., McDonald, D.G., Martin, S.E. and Balashov, V.V. (1996). Studies of autoionization with (e,2e) spectroscopy. *Canadian Journal Physics*, **74(11)**: 736-742.
- Çaylalı, H. (2012). 200 eV Enerjili Elektron-Argon Atomu Çarpışması Sonucunda İyonlaşma Tesir Kesitlerinin Ölçülmesi. Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyonkarahisar.
- Deharak, B.A., Childers, J.G., Martin, N.L.S. (2006). Ejected electron spectrum of He below the N=2 threshold. *Physical Review A*, **74**: 032714.
- Doğan, M. (1999). Correlation studies of simultaneous excitation-ionization in helium.

Doktora Tezi, University of Newcastle upon Tyne, Newcastle.

Doğan, M., Lohmann, B., Cvejanovic, D. and Crowe, A. (2001). A complete experimental study of electron impact ionization, abstracts of contributed papers, XXII ICPEAC (International Conference on Photonic, Electronic and Atomic Collisions), Santa Fe, 18-24 Temmuz, 181-187.

Doğan, M. and Crowe, A. (2002). Coincidence studies of the influence of resonances on simultaneous ionization-excitation of helium by electron impact. *Journal of Physics B: Atomic, Molecular and Optical Physics*, **35(12)**: 2773-2781.

Domke, M., Xue, C., Puschmann, A., Mandel, T., Hudson, E., Shirley, D.A., Kaindl, G., Greene, C.H., Sadeghpour, H.R. and Petersen, H. (1991). Extensive double-excitation states in atomic helium. *Physical Review Letters*, **66(10)**: 1306-1309.

Domke, M., Remmers, G. and Kaindl, G. (1992). Observation of the (2p,nd) $^1P^0$ double-excitation Rydberg series of helium. *Physical Review Letters*, **69(8)**: 1171-1174.

Domke, M., Schulz, K., Remmers, G., Gutierrez, A., Kaindl, G. and Wintgen, D. (1995). Interferences in photo excited double-excitation series of He. *Physical Review A*, **51(6)**: 4309-4312.

Domke, M., Schulz, K., Remmers, G., Kaindl, G. and Wintgen, D. (1996). High resolution study of $^1P^0$ double-excitation states in helium. *Physical Review A*, **53(3)**: 1424-1438.

Durakev G. F. (1987). Collisions of Electrons with Atoms and Molecules. Plenum Press, New York and London.

Durr, M., Dimopoulou, C., Dorn, A., Najjari, B., Bray, I., Fursa, D.V., Zhangjin, C.,

- Madison, D.H., Bartschat, K. and Ulrich, J. (2006). Single ionization of helium by 102 eV electron impact: three-dimensional images for electron emission. *Journal of Physics B: Atomic, Molecular and Optical Physics*, **39(20)**: 4097- 4111.
- Ehrhardt, H., Schulz, M., Tekaats, T. and Willmann, K., (1969). Ionization of Helium: angular correlation of the scattered and ejected electrons. *Physical Review Letters*, **22(3)**: 89-92.
- Ehrhardt, K., Hesselbacher, K.H., Jung, K., Schulz, M., Tekaats, T. and Willmann, K. (1971). Measurements of double differential cross sections in electron impact ionization of helium and argon. *Zeitschrift für Physik A Hadrons and nuclei*, **244(3)**: 254-267.
- Ehrhardt, H., Jung, K., Knoth, G. and Schlemmer, P. (1986). Differential cross sections of direct single electron impact ionization. *Zeitschrift für Physik D Atoms, Molecules and Clusters*, **1(1)**: 3-32.
- Fano, U. (1961). Effects of configuration interaction on intensities and phase shifts. *Physical Review*, **124**: 1866-1878.
- Feagin, J.M. and Briggs, J.S. (1986). Molecular description of two-electron atoms. *Physical Review Letters*, **57(8)**: 984-987.
- Fender, F.G. and Vinti, J.P. (1934). Doubly-excited states in Helium. *Physical Review Letters*, **46(1)**: 77-78.
- Frank, J. and Hertz, G. (1914). Über zusammenstöße zwischen electronen und den molekülen des quecksilberdampfes und die ionisierungsspannung desselben. *Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft*, **16**: 457-467.
- Gelebart, F., Tweed, R.J. and Peresse, J. (1974). Measurements of the absolute differential cross section for autoionization from the levels $(2s2p)^3P$ and

(2s²)¹S of Helium. *Journal of Physics B: Atomic and Molecular Physics*, **7(6)**: 174-178.

Gelebart, F. Tweed, R.J. and Peresse, J. (1976). Autoionization by electron impact: experiment with He. *Journal of Physics B: Atomic and Molecular Physics*, **9(10)**: 1739.

Godunov, A.L., McGuire, J.H., Schipakov, V.A. and Crowe, A. (2002). Excitation of the (2p²)¹D and (2s2p)¹P autoionizing states of helium by 200 eV electron impact, *Journal of Physics B: Atomic, Molecular and Optical Physics*, **35**: 245-251.

Gupta, S.C. and Rees, J.A. (1975). Absolute differential cross sections for 100 eV electrons elastically scattered by helium, neon and argon. *Journal of Physics B: Atomic and Molecular Physics*, **8(8)**: 1267.

Herrick, D.R. (1983). New symmetry properties of atoms and molecules. *Advances in Chemical Physics*, **52**: 110-115.

Hicks, P.J., Cvejanovic, S., Comer, J., Read, F.H. and Sharp, J.M. (1974). Displacements of electron ejection energies in near-threshold excitation of autoionizing levels of helium by electron impact, *Vacuum*, **24**: 573-580.

Jansen, R.H.J., Heer, F.J., Luyken, H.J., Wingerden, B. and Blaauw, H.J. (1976). Absolute differential cross sections for elastic scattering of electrons by helium, neon, argon and molecular nitrogen. *Journal of Physics B: Atomic and Molecular Physics*, **9(2)**: 185-213.

Jureta, J., Milosavljevic, A.R. and Marinkovic, B.P. (2014). High-energy electron impact study on autoionizing region in helium by detection of ejected electrons. *International Journal of Mass Spectrometry*, **365**: 114-120.

- Kiang, A.T., Ma, S.T. and Wu, T-Y. (1936). Attempt to observe the spectrum of doubly excited Helium. *Physical Review Letters*, **50(7)**: 673-673.
- Kruger, P.G. (1930). New lines in the arc and spark spectrum of Helium. *Physical Review Letters*, **36(5)**: 855-859.
- Kurepa, M.V. and Vuskovic, L. (1975). Differential cross sections of 100, 150 and 200 eV electrons elastically scattered in helium. *Journal of Physics B: Atomic and Molecular Physics*, **8(12)**: 2067.
- Lahmam-Bennani, A. (2002). Thirty years of experimental electron-electron (e,2e) coincidence studies: achievements and perspectives. *Journal of Electron Spectroscopy and Related Phenomena*, **123**: 365-376.
- Lenard, P. (1903). Über die absorption von kathodenstrahlen verschiedener geschwindigkeit. *Annalen der Physik*, **317(12)**: 714-744.
- Lin, C.D. (1986). Doubly excited states, including new classification schemes. *Advances in Atomic and Molecular Physics*, **22**: 77-142.
- Lower, J. and Weigold, E. (1990). Correlations in the autoionising region of He measured by the (e,2e) technique. *Journal of Physics B: Atomic, Molecular and Optical Physics*, **23**: 2819-2845.
- Madden, R.P. and Codling, K. (1965). Two-electron excitation states in helium. *Astrophysical Journal*, **141**: 364-375.
- McConkey, J.W. and Preston, J.A. (1975). Differential elastic scattering of electrons by the rare gases. I. Helium. *Journal of Physics B: Atomic and Molecular Physics*, **8(1)**: 63.
- McDonald, D.G. and Crowe, A. (1992). Electron impact excitation-autoionization of the

$(2s^2)^1S$ and $(2s2p)^3P$ states of Helium. *Journal of Physics B: Atomic, Molecular and Optical Physics*, **25(20)**: 4313-4324.

McDonald, D.G., Crowe, A. (1993). An (e,2e) study of double excitation autoionization mechanisms in helium. *Journal of Physics B: Atomic, Molecular and Optical Physics*, **26**: 2887-2897.

Montague, R.G., Harrison, M.F.A. and Smith, A.C.H. (1984). A measurement of the cross section for ionisation of helium by electron impact using a fast crossed beam technique. *Journal of Physics B: Atomic and Molecular Physics*, **17(16)**: 3295-3310.

Moorehead, P.S.K. and Crowe, A. (1985). Excitation of autoionising states of helium in specific momentum transfer electron collisions. 14th International Conference on the Physics of Electronic and Atomic Collisions, Palo Alto, 24-30 Temmuz, 160-164.

Naja, A., Staicu-Casagrande, E.M., Lahmam-Bennani, A., Nekkab, M., Mezdari, F. Joulakian, B., Chuluunbaatar, O. and Madison, D.H. (2007). Triply differential (e,2e) cross sections for ionization of the nitrogen molecule at large energy transfer. *Journal of Physics B: Atomic, Molecular and Optical Physics*, **40**: 3775-3783.

O'Malley, T.F. and Geltman, S. (1965). Compound-atom states for two-electron systems. *Physical Review Letters*, **137(5)**: 1344-1352.

Oda, N., Nishimura, F. and Tahira, S. (1970). Energy spectra of electrons from autoionization states in helium by electron impact. *Physical Review Letters*, **24(2)**: 42-45.

Özer, Z.N. (2013). Elektron-Elektron Çakışma Tekniği (e,2e) ile H₂ Molekülünde Young Tipi Girişim Etkilerinin İncelenmesi. Doktora Tezi, Gebze Yüksek

- Pochat, A., Tweed, R.J., Doritch, M. and Peresse, J. (1982). Double and triple differential cross sections for autoionisation of helium by electron impact. *Journal of Physics B: Atomic and Molecular Physics*, **15**: 2269-2283.
- Propin, R.K. (1960). Calculation of the probability of autoionization in Helium and Lithium atoms. *Optics and Spectroscopy*, **8**: 158-162.
- Register, O.F., Trajmar, S. and Srivastava, S.K. (1980). Absolute elastic differential electron scattering cross sections for He: A proposed calibration standard from 5 to 200 eV. *Physical Review A*, **21(4)**: 1134-1151.
- Rejoub, R., Lindsay, B.G. and Stebbings, R.F. (2002). Determination of the absolute partial and total cross sections for electron-impact ionization of the rare gases. *Physical Review A*, **65(4)**: 042713.
- Ren, X., Pflüger, T., Ullrich, J., Zatsarinny, O., Bartschat, K., Madison, D.H. and Dorn, A. (2012). Low-energy electron-impact ionization of argon: Three-dimensional cross section. *Physical Review A*, **85(3)**: 032702.
- Rescigno, T.N., Baertschy, M., Isaacs, W.A. and McCurdy, C.W. (1999). Collisional breakup in a quantum system of three charged particles. *Science*, **286**: 2474-2479.
- Rudd, M.E. (1964). Observation of autoionization levels in He by positive ion bombardment. *Physical Review Letters*, **13(16)**: 503-505.
- Samardzic, O., Campbell, L., Brunger, M.J., Kheifets, A.S., Weigold, E. (1997). Autoionization in electron-helium collisions: an (e,2e) investigation. *Journal of Physics B: Atomic, Molecular and Optical Physics*, **30**: 4383-4394.
- Sewell, E C. and Crowe, A. (1982). Measurements of angular correlations in electron

impact inner-shell ionisation. *Journal of Physics B: Atomic and Molecular Physics*, **15**: 357-360.

Shore, B.W. (1967). Analysis of absorption profiles of autoionizing lines. *Journal of the Optical Society of America*, **57(7)**: 881-884.

Silverman, S.M. and Lassettre, E.N. (1964). Additional collision cross sections for Helium especially in the ionized continuum. *The Journal of Chemical Physics*, **40(5)**: 1265.

Sorokin, A.A., Beigman, I.L., Bobashev, S.V., Richter, M. and Vainshtein, L.A. (2004). Total electron-impact ionization cross sections of helium. *Journal of Physics B: Atomic, Molecular and Optical Physics*, **37(15)**: 3215-3226.

Şahingöz, R. (1988). Lityum Atomunun 2S Rezonans Durumlarının Kendiliğinden İyonlaşma İhtimalleri Hesabı. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Şişe, Ö., Manura, D. J. and Doğan, M. (2008). Exploring focal and aberration properties of electrostatic lenses through computer simulation. *European Journal of Physics*, **29**: 1165-1176.

Şişe, Ö. (2011). Helyum Atomunun Kendiliğinden İyonlaşma Tesir Kesitlerinin (e,2e) Çakışma Tekniği ile Ölçülmesi. Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.

Trajmar, S., McConkey, W.J. and Kanık, I. (2006). Springer Handbook of Atomic, Molecular and Optical Physics. Springer Science-Business Media Inc., New York, USA.

Tweed, R.J. (1976). Autoionization of helium by electron impact: theory incorporating exchange. *Journal of Physics B: Atomic and Molecular Physics*, **9(10)**: 1725.

- Ulu, M., Siş, Ö., and Doğan, M. (2007). Optimizing the performance of an electron gun design followed by lenses and apertures. *Radiation Physics and Chemistry*, **76(3)**: 636-641.
- Ulu, M. (2007). Elektron-Elektron Çakışma Deney Düzeneklerinin Durulması ve Düzeneklerin Simülasyonu. Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Urch, D.S., Ferreira, J.G. and Ramos, M.T. (1987). X-Ray Spectroscopy in Atomic and Solid State Physics. Ramos, M.T.,(Eds.), Plenum Press, New York, Springer, 155-161.
- Wagenaar, R.W., De Boer, A., Van Tubergen, T., Los, J. and De Heer F.J. (1986). Absolute differential cross sections for elastic scattering of electrons over small angles from noble-gas atoms. *Journal of Physics B: Atomic and Molecular Physics*, **19**: 3121-3143.
- Whiddington, R. and Priestly, H. (1934). Note on a new transition produced by electron impact in Helium. *Proceedings of the Royal Society of London. Series A, Containing Papers of a Mathematical and Physical Character*, **145(855)**: 462-464.
- Wilson, Wm.S. (1935). Atomic energy states for excited Helium. *Physical Review Letters*, **48(6)**: 536-537.
- Wu, T.-Y. (1934). Energy states of doubly excited Helium. *Physical Review Letters*, **46(3)**: 239-239.
- Wu, T.-Y. (1944). Auto-ionization in doubly excited Helium and the $\lambda 320,4$ and $\lambda 357,7$ lines. *American Physical Society Journal Archive*, **66(11)**: 291-294.
- Yavuz, M. (2013). Elektron Etkisi ile Metan Molekülünün İkili Diferansiyel Tesir Kesitlerinin Ölçülmesi. Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi,

Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyonkarahisar.

Zhang, Z., Shan, X., Wang, E. and Chen, X. (2012). Ejected - electron spectroscopy of autoionizing resonances of helium excited by fast-electron impact. *Physical Review A*, **85**: 062702.



ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Nurçin KAYAR
Doğum Yeri ve Tarihi : İzmir / 01.09.1989
Yabancı Dili : İngilizce
İletişim (Telefon/e-posta) : (0507) 163 8974 / nurcin4@gmail.com

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Vali Vecdi Gönül Lisesi, (2003-2006)
Lisans : Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fizik Bölümü,
(2008 - 2013)
Yüksek Lisans :

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl :

Yayınları (SCI ve diğer) :

Diğer konular