



**HELYUM ATOMUNUN
REZONANS DURUMLARININ
(e,2e) TEKNİĞİ İLE İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ali ALPERGÜN

Danışman

Doç. Dr. Hüseyin Ali YALIM

İkinci Danışman

Arş. Grv. Dr. Zehra Nur ÖZER

FİZİK ANABİLİM DALI

Şubat 2017

Bu tez çalışması 15.FEN.BİL.14 numaralı proje ile BAPK tarafından desteklenmiştir.

AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**HELYUM ATOMUNUN REZONANS DURUMLARININ (e,2e)
TEKNİĞİ İLE İNCELENMESİ**

Ali ALPERGÜN

Danışman
Doç. Dr. Hüseyin Ali YALIM

İkinci Danışman
Arş. Grv. Dr. Zehra Nur ÖZER

FİZİK ANABİLİM DALI

Şubat 2017

TEZ ONAY SAYFASI

Ali ALPERGÜN tarafından hazırlanan "Helyum Atomunun Rezonans Durumlarının (e,2e) Tekniği İle 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 Yalım
İkinci Danışman : Arş. Grv. Dr. Zehra Nur Özer

Başkan : Prof. Dr. Hamdi Şükür Kılıç
Konya Selçuk Üniversitesi Fen Fakültesi

Üye : Doç. Dr. Hüseyin Ali Yalım
Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi

Üye : Prof. Dr. Rıdvan Ünal
Uşak Üniversitesi Sağlık Hizmetleri MYO

Üye : Yrd. Doç. Dr. Mehmet Taşer
Konya Selçuk Üniversitesi Fen Fakültesi

Üye : Arş. Grv. Dr. Zehra Nur Özer
Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi

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

Ali ALPERGÜN

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

HELYUM ATOMUNUN REZONANS DURUMLARININ (e,2e) TEKNİĞİ İLE İNCELENMESİ

Ali ALPERGÜN

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Fizik Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Hüseyin Ali YALIM

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

Elektron spektrometresi ile yapılan çarpışma deneylerinde, belirli enerjideki elektron demeti ile hedef gazın çarpışması sonucu ortaya çıkan saçılan ve kopan elektronlar açısı ve enerjilerine göre ayrı ayrı veya (e,2e) çarpışma spektrometresi ile iki elektron eşzamanlı olarak detekte edilmektedir. Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümünde kurulu bulunan e-COL Laboratuvarındaki elektron spektrometresi ile elektron çarpışma deneyleri yapılabilmektedir.

Bu tez çalışmasında, Helyum atomunda ikili uyarma-kendiliğinden iyonlaşma rezonans düzeyleri elektron çarpışma deney düzeneği kullanılarak yapılan tesir kesiti ölçümleri ile belirlenmiştir. Deneylerde, 200 eV enerjili gelen elektronların hedef atomlarından inelastik olarak saçılması sonucu ortaya çıkan iki elektron eş zamanlı olarak -13 ve 60 derecelerde yerleştirilmiş enerji analizörleri ile detekte edilmiştir.

2017, ix + 47 sayfa

Anahtar Kelimeler: Elektron spektrometresi, Elektron-atom çarpışmaları, Helyum atomu, Kendiliğinden iyonlaşma rezonans düzeyleri.

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

INVESTIGATION OF THE REZONANS STATES OF HELIUM ATOM BY (e,2e) TECHNIQUE

Ali ALPERGÜN

Afyon Kocatepe University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Physics

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Hüseyin Ali YALIM

Co-Supervisor: Research Assistant Dr. Zehra Nur ÖZER

In collision experiments carried out using electron spectrometry, the scattered and the ejected electrons produced by the collisions of the electron beam at a specific energy with target gas can be detected separately or in coincidence by the (e,2e) technique according to their angles and energies. Electron collision experiments are done in e-COL laboratory at Physics Department of Afyon Kocatepe University.

In this work, the autoionization resonance energy levels of $(2s^2)^1S$, $(2s2p)^3P$, $(2p^2)^1D$ and $(2s2p)^1P$ were determined by differential cross section measurements using an electron collision experimental set up. The autoionization energy levels were investigated through the cross-section measurements at different angles and at energies. In the experiments, outgoing two electrons produced via inelastic scattering between the 200 eV incident electrons and the target atom were detected using the energy analyzers positioned at -13 and at 60 degrees.

2017, ix + 47 pages

Key Words: Electron spectrometry, Electron-atom collisions, Helium atom, Autoionization resonance energy levels.

TEŞEKKÜR

Çalışmanın sonuçlarının değerlendirilmesi ve tezimin yazımı aşamasında yapmış oldukları katkılarından dolayı tez danışmanlarım Doç. Dr. Hüseyin Ali YALIM'a ve Arş. Grv. Dr. Zehra Nur ÖZER'e, araştırma sürecinde desteklerini esirgemeyen Prof. Dr. Mevlüt DOĞAN ve Doç. Dr. Melike ULU hocalarıma, her konuda öneri ve eleştirileriyle yardımlarını gördüğüm Fizik Anabilim dalı doktora öğrencisi Murat YAVUZ'a ve yüksek lisans öğrencisi Suay KAZGÖZ'e, tezin yazımı ile ilgili katkısından dolayı Özgün AĞAR'a ve bana eğitim hayatım boyunca desteklerini esirgemeyen adlarını zikredemediğim bütün arkadaşlarıma teşekkür ederim.

15.FEN.BİL.14 numaralı proje ile destek veren BAPK'a teşekkür ederim.

Bu araştırma boyunca maddi ve manevi desteklerinden dolayı aileme teşekkürü bir borç bilirim.

Ali ALPERGÜN

AFYONKARAHİSAR, 2017

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	iv
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	v
ŞEKİLLER DİZİNİ	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	ix
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR BİLGİLERİ	4
2.1 Elektron-Atom Çarpışmalarında Meydana Gelebilecek Olaylar	4
2.2 Tesir Kesiti.....	7
2.3 Elektron-Helyum Çarpışmalarında İkili Uyarma-İyonlaşma.....	9
3. MATERYAL VE METOT.....	21
3.1 Deney Düzenegi.....	21
3.1.1 Vakum Sistemi	22
3.1.2 Elektron Tabancası	23
3.1.3 Faraday Elektron Toplayıcı	24
3.1.4 Elektron Enerji Analizörü.....	25
3.2 Sinyal İşleme Ünitesi	27
4. BULGULAR	30
4.1 Enerji Kayıp Spektrumu	31
4.2 Kopan Elektron Enerji Spektrumu.....	34
4.3 (e,2e) Spektrumları	37
5. TARTIŞMA ve SONUÇ	40
6. KAYNAKLAR.....	42
ÖZGEÇMİŞ.....	47

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

$d\sigma/d\Omega$	Diferansiyel tesir kesiti
eV	Elektron volt
ΔE	Enerji çözünürlüğü
He	Helyum
$d^2\sigma/d\Omega dE$	İkili diferansiyel tesir kesiti (DDCS)
$d\Omega$	Katı açı
μA	Mikroamper
mbar	Milibar
Θ	Saçılma açısı
A_μ	Shore-Balashov asimetri parametresi
B_μ	Shore-Balashov rezonans şiddeti parametresi
Σ	Toplam tesir kesiti
$d^3\sigma/d\Omega_s d\Omega_e dE$	Üçlü diferansiyel tesir kesiti (TDCS)Saçılma açısı

Kısaltmalar

MCS	Çok kanallı sayıcı (Multi-Channel Scaler)
DCS	Diferansiyel tesir kesiti
FET	Faraday Cup (Faraday Elektron Toplayıcı)
DDCS	İkili diferansiyel tesir kesiti
NIM	Nükleer Aygıtlar Modülü (Nuclear Instrumentation Module)
CEM	Tek kanallı elektron çoğaltıcısı
SDCS	Tekli diferansiyel tesir kesiti
TCS	Toplam tesir kesiti
TDCS	Üçlü diferansiyel tesir kesiti
TAC	Zaman-genlik dönüştürücü

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1 Elastik saçılma, uyarılma, tekli iyonlaşma ve kendiliğinden iyonlaşma durumlarının şematik olarak gösterimi.	6
Şekil 2.2 Saçılma olayının şematik gösterimi.	7
Şekil 2.3 Helyum atomuna ait uyarma, tekli iyonlaşma, iki kere uyarma-kendiliğinden iyonlaşma ve ikili iyonlaşma enerji düzeyleri.	11
Şekil 2.4 Direkt iyonlaşma ve bir rezonans düzeyi aracılığı ile iyonlaşma durumlarının gösterimi (Şişe 2011).	14
Şekil 2.5 Fano (1961) tarafından parametrize edilen rezonans profilleri.	15
Şekil 2.6 Helyum (e, 2e) kopan elektronların açisal dağılımları: (a) direk iyonlaşma, (b) (2s2p)1Po düzeyi ve (c) (2p2)1D düzeyi için. Semboller deneysel veri ve istatistiksel hataları göstermektedir. Dolu daireler Şişe (2011), üçgenler Lower ve Weigold (1990) ve kareler McDonald ve Crowe (1993) tarafından alınan ölçümleri göstermektedir. Oklar momentum transfer doğrultularını göstermektedir. Direk iyonlaşma tesir kesiti 34.5 eV kopan elektron enerjisinde belirlenmiştir. Godunov vd. (2002) teorik sonuçları: düz çizgiler: ikinci-mertebe Born hesaplamaları ve Coulomb etkileşmesi; kesikli çizgiler: birinci-mertebe Born hesaplamaları (Şişe <i>et al.</i> 2010).	18
Şekil 2.7 250 eV gelen elektron enerjisinde ve 26°-116° koparılan elektron açılarında helyumun kopan elektron spektrumu. Daireler deneysel ölçüm sonuçlarını, çizgiler ise bunların ortalamasını vermektedir (Zhang <i>et al.</i> 2012).	19
Şekil 2.8 96.9 eV gelen elektron enerjisiyle a ve b spektrometresi eş zamanlı olarak detekte edilmiş enerji spektrumları ve bunların çakışması ölçümler sırasında her iki analizörde aynı enerjideki elektronlar detekte edilmiştir ve spektrumda rastgele meydana gelen çakışmalar çıkarılmıştır (Baripas <i>et al.</i> 2015).	20
Şekil 3.1 Deney düzeneğinin genel görünümü.	21

Şekil 3.2 Vakum sistemi ve bağlantıları.....	22
Şekil 3.3 Elektron spektrometresinin vakum sistemi içerisindeki görünümü.....	23
Şekil 3.4 Elektron tabancasının üç boyutlu AutoCAD çizimi (Şişe 2011).	24
Şekil 3.5 Hairpin tipi filament ve filamentin elektron tabancasına yerleştirilmiş halinin fotoğrafı.....	24
Şekil 3.6 a) Elektron demetinin giriş elektrostatik lens sistemine odaklanmasının SIMION programından gösterimi. (b) Giriş lens sistemi ve yarıküresel enerji analizöründe farklı enerjilere ait elektron yörüngelerinin SIMION programından gösterimi (Özer 2013).....	26
Şekil 3.7 Tek kanallı elektron çoğaltıcı içinde çoğaltma işleminin temsili gösterimi (Kazgöz 2015).....	27
Şekil 3.8 TAC'ın, başla ve dur (start-stop) girişlerine uygulanan sinyaller arasındaki zaman farkıyla orantılı genlikte çıkış sinyali üretmesi.	28
Şekil 3.9 Sinyal işleme ünitesi ve NIM cihazlarının görünümü.	29
Şekil 4.1 Kopan analizör elastik piki.	31
Şekil 4.2 Saçılan analizör elastik piki.	32
Şekil 4.3 Kopan analizör inelastik piki.	33
Şekil 4.4 Saçılan analizör inelastik piki.	33
Şekil 4.5 $E_0 = 200$ eV için 30° 'de alınan spektrum.....	35
Şekil 4.6 $E_0 = 200$ eV için 60° 'de alınan spektrum.....	35
Şekil 4.7 $E_0 = 200$ eV için 90° 'de alınan spektrum.....	36
Şekil 4.8 $E_0 = 200$ eV $KE=15$ eV için 120° 'de alınan spektrum.....	36
Şekil 4.9 Helyum atomunun 200 eV çarpışma enerjisinde elde edilen bağlanma enerjisi spektrumu.....	38

Şekil 4.10 Rezonans düzeyleri için ileri saçılma bölgesinde alınan (e,2e) spektrumu. . 39



ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 2.1 Helyum atomunda elektron çarpışmasıyla $(n\ell n'\ell')^{1,3}L$ kendiliğinden iyonlaşma enerji düzeyleri üzerine yapılan deneysel çalışmaların özeti. Burada, E_0 gelen elektron enerjisi; Θ_s saçılan elektron açısı ve $\Delta E_{1/2}$ enerji çözünürlüğünü göstermektedir.	16
Çizelge 4.1 İlk dört rezonans düzeyi için enerji ve çizgi şekli genişlikleri. Tüm değerlerin birimi eV'tur.	30



1. GİRİŞ

Yüklü parçacıkların atom ve moleküllerle çarpışması sonucu oluşan etkileşmeler, atom ve kuantum fiziğinin en önemli süreçlerindendir. Çarpışma fiziğinin konusu olan bu süreçlerden özel bir durum olan kendiliğinden iyonlaşma olayı, teorisyenlerin yeni teorileri geliştirebilmeleri bakımından oldukça ilgi çeken bir olaydır. Kendiliğinden iyonlaşma olayı, deneysel olarak tesir kesiti ölçümleriyle incelenmekte ve çarpışma sonucu açığa çıkan parçacıkların analiz edilmesiyle, etkileşme dinamikleri ile hedef hakkında en detaylı şekilde bilgi alınabilmektedir.

Atom ve molekül fiziği, birçok uygulamayı içinde barındıran disiplinler arası bir alandır. Atom ve moleküllerin elektron, foton, atom ve iyon gibi parçacıklarla etkileşmeleri, atom ve molekül fiziğinin araştırma alanına girmektedir. Atom ve molekül fiziğinde elektron-atom/molekül çarpışmaları üzerine hem deneysel hem de teorik araştırmalar yapılmaktadır. Bu sürecin deneysel ve teorik olarak aydınlatılması; plazma fiziği, astrofizik, atmosfer fiziği, radyasyon kimyası ve biyoloji gibi geniş bir alanda oldukça büyük bir öneme sahiptir. Bu ihtiyaç birden fazla farklı parçacığın dedekte edilmesini içeren çakışma tekniğinin geliştirilmesine neden olmuştur. Elektron-atom çarpışmasının ardından saçılan elektron/foton ve iyonların yüksek çözünürlüklü analizörlerle ikili ya da üçlü olarak eş zamanlı dedekte edilmesi incelenen olay hakkında oldukça detaylı bir bilgiye ulaşılmasını sağlamaktadır. Bu tür çalışmalar temel seviyedeki çok parçacıklı sistem dinamiklerinin anlaşılmasına yardımcı olmaktadır. Çarpışma fiziğinde, incelenen numuneye göre birçok değişik spektroskopi dalı bulunmaktadır. Genel olarak çarpışma spektroskopisi, 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 analizörler ile dedekte edilmesi prensibine dayanmaktadır. Bu tür deneysel çalışmalar, atom ve molekül fiziğinde geliştirilen teorilerin doğruluğunu ispatlamak için de önemlidir.

Çarpışma fiziği, bir hedef ile bir kuantum parçacığının tüm çarpışmalarını içermektedir. Çarpışan parçacıklar; fotonlar, elektronlar, iyonlar, nötral parçacıklar ve pozitronlar

olabilir. Hedefler ise atomlar, moleküller, genellikle ultra-soğuk hedef hazırlamada üretilen demetler, iyonlar, tuzaklanan atomlar ve tuzaklanan iyonlar olabilir. Çarpışma deneylerinde elektron demetinin kullanılmasının diğer kuantum parçacıklarına göre birçok avantajı vardır. Örneğin, elektron demetinin üretimi foton demeti üretimine göre daha kolay ve ucuzdur. Ayrıca elektron temel bir parçacık olduğu için hedeften bağımsız olarak tüm sistemlere uygulanabilir. Elektron demeti, atomları taban durumlarından fotonlarla uyarılması yasak olan düzeylere uyarabilir. Bunun yanında, elektron-atom çarpışmasıyla elde edilen veriler atom fiziğinde uyarılma, iyonlaşma, kendiliğinden iyonlaşma ve Auger Olayı için geliştirilen teorik modellerin doğruluğunun test edilmesine olanak sağlamaktadır. Dolayısıyla kuantum mekaniksel olarak elektron-atom etkileşmesiyle atomun yapısı hakkında daha fazla bilgi elde edilebilmektedir.

Elektron-elektron çarpışma spektrometresinde, elektron tabancası tarafından üretilen elektron demeti, dikey doğrultuda gelen gaz demeti üzerine gönderilmektedir. Elektron-atom çarpışmaları sonucunda saçılan ve iyonlaşan elektronlar, yarı-küresel enerji analizörleri ile elektron çoğaltıcı dedektörlere iletilmektedirler. Elektron çoğaltıcılar gelen elektronu ikincil emisyon işlemiyle çoğaltarak sinyale çevirmektedir. Dedektörden elde edilen sinyaller yükseltilmekte ve ayırt edilmektedir. Puls sayım sistemlerinde kullanılan elektron çoğaltıcılardan elde edilen sinyal yükselticiler yardımıyla yükseltilerek, ayırt ediciler yardımıyla beslenmektedir. Ayırt edici birimi, gürültü sinyallerini gerçek sinyalden ayırt etmek için kullanılmaktadır. Bununla birlikte, (e,2e) elektron-elektron çarpışma spektrometrelerinde çarpışma sonrası açığa çıkan her iki elektronu dedekte etmek için iki analizör kullanılmaktadır .

Atomik çarpışmalarda kendiliğinden iyonlaşma (otoiyonizasyon), rezonans olaylarının gözlenebilmesi için en önemli süreçlerden biridir. Madden ve Codling'in Helyumun kendiliğinden iyonlaşma olayının inceledikleri makaleden bu yana uzun yıllardır ilgi odağı olmaya devam etmektedir. Madden ve Codling (1965) Helyum atomunda rezonans düzeylerini foton soğurma deneyleri ile incelemiştir. Kendiliğinden iyonlaşma seviyelerini çözecek ve tanımlayacak yeterli çözünürlüğe sahip iyonlarla yapılan ilk deneysel çalışmalar, Rudd (1964) tarafından gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışmalar

kendiliğinden iyonlaşma olayı süreçlerinin ve Helyum atomunun elektronik yapısına genel bir fikir olması yanında aynı zamanda atomun iyonik çekirdek alanında, kopan ve saçılan elektron arasındaki etkileşim süreçlerini de anlamak için önemlidir (Marinkovic *et al.* 2014). Kendiliğinden iyonlaşma ve rezonans profilleri; elektronlar arası etkileşmeler, elektron bulutlarının şekillerinde, farklı enerji ve açıya bağlı tesir kesitlerinde önemli değişiklikler (Pochat *et al.* 1982, Lower and Wiegold 1990, Crowe *et al.* 1996, Brunger *et al.* 1997, Samardzic *et al.* 1997, Doğan *et al.* 2001, Doğan and Crowe 2002) literatürde yapılan çalışmalarda gözlenmiştir.

Bu tez çalışmasında, helyum atomuna ait kendiliğinden iyonlaşma enerji düzeylerine ait tesir kesitlerinin deneysel olarak incelenmesi amaçlanmıştır. Deney düzeneği, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fizik Bölümü'ndeki Elektron Çarpışma (e-COL) Laboratuvarında bulunmaktadır. Bu deney düzeneğiyle yapılan çalışmalarda temel amaç; atomik ve moleküler sistemlerin yapısını incelemek, kendiliğinden iyonlaşma olayında elektron korelasyonlarının nasıl gerçekleştiğini görmek ve çok parçalı probleminin çözümüne yönelik deneysel veriler üretmektir.

Bu tez çalışması, beş bölümden oluşmaktadır. İkinci bölümde; elektron atom çarpışmaları, tesir kesiti kavramı, çarpışma sonucu meydana gelebilecek olaylar ve helyum atomuyla ilgili literatürde yer alan bilgiler aktarılacaktır. Üçüncü bölümde ise deneylerin gerçekleştirildiği elektron çarpışma spektrometresinden ayrıntılı olarak bahsedilecektir. Dördüncü bölümde ise deneysel bulgulara yer verilecektir ve son bölümde ise elde edilen sonuçlar tartışılacaktır.

2. LİTERATÜR BİLGİLERİ

Çarpışma deneylerinde amaç; hedef atomun yapısını ve elektron ile atom arasındaki etkileşme olaylarını incelemektir. Yapılan tesir kesiti ölçümleriyle incelenen atomun yapısının kuantum mekaniksel olarak anlaşılması sağlanmak istenmektedir. Bu bölümde; elektron atom çarpışmaları sonucu meydana gelebilecek olaylar, tesir kesiti kavramı ve helyum atomunun kendiliğinden iyonlaşma olayı ile ilgili literatürde yer alan bilgiler verilecektir.

2.1 Elektron-Atom Çarpışmalarında Meydana Gelebilecek Olaylar

Laboratuvar ortamında gerçekleşen elektron-atom çarpışma deneyleri, hedef gaz olan atomun üzerine elektron demeti gönderilerek gerçekleştirilir. Çarpışma olayında gelen parçacıkların aynı enerjide ve iyi odaklanmış olduğu ve çarpışma merkezine gönderilen hedef atomların da durgun halde olduğu kabul edilir. Hedef atomdan saçılan elektronların açısal dağılımlarını etkileyen önemli etkenlerden birisi saçılan parçacıklar arasındaki etkileşme potansiyelidir. Kuantum mekaniksel dalga fonksiyonlarının anlaşılabilmesi için atomun kuantum durumlarındaki değişim olasılıklarının belirlenmesi gerekir.

Çarpışma deneylerinde; elastik, elastik olmayan ve süper elastik çarpışmalar olmak üzere üç farklı olay meydana gelebilmektedir. Gelen elektronun ve hedefin kuantum durumu saçılma türünü belli etmektedir. Bir elektronun enerjisi, çarptığı atomun ilk uyarılma enerjisiyle kıyaslandığında küçükse, atomu uyarmadan; yani enerjisini kaybetmeden yoluna devam eder. Bu durumda elastik saçılma olayı meydana gelir. Bir elektronun enerjisi, çarptığı atomun uyarılma enerjisine eşit ya da daha büyükse atom uyarılır ve uyarılan atom bir üst enerji seviyesine çıkar. Ancak daha sonra çarpışma yapabilmek için tekrar temel hale dönmek ister. Eğer elektron atomdan bir elektronu koparabilecek enerji ile gelirse, atomu iyonlaştırır. Hatta çok elektronlu bir atomla çarpışması durumunda çoklu iyonlaşma olayları gerçekleşebilir. Sonuç olarak, gelen elektronun enerjisine bağlı olarak; elastik saçılma, uyarma ve iyonlaşma olaylarının hepsinin gerçekleşme ihtimali söz konusudur. Ek olarak, inelastik olarak kendiliğinden

iyonlaşma, eş zamanlı uyarılma-iyonlaşma ve Auger olayları meydana gelebilir. Meydana gelebilecek başka bir muhtemel olay da foton, iyon veya elektron gibi parçacıklar tarafından uyarılmış hedef ile çarpışan elektronun çarpışma sonrasında enerji kazandığı süperelastik çarpışma olayıdır.

Şekil 2.1’de herhangi bir atom için spektroskopik olarak enerji kayıp spektrumu gösterilmiştir. Burada gelen elektronun E_0 enerjisi, uyarma eşiğinden daha küçük olursa hedef atom ve gelen elektron arasında herhangi bir etkileşme olmaz ve ortamda sadece saçılan elektron bulunur. Saçılan elektronun enerjisi çarpışmadan sonra aynıdır. Gelen elektronun E_0 enerjisi eğer uyarılma eşiğine ulaşmış ise atomu bir üst enerji seviyesine uyarır. Elektronun E_0 enerjisi iyonlaşma eşik değerine eşit olduğunda atomu iyonlaştırır. İyonlaşma olayında saçılan ve kopan elektronların ayırt edilmesi mümkün olmadığı için spektrum simetrik bir yapıda değişir. Buna göre saçılan elektron enerjisi, iyonlaşma potansiyeli ve iyonlaşan elektronların enerjilerinin toplamı gelen elektronların enerjilerine eşit olmalıdır. Aynı şekilde kendiliğinden iyonlaşma geçişleri, şematik olarak rezonans çizgileri ile gösterilmiştir.

Taban durumdaki hedef atomun iki elektronunu birinci uyarılma durumuna uyarmak için verilmesi gereken enerji, iyonlaşma durumunun enerjisinden fazladır. Böyle bir olayda atomun iki elektronu iyonlaşma enerji durumunun üzerindeki kendiliğinden iyonlaşma enerji durumuna uyarılırlar. Bu çift uyarılmış durumdan iyonlaşma seviyesine ışımasız bir geçiş gerçekleşir. Gelen elektron saçılırken atomun bir elektronu koparılmış olur. Elektron etkisiyle uyarılan atomların kendiliğinden iyonlaşması, direkt iyonlaşma genliği ile kendiliğinden iyonlaşma genliği arasında girişimi içerir. Helyum atomunun $n=2$ seviyesinde uyarılması bu iki olayın çalışılması için en temel sistemdir (Crowe *et al.* 1996). Bu olaylar sırasıyla

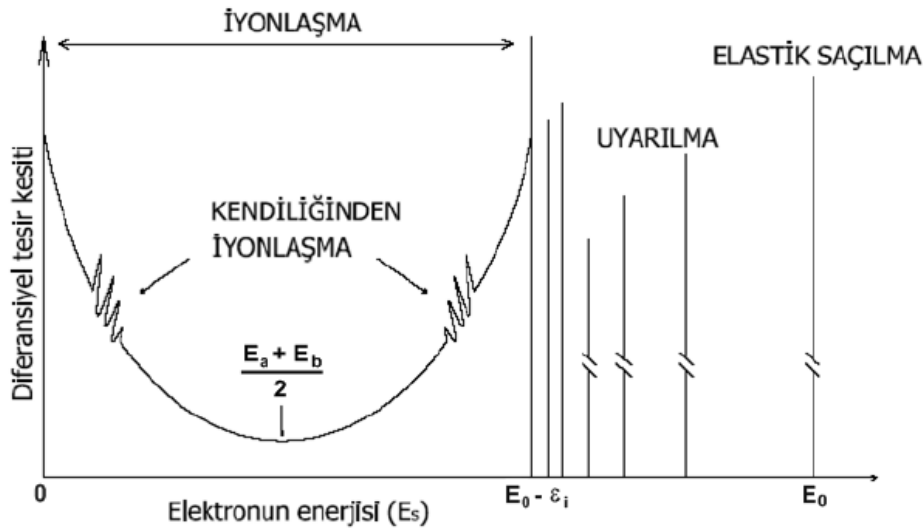
$$e_0(k_0) + He(1s^2) \rightarrow He^+(1s) + e_s(k_s) + e_i(k_i) \quad (2.1)$$

ve

$$\begin{aligned} e_0(k_0) + He(1s^2) &\rightarrow He^{**}(2l, 2l') + e_s(k_s) \\ &\downarrow \\ &He^+(1s) + e_i(k_i) \end{aligned} \quad (2.2)$$

ile gösterilebilir. Burada hedef atom ve geriye kalan iyonun taban durumunda bulunduğu düşünülür. Gelen elektronun enerji kaybı, kendiliğinden iyonlaşma enerji seviyesinin uyarılma enerjisine karşılık gelir. Koparılan elektronun enerjisi, kendiliğinden iyonlaşma ve geriye kalan iyonunun enerji seviyeleri arasındaki farka karşılık gelir.

$\text{He}^{**}(n\ell n'\ell')^{1,3}L$ ikili uyarma enerji düzeylerini temsil etmektedir. Burada L toplam açısal momentumu ve 1,3 sayıları tekli ve üçlü düzeyleri göstermektedir. $L=0$, S-düzeyini; $L=1$, P-düzeyini ve $L=2$ ise D düzeyini göstermektedir. He^+ $n=2$ uyarılma eşiğinin (65.4 eV) altında rezonans düzeyleri bulunmaktadır. Bunlar sırasıyla $(2s^2)^1S$, $(2s2p)^3P$, $(2p^2)^1D$, $(2s2p)^1P$ düzeyleridir. Yalnızca $(2s2p)^1P$ dipol geçişi optiksel olarak izinlidir ve foton-uyarılma deneylerinde gözlemlenir. 1S ve 1D tekli düzeyleri optiksel olarak yasak geçişlerdir. 3P ise üçlü durumda yasak geçirir ve yalnızca düşük enerjili elektronlarla çarpışmalarda gözlemlenebilir. Çünkü bu düzeye uyarma yapabilmek için elektron değiş tokuşuna ihtiyaç vardır.

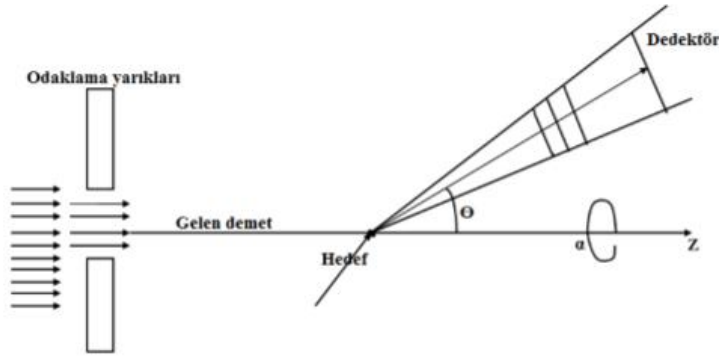


Şekil 2.1 Elastik saçılma, uyarılma, tekli iyonlaşma ve kendiliğinden iyonlaşma durumlarının şematik olarak gösterimi.

2.2 Tesir Kesiti

Elektron atom çarpışma deneylerinde saçılma olaylarının anlaşılması, elektron-atom ve elektron-elektron etkileşmelerinin Shrödinger dalga denkleminde doğru ifade edilmesine bağlıdır. Tek elektronlu atomlarda bile etkin potansiyelin tam olarak belirlenememesinden kaynaklanan problemten dolayı sistemin dalga fonksiyonu, tam olarak elde edilememektedir. Bu problem atom ve molekül fiziğinde çok parçacık (many-body) problemi olarak isimlendirilmektedir.

Tesir kesiti kavramı; çarpışma olaylarında birim zaman ve birim hacimde olayın olma sıklığının, gelen parçacıkların akısına oranı olarak tanımlanır. Tesir kesiti alan boyutundadır (m^2) ve etkileşen alan ne kadar büyük olursa etkileşme ihtimalide o kadar büyür. Tesir kesitinin değeri, çarpışan parçacıklar; elektron-atom arasındaki etkileşme ile elektron enerjisi ve saçılma açısı gibi çarpışma sonrasında meydana gelen etkileşmelere bağlıdır. Gelen ve saçılan elektronların akı hesabının yapılmasında, hedef atomun kuantum durumlarının incelenmesinde ve dalga fonksiyonlarının anlamlı hale getirilebilmesinde tesir kesiti kavramı önemlidir. Diferansiyel tesir kesiti ($d\sigma/d\Omega$) gelen elektron demet akısının hedef molekül başına saçılan dalga fonksiyonunun akısına oranı alınarak tanımlanır. Şekil 2.2’de saçılma olayı şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.2 Saçılma olayının şematik gösterimi.

Atomun elektron etkisiyle iyonlaşma olayının sonucunda hesaplamaların yapılabilmesi için dört farklı diferansiyel tesir kesiti kavramı tanımlanır.

Toplam iyonlaşma tesir kesiti (Total Ionization Cross Section; TCS); $\sigma(E_0)$, gelen elektron enerjisinin bir fonksiyonudur. Elektron-atom çarpışmalarından sonra açığa çıkan, saçılan ve koparılan elektronların enerjileri ve momentumlarından bağımsız olarak ortaya çıkan parçacıkların sayısının ölçüsü olarak da bilinir. Fakat çarpışma sonrasında oluşacak iyonlaşma dinamikleri ve hedefin yapısı hakkında görelî olarak daha az bilgi vermektedir. İyonlaşma sonrasında birbirinden ayırt edilemez iki elektron olacağından; toplam iyonlaşma tesir kesiti,

$$\sigma_i = \int \frac{d\sigma_i}{dE_i} dE_i \quad (2.3)$$

denklemleri ile verilmektedir.

Tekli diferansiyel tesir kesiti (Single Differential Cross Section; SDCS), belirli bir E_0 enerjili elektronla çarpışma sonucu çıkan iki elektronun enerji veya açısal dağılımlarını tanımlar ($d\sigma/dE$, $d\sigma/d\Omega$). SDSCS, tekli iyonlaşma olayı sonucunda ortaya çıkan iki elektronun enerji dağılımlarını vermektedir ve koparılan elektronun enerji dağılımı ile ifade edilir. Bu yüzden ikili diferansiyel tesir kesitinin tüm açılar üzerinden entegre edilmesiyle elde edilir (Ehrhardt *et al.* 1986):

$$\frac{d\sigma_b}{dE_b} = \int d\Omega_b \frac{d^2\sigma_b}{d\Omega_b dE_b}. \quad (2.4)$$

İkili diferansiyel tesir kesiti (Double Differential Cross Section; DDSCS), çarpışma sonucu ortaya çıkan parçacıklardan birinin enerjisine ve açısına göre tanımlanır ($d^2\sigma/dE d\Omega$). DDSCS, çıkan elektronun (deneysel olarak detekte edilmeyen) yönelimi üzerinden üçlü diferansiyel tesir kesitinin (TDCS) entegre edilmesiyle elde edilir.

Üçlü diferansiyel tesir kesiti (Triple Differential Cross Section; TDCS), iyonlaşma olayı sonrası oluşan saçılan ve kopan elektronların her ikisinin de eş zamanlı olarak detekte edilmesiyle; (e,2e) çakışma deney tekniği ile ölçülmektedir. Saçılan ve kopan elektronların momentumları belirlendiği için iyonlaşma olayının dinamiği ile ilgili en detaylı bilgiyi TDCS vermektedir ($d^3\sigma/dE_e d\Omega_s d\Omega_e$). Elektron etkisiyle hedef atomun

elektronlarından birinin iyonlaştırılması olayında, saçılan ve kopan elektronların her ikisinin de eş zamanlı olarak detekte edildiği deneylere (e, 2e) çarpışma deneyleri adı verilir. Deneysel TDCS ölçümleri ilk olarak Ehrhardt vd. (1969) ve Amaldi vd. (1969) tarafından birbirlerinden bağımsız olarak gerçekleştirilmiştir. Ehrhardt vd. (1969) düşük ve orta gelen elektron enerjilerinde iyonlaşma dinamikleri hakkında bilgi almak amaçlı çalışmalar yapmışlardır. Amaldi vd. (1969) ise gelen elektron enerjisini yüksek (iyonlaşma potansiyelinin 20 katından daha fazla) alarak gelen ve hedefe bağlı elektron arasında ikili çarpışma sonucu ürünleri detekte ederek, hedefe bağlı elektronun momentum dağılımlarını ölçmüşlerdir.

2.3 Elektron-Helyum Çarpışmalarında İkili Uyarılma-İyonlaşma

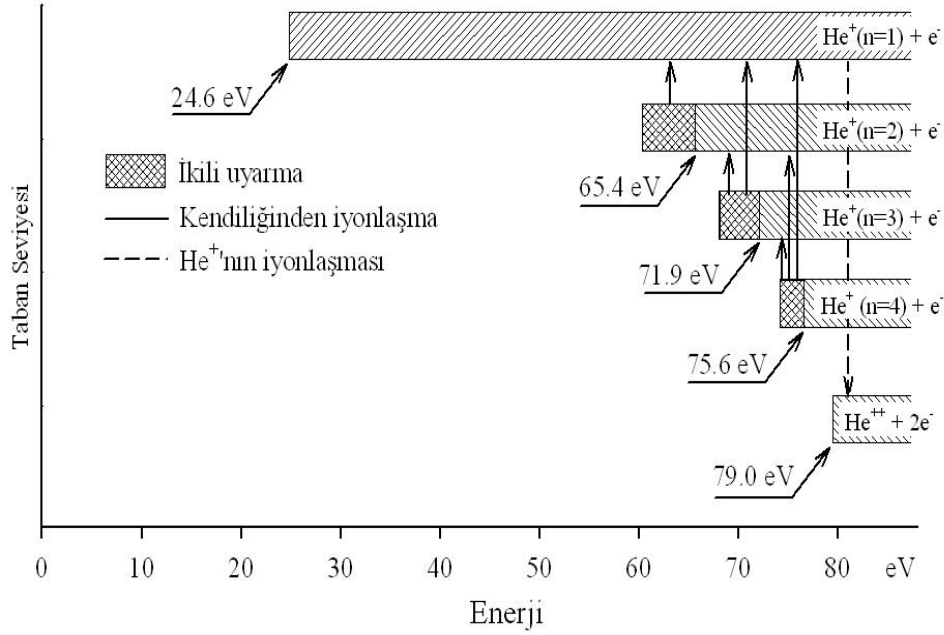
Helyum atomu, elektronlar arası etkileşmenin incelenmesi için en ideal sistemdir. Atomun elektronla uyarılabilmesi için elektronun atomun uyarılma enerjisi seviyesinde bir enerjiye sahip olması gerekir. Elektron - atom çarpışmalarında meydana gelebilecek pek çok durumdan biri elastik çarpışmadır. Elastik çarpışmada gelen elektron, hedef atomun iç enerjisine kinetik enerji aktarmaksızın yön değiştirir. Yeteri kadar enerjisi varsa elektron çarpışma yaparak enerjisinin bir kısmını atoma aktarır ve geri kalan enerjisi ile atomu terk eder. Çarpışma sonucu bir üst enerji seviyesine çıkmış atomu başka bir elektron uyaramaz.

Bir atom tarafından alınabilecek en küçük enerji değerine, o atomun birinci uyarılma enerjisi ya da ilk uyarılma enerjisi adı verilir. İlk uyarılma enerjisi en büyük olan atom, helyumdur. Helyumun ilk uyarılma enerjisi 19,8 eV'tur. Atom hangi yolla uyarılırsa uyarılsın kazandığı fazla enerjiyi foton şeklinde yayınlar.

Herhangi bir atom, taban durumuna göre uyarılmış iki elektrona sahipse bu atom ikili uyarılmış enerji durumundadır denir ve enerji seviyesi birinci iyonlaşma eşiğinin üstünde olur. Taban durumunda bulunan iki elektron aynı anda üst enerji seviyelerine uyarılırsa, uyarılmış durumda bulunan bu elektronlar bir tek elektronu sökmek için gerekli olan uyarılma enerjisinden daha fazla bir enerjiye sahip oldukları için, elektronlar arası Coulomb etkileşmesinden dolayı bu iki elektrondan birisi enerjisini

diğer elektrona vererek onun sistemi kendiliğinden terk etmesine dolayısıyla atomun iyonlaşmasına sebep olur. Işımasız olarak gerçekleşen bu olay ikiden fazla elektronu bulunan atomlarda gözlemlenir. İki elektrondan birinin sistemi kendiliğinden terk etmesi olayına **kendiliğinden iyonlaşma olayı** denir. Bu olaya sebep olan durumlara **rezonans durumları** ve enerjilerine de **rezonans enerjileri** denir. Helyum atomunda kendiliğinden iyonlaşma veya rezonans olayı için rezonans düzeylerine ait profil şekilleri ve bunların gelen elektron enerjisi, saçılma açıları ve momentum aktarımı ile değişimi üzerine literatürde sınırlı deneysel veri bulunmaktadır.

Helyum atomundaki iki elektronun aynı anda uyarılmasıyla elektronlar arasında bir Coulomb etkileşmesi meydana gelir. Bu korelasyon sonucu dış yörüngedeki elektron ile atoma bağlı diğer elektron arasında süperelastik bir çarpışma gerçekleşir ve dıştaki elektron atomdan kopar (Connerade 1998). He^+ iyonu taban durumuna ışıma yapmadan geçer. Birden fazla elektronun uyarılması ile meydana gelen bu durumlar, sürekli bölge içindedir. Bu durumlar ışımasız geçiş yaparak bozunabilirler. Bu geçişler oldukça hızlı meydana gelir ve sürekli bölgedeki ışımali geçişlerden daha etkilidir. Bu sebeple atomun kendiliğinden iyonlaşan durumlarının yaşama süresi (yarı ömrü), ışımalılı geçiş yapan durumların yaşama süresinden çok daha kısadır. Kompleks atom ve iyonlarda iyonlaşma tesir kesitine en büyük katkı kendiliğinden iyonlaşma olarak bilinen olaydan gelmektedir. Helyum atomuna ait uyarma, tekli iyonlaşma, iki kere uyarma-kendiliğinden iyonlaşma ve ikili iyonlaşma enerji düzeyleri Şekil 2.3’de verilmiştir.



Şekil 2.3 Helyum atomuna ait uyarma, tekli iyonlaşma, iki kere uyarma-kendiliğinden iyonlaşma ve ikili iyonlaşma enerji düzeyleri.

Sürekli bölgede aynı zamanda direk iyonlaşma olayı da gerçekleşmektedir. Rezonans düzeylerine ait çizgi profilleri, Shore (1967) ve Balashov vd. (1973) tarafından önerilen parametrik denklem ifade edilmiştir. Buna göre ikili veya üçlü diferansiyel tesir kesiti üst üste binmeyen rezonans düzeyleri için aşağıdaki şekilde yazılabilir:

$$DCS = f + \sum_{\mu} \frac{A_{\mu} \mathcal{E}_{\mu} + B_{\mu}}{1 + \mathcal{E}_{\mu}^2} \quad (2.5)$$

Burada μ rezonans düzeyini ve $\mathcal{E}_{\mu} = 2(E_e - E_{\mu}) / \Gamma_{\mu}$ rezonans düzeyinin relatif enerjisini göstermektedir. f parametresi tesir kesitinde direk iyonlaşma katkısını göstermektedir ve enerjinin lineer bir fonksiyonu olarak değişmektedir. A_{μ} ve B_{μ} parametreleri rezonans düzeyine ait sabitlerdir. A_{μ} parametresi rezonans profilinin asimetrik yapısı ve B_{μ} parametresi de rezonansın büyüklüğünü vermektedir. Her iki parametrede direk ve rezonans iyonlaşma genliklerinde bir girişim terimi içermektedirler. A_{μ} 'nın pozitif (negatif) değerleri kopan elektron enerjisi arttıkça spektrumda bir minimum (maksimum) sonra bir maksimum (minimum) yapması anlamına gelmektedir. B_{μ} 'nin pozitif

(negatif) değerleri tesir kesitinde artma (azalma) anlamına gelmektedir. Pozitif (neagatif) Bu değerleri yapıcı (yıkıcı) girişim olduğunu göstermektedir. Yapılan alışmalar, özellikle (e,2e) deneylerinde Shore-Balashov parametrelerinin kullanılmasının rezonans profillerinin değişimini incelemekte daha kullanışlı olduğu gösterilmiştir (McDonald and Crowe 1993).

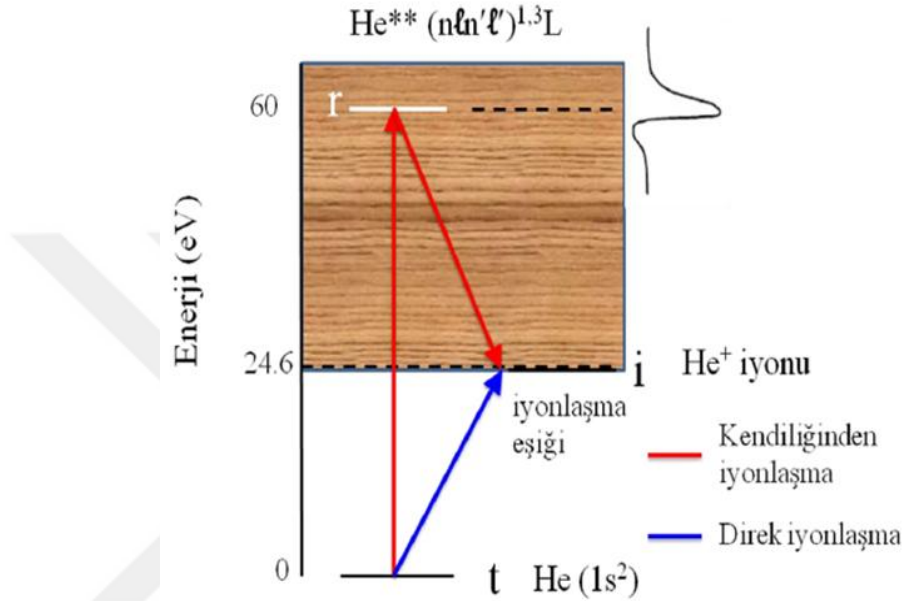
1D ve 1P rezonans düzeyleri He^+ taban durumundan sırasıyla 35.32 eV ve 35.56 eV yukarıda bulunmaktadır. $He\ 1s^2$ taban düzeyinden bu enerjilere aynı anda iki elektron uyarıldığında bu orbitalde elektronlar arası Coulomb etkileşmesiyle elektronlardan birisi He^+ tabana durumuna döner ve diğeri bu enerjilerle atomdan kopar. Kopan elektronların açısai dağılımları ve bu enerji değerlerindeki rezonans profilleri elektron-elektron korelasyonları hakkında bilgi vermektedir. Rezonans düzeyleri farklı açılarda değişik profil yapılarına sahiptir. Tek analizörle alınan ölçümlerde optiksel olarak yasak geçişlerden 1S ve 1D pikleri küçük açılarda şiddet olarak azalmakta ve büyük açılara doğru daha net olarak görölmektedir. Büyük açılarda direk iyonlaşmadan gelen katkı az olduğu için rezonans düzeyleri simetrik bir yapı gösterirken, küçük açılarda asimetrik bir yapı göstermektedir. Profil şekillerindeki bu değişiklik direk iyonlaşma ile rezonans iyonlaşma arasındaki girişim etkisinin bir sonucudur. Girişim genellikle rezonans enerjisinin bir tarafına yapıcı diğer tarafında ise yıkıcı girişim olarak gözlenmektedir. Shore-Balashov parametrelerinin karşılaştırılabileceği tek deneysel veri en yakın enerji değerinde McDonald ve Crowe (1992) tarafından ölçölmüştür. Karşılaştırma sonuçlarına göre, direk iyonlaşma olayının üzerine rezonans katkısı profillerde asimetrik bir yapı oluşturmaktadır. 1D ve $^1P^0$ enerji düzeylerinin birbirine yakın olmasından dolayı da iki rezonansın profillerinde üst üste binme gözlenmektedir. Spektrumlar büyük açılarda az bir asimetri ile pik yaparken ve küçük açılara doğru gidildiğinde kopma açısıyla beraber büyük bir oranda profil şekli değişmektedir. 3P düzeyinde rezonansın görölebilmesi için elektronlar arası değiş tokuş etkileşmesinin olması gerekmektedir. Ancak düşük enerjilerde bu rezonans görölebilir. Bu spektrumlarda sadece kopan elektronların enerji ve açısı bilindiğinden rölatif ikili diferansiyel tesir kesitleri olarak isimlendirilirler. 1S rezonans profili, direk iyonlaşma sonucunda oluşan tesir kesitinin üzerine bindiği önceki çalışmalarda görölmüştür (Şişe 2011). Direk iyonlaşma olayı veya 1S rezonans düzeyine uyarma ve kendiliğinden

iyonlaşma olayı He^+ enerji düzeylerinde sürekli bölgede aynı enerji düzeyine tekabül ettiği için iki durum arasında girişim olayı gözlemlenir. Küçük açılarda spektrumlar direk iyonlaşmayla yıkıcı girişim yaparken, büyük açılarda yapıcı girişim yapacak şekilde davranmaktadır. Bunun yanında deneysel prosedürlerin farklılığı spektrumların çizgi şekilleri üzerine etkisi incelendiğinde enerji çözünürlüğünün etkili olduğu unutulmamalıdır. Büyük açılarda direk iyonlaşma etkisi azaldığı için spektrumlar pik şeklindedir, fakat bu durum, girişim etkisinin kaybolduğu anlamına gelmemektedir. Bu durum göstermektedir ki uyarma-kendiliğinden iyonlaşma olayı teorik olarak henüz çözülebilmüş değildir. Burada alınan yeni ölçümler teorik çalışmaların gelişmesine yardımcı olacaktır.

Helyumun ikili uyarma durumları Madden ve Codling (1965) tarafından yapılan ışık soğurma deneyinden bu yana çok ilgi görmüştür ve o zamandan beri kendiliğinden iyonlaşma olayındaki 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 birçok teorik çalışma yapılmıştır (Lassetre 1959, Rudd 1964, Mehlhorn 1966, Madden and Codling 1965, Fano and Cooper 1965, 1968).

Helyum atomunda ikili uyarma enerji düzeyleri birinci iyonlaşma eşiğinin üzerinde bulunmaktadır ve ikinci iyonlaşma eşiğine kadar seri halinde rezonans düzeyleri bulunmaktadır. Şekil 2.3’de gösterilen bu düzeyler sürekli bölgede bulundukları için girişim etkisi kaçınılmazdır. Bu girişim etkisi direkt iyonlaşma ve rezonans iyonlaşma genliklerinin faz ve büyüklüğüne bağlı olarak değişmektedir. Düzey ve sürekli bölge arasındaki girişim etkisi genellikle rezonans enerji düzeylerinin olduğu bölgede alınan enerji spektrumlarında asimetric çizgi profillerine (Fano profilleri) neden olmaktadır. Bu girişim rezonans düzeyinin enerji değerinin bir tarafında yapıcı girişim meydana gelirken diğer tarafında yıkıcı girişim oluşmaktadır.

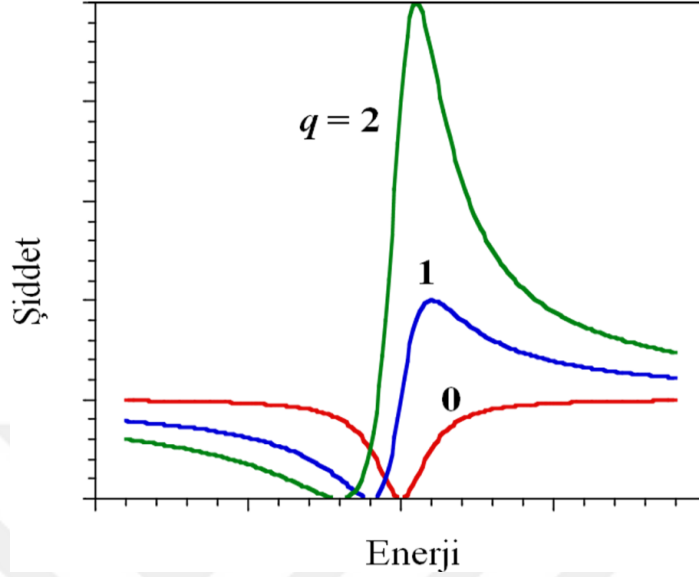
Kendiliğinden iyonlaşma ve direk iyonlaşma olaylarının her ikisinde de sonuç atomun iyonlaşmasıdır. Şekil 2.4'te bu geçişlere ait düzeyler şematik olarak gösterilmiştir. Burada: t – A atomu için taban durumunu, r – İkili uyarma rezonans durumunu ve, i – A^+ iyonu için taban durumunu göstermektedir. $t \rightarrow r \rightarrow i$ geçişi kendiliğinden iyonlaşmayı ve $t \rightarrow i$ ise direk iyonlaşma geçişini göstermektedir (Şişe 2011).



Şekil 2.4 Direkt iyonlaşma ve bir rezonans düzeyi aracılığı ile iyonlaşma durumlarının gösterimi (Şişe 2011).

Beutler (1935) ilk olarak Argon, Kripton ve Ksenon atomlarının foton soğurma spektrumlarında kendiliğinden iyonlaşma düzeylerini gözlemledi. Çizgi profil asimetrisi teorik olarak Fano (1935) tarafından dalga fonksiyonuna ait katsayıların kendiliğinden iyonlaşma enerji düzeylerinin yakınında hızlı değişiklikler göstermesiyle açıklandı. Elektron saçılmalarıyla kendiliğinden iyonlaşma düzeyleri ilk defa Lassettre (1959) tarafından incelendi. Fano (1961) daha sonra fotonlar için olan teoriyi elektron saçılmaları için genelleştirdi. Asimetrik pik profillerinin, ayırt edilemeyen rezonans düzeyleri ile dejenere sürekli düzeylerin girişiminden kaynaklandığını gösterdi. Fano, kendiliğinden iyonlaşma düzeyleri için ölçülen tesir kesitini uygun parametrik bir formda ifade etti. Şekil 2.5'de Fano (1961) tarafından önerilen q – biçim parametresinin farklı değerleri için rezonans profillerinin değişimi gösterilmiştir. $q=0$ rezonans profilinin tamamen yıkıcı girişime uğradığını ve negatif bir rezonans şekli oluştuğunu göstermektedir. q değerinin pozitif büyük değerler alması bir minimum daha sonra bir

maksimum, negatif büyük değerler alması ise bir maksimum ve sonrasında bir minimum olması anlamına gelmektedir.



Şekil 2.5 Fano (1961) tarafından parametrize edilen rezonans profilleri.

Helyum atomunda elektron çarpışmasıyla $(n\ell n'\ell')^{1,3}L$ ikili uyarma-kendiliğinden iyonlaşma enerji düzeyleri üzerine 2010 yılına kadar yapılan çalışmalar, Şişe (2011)'in tezinde ayrıntılı olarak verilmiştir. Bu nedenle bu tezde önemli olduğu düşünülen 2002 yılı ve son yıllarda yapılan çalışmalar verilmiştir (Çizelge 2.1).

Helyum atomunda ikili uyarma enerji düzeyleri birinci iyonlaşma eşiğinin üzerinde bulunmaktadır ve ikinci iyonlaşma eşiğine kadar seri halinde rezonans düzeyleri bulunmaktadır. Elektron çarpışma deneylerinde rezonans etkisi saçılan elektronların detekte edilmesiyle Liu vd. (2003) tarafından incelenmiştir. Rezonans düzeyinden kopan elektronların detekte edildiği deneyler ise Deharak vd. (2006) tarafından gerçekleştirilmiştir. Genellikle rezonans düzeylerinden kopan elektronların enerji spektrumları, gelen elektronun enerjisine ve açısına kritik olarak bağlıdır. Küçük açılarda ve yüksek enerjilerde optiksel olarak izinli geçişler görülürken, büyük açılarda ve düşük enerjilerde optiksel olarak yasak geçişler gözlemlenmektedir.

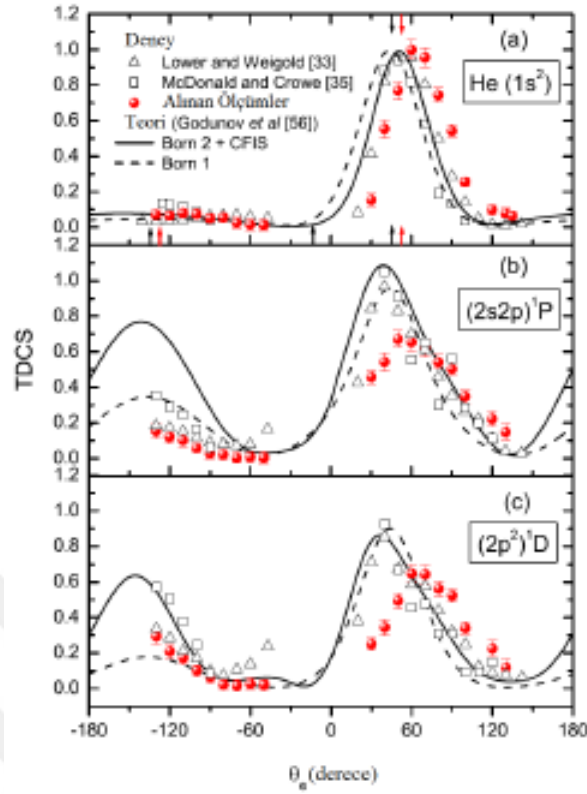
Çizelge 2.1 Helyum atomunda elektron çarpışmasıyla $(n\ell n'\ell')^{1,3}L$ kendiliğinden iyonlaşma enerji düzeyleri üzerine yapılan deneysel çalışmaların özeti. Burada, E_0 gelen elektron enerjisi; Θ_s saçılan elektron açısı ve $\Delta E_{1/2}$ enerji çözünürlüğünü göstermektedir.

Referans	E_0 (eV)	Θ_s	$(n\ell n'\ell')$	$\Delta E_{1/2}$ (meV)	Deney Metodu /Teori
Doğan ve Crowe (2002)	100, 200, 400	5°	$3\ell 3\ell'$	150	(e, γe)
Liu <i>et al.</i> (2003)	2500	0° - 6°	$2\ell 2\ell'$	80	EES
Deharak <i>et al.</i> (2004)	488	1.75°	$2\ell 2\ell'$	65	(e, 2e)
Deharak <i>et al.</i> (2006)	75, 150, 550	-	$2\ell n'\ell'$	50	EES
Şişe <i>et al.</i> (2010)	250	13°	$2\ell 2\ell'$	150	(e, 2e)
Zhang <i>et al.</i> (2012)	250-2000	26° - 116°	-	-	EES, Teori
Mikhaillov <i>et al.</i> (2013)	818, 3250	-	-	-	Teori
Mikhaillov <i>et al.</i> (2014)	818, 3250	-	-	-	Teori
Baripas <i>et al.</i> (2015)	96.9	65° - 115°		55	EES

Şişe vd. (2010) helyum atomunun $(2s^2)^1S$, $(2s2p)3P$, $(2p^2)^1D$ ve $(2s2p)1P^\circ$ ikili uyarma-kendiliğinden iyonlaşma enerji düzeylerinin, 250 eV enerjili elektron çarpışmasıyla uyarılması olayı için ikili ve üçlü diferansiyel tesir kesiti ölçümleri yapmışlardır. İyonlaşma sonrası kopan elektronların açısal dağılımları ve enerji spektrumları, yeni bir (e,2e) spektrometresi kullanılarak, -13° 'de saçılan elektronlar ile beraber eşzamanlı olarak detekte edilmesiyle ölçülmüştür. Rezonans profilleri Shore-Balashov parametre yaklaşımı kullanılarak analiz edilmiş ve f direk iyonlaşma tesir kesiti, A_μ rezonans asimetrisi ve B_μ rezonans şiddeti parametreleri elde edilmiştir. Spektrumlar ve rezonans parametreleri önceki deneysel ölçümler ile karşılaştırılmıştır. Deneysel sonuçlar aynı zamanda birinci ve ikinci-mertebe Born yaklaşıklığına dayanan tesir kesiti hesaplamaları ile karşılaştırılmıştır. Genel olarak önceki deneysel çalışmalar ile iyi bir uyum görülmüştür. İleri ve geri saçılma bölgelerinde bazı farklılıklar gözlemlenmiştir. Tesir kesitinin şekil ve büyüklüğündeki bu farklılıklar deneylerde kullanılan çarpışma

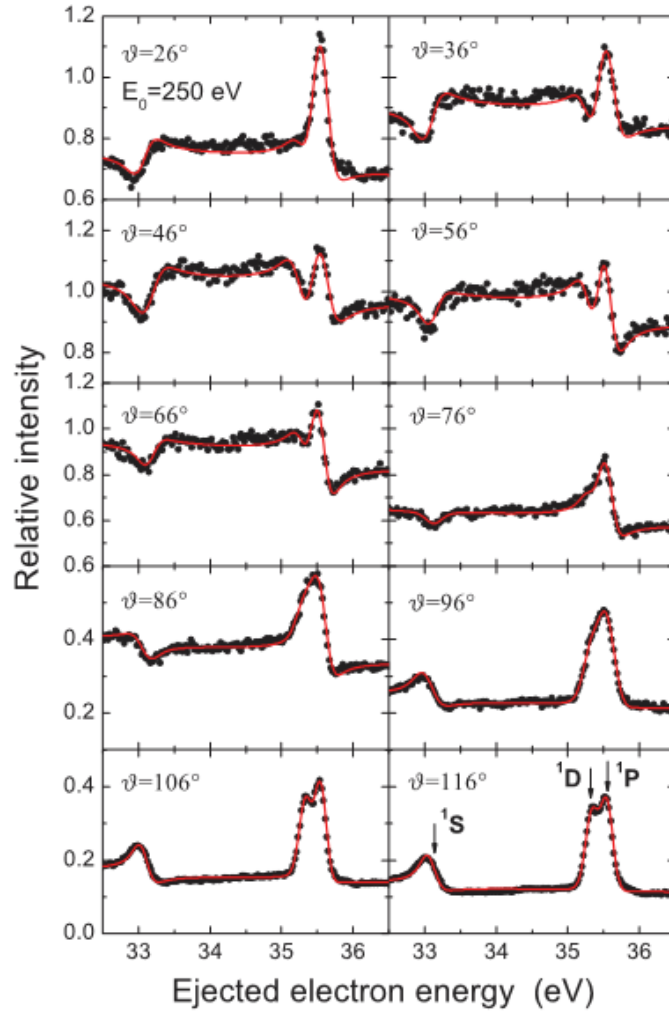
enerjisindeki farklılıkla açıklanmıştır. İkinci mertebe Born yaklaşıklığı ve üç-parçacıklı Coulomb etkileşmesinin hesaba katılması ile ileri saçılma bölgesinde deneysel çalışmalarla iyi bir uyum gözlenmiştir. Fakat teorik hesaplamalarda B_{μ} , $^1P^0$ rezonans şiddet parametresi, geri saçılma bölgesinde deneysel verilerden daha yukarıdadır ve tesir kesiti bu bölgede büyük bir pik vermiştir. Bu bölgede 1D seviyesi rezonans parametresi B_{μ} için her iki teorik çalışmada elde edilen sonuçlar arasında önemli farklılıklar bulunmaktadır. 1S düzeyi için B_{μ} parametresi teorik sonuçlardan önemli bir şekilde sapmaktadır. Teorik sonuçlar momentum transfer doğrultusu boyunca bu parametrenin negatif değerler aldığını ve bir lokal minimuma sahip olduğunu göstermektedir. Buna zıt olarak deneysel sonuçlar pozitif değerler almaktadır ve bir maksimuma sahiptir. Bu rezonans parametresinin değerinin pozitif olması yapıcı girişimi, negatif olması yıkıcı girişimi göstermektedir. Ayrıca deney ve teori arasındaki diğer farklılıklar da tartışılmıştır.

Zhang vd. (2012), kopan elektron spektroskopisi (Ejected Electron Spektroskopy-EES) yöntemiyle hızlı gelen elektron enerjilerinden 250-2000 eV ve 26° - 116° saçılma açılarında He atomunun $(2s^2)^1S$, $(2p^2)^1D$ ve $(2s2p)^1P$ kendiliğinden iyonlaşma rezonanslarını incelemişlerdir. 250 eV gelen elektron enerjisinde alınan sonuçlar Şekil 2.6'da verilmiştir.



Şekil 2.6 Helyum ($e, 2e$) kopan elektronların açısıl dağılımları: (a) direk iyonlaşma, (b) $(2s2p)^1P$ düzeyi ve (c) $(2p^2)^1D$ düzeyi için. Semboller deneysel veri ve istatistiksel hataları göstermektedir. Dolu daireler Şişe (2011), üçgenler Lower ve Weigold (1990) ve kareler McDonald ve Crowe (1993) tarafından alınan ölçümleri göstermektedir. Oklar momentum transfer doğrultularını göstermektedir. Direk iyonlaşma tesir kesiti 34.5 eV kopan elektron enerjisinde belirlenmiştir. Godunov vd. (2002) teorik sonuçları: düz çizgiler: ikinci-mertebe Born hesaplamaları ve Coulomb etkileşmesi; kesikli çizgiler: birinci-mertebe Born hesaplamaları (Şişe *et al.* 2010).

Zhang vd. (2012) elde ettikleri sonuçları McDonald ve Crowe (1992) tarafından 200 eV gelen elektron enerjisi için ortaya koyduğu sonuçlar ve Şişe vd. (2011) tarafından 250 eV gelen elektron enerjisi için alınan sonuçlarla karşılaştırmışlardır (Şekil 2.7). Rezonans simetrisine ve kinematik durumlara bağlı olarak rezonans ve doğrudan iyonlaşma olayını yansıtan girişim durumları gözlenmiştir. $(2p^2)^1D$ ve $(2s2p)^1P$ durumlarında rezonans durumu düşük enerjilerde gözlenmiştir. Optiksel olarak yasak geçişler olan $(2s^2)^1S$ ve $(2p^2)^1D$ koparılan elektron açısının değiştirilmesiyle oldukça değişirken optiksel olarak izinli geçişte $(2s2p)^1P$ her açı için biçimin değişmediği görülmüştür. Diğer deneysel sonuçlarla karşılaştırıldığında 1D ve 1P durumları için keskin farklılıklar gözlenmiştir.

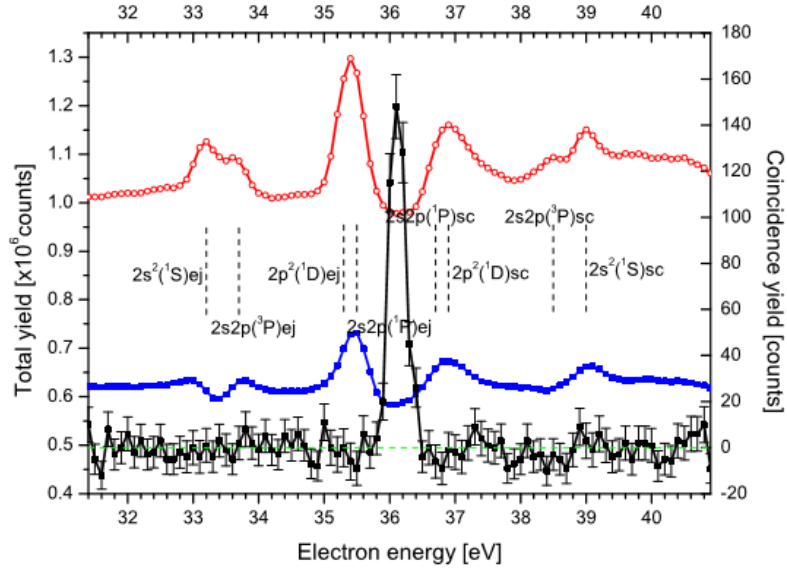


Şekil 2.7 250 eV gelen elektron enerjisinde ve 26° - 116° koparılan elektron açılarında helyumun kopan elektron spektrumu. Daireler deneysel ölçüm sonuçlarını, çizgiler ise bunların ortalamasını vermektedir (Zhang *et al.* 2012).

Baripas vd. (2015) helyumun kendiliğinden iyonlaşma durumlarını elektron etkisiyle uyarılması sonucu $\text{He}^+ (1s^{-1})$ durumu için incelemişlerdir (Şekil 2.8). Saçılan ve koparılan elektron çiftleri iki elektron spektrometresiyle eş zamanlı olarak gözlenmiştir. Bu çalışmanın amacı, helyumun $(2s^2)^1S$ ve $(2p^2)^1D$ kendiliğinden iyonlaşma durumlarındaki girişim etkilerinin değişiminin incelenmesi üzerinedir. Kritik enerji çevresinde (bir reaksiyon kanalından saçılan elektronun enerjisinin başka bir reaksiyon kanalında koparılan elektron enerjisine eşit olduğu) enerjiden gözlemlenen girişim etkilerinin önemli ölçüde değiştiği gözlenmiştir.

Şekil 2.8’de kendiliğinden iyonlaşma durumları için enerji spektrumu verilmiştir.

Ölçümler kritik gelen elektron enerjisinin üzerinde (96.9 eV) alınmıştır. Spektrumda saçılan ve koparılan elektronlar oldukça iyice ayrıştırılmıştır (düşük enerji bölgesi: koparılan-kendiliğinden iyonlaşan elektronlar, yüksek enerji bölgesi: saçılan elektronlar). Spektrumdaki asimetrik pikler doğrudan ve dolaylı iyonlaşmadan oluşan girişimden kaynaklanmaktadır.



Şekil 2.8 96.9 eV gelen elektron enerjisiyle a ve b spektrometresi eş zamanlı olarak detekte edilmiş enerji spektrumları ve bunların çakışması ölçümler sırasında her iki analizörde aynı enerjideki elektronlar detekte edilmiştir ve spektrumda rastgele meydana gelen çakışmalar çıkarılmıştır (Baripas *et al.* 2015).

3. MATERYAL VE METOT

3.1 Deney Düzeneği

Çarpışma deneyleri için kullanılan e-COL laboratuvarındaki elektron spektrometresi parçaları ve çalışma prensibi önceki tezlerde ayrıntılı olarak anlatılmıştır (Ulu 2007, Şişe 2011, Özer 2013, Yavuz 2013, Kazgöz 2015). Tezin bu bölümünde elektron spektrometresi hakkında genel bilgiler verilecektir. Elektron spektrometresinde; vakum sistemi, elektron tabancası, hedef atom veya molekül kaynağı, yarıküresel elektron enerji analizörleri, Faraday elektron toplayıcı, elektronik ve mekanik kontrol üniteleri bulunmaktadır. Şekil 3.1’de bu tezdeki çalışmaların yapıldığı deney düzeneğinin genel görünümü verilmiştir.



Şekil 3.1 Deney düzeneğinin genel görünümü.

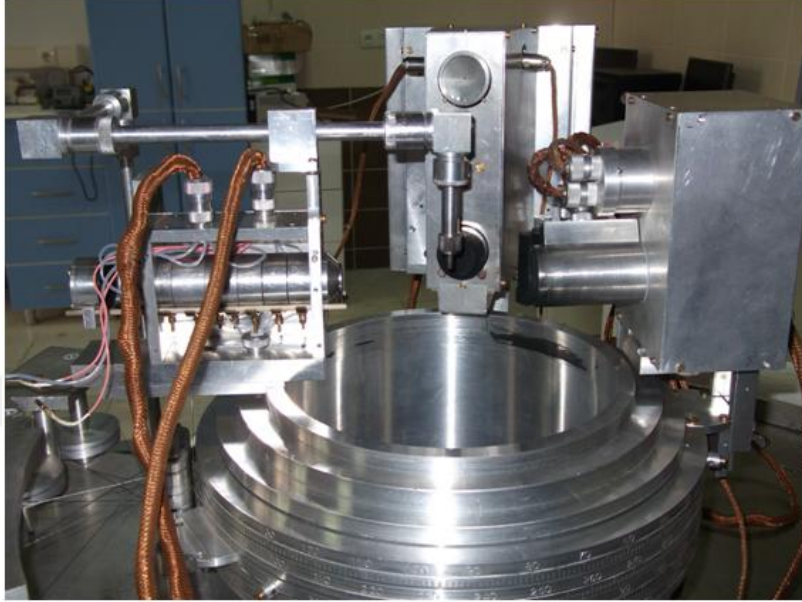
3.1.1 Vakum Sistemi

Elektron-atom çarpışmalarında atomun yapısını incelemek için ideal ortamda sadece incelenmek istenen atomun olması gerekir. Böyle doğal bir ortam olmadığı için, bu ortam vakum sistemleriyle sağlanır. Spektrometreyi oluşturan parçaların hepsinin vakum ortamında yer almaları gerekmektedir. Vakum odası manyetik özelliği olmayan paslanmaz çelikten yapılır. Vakum odasının içinde 3 mm kalınlığında μ -metal kılıf bulunmaktadır. Bu kılıf dış manyetik alan etkisinin çarpışma bölgesine etkisini minimuma indirmek için kullanılmaktadır. Ayrıca yine aynı sebepten dolayı vakum çemberinin dışına x,y ve z yönlerinde yerin alanına ters manyetik alan oluşturan Helmholtz bobinleri yerleştirilmiştir. Şekil 3.2’de vakum sistemi ve bağlantıları gösterilmiştir. Deney düzeneğinde basınç değeri 10^{-8} mbar mertebesine kadar gelebilmektedir. İçeriye hedef gazın verilmesiyle birlikte çalışma basıncı 10^{-6} mbar’a kadar yükselmektedir.



Şekil 3.2 Vakum sistemi ve bağlantıları.

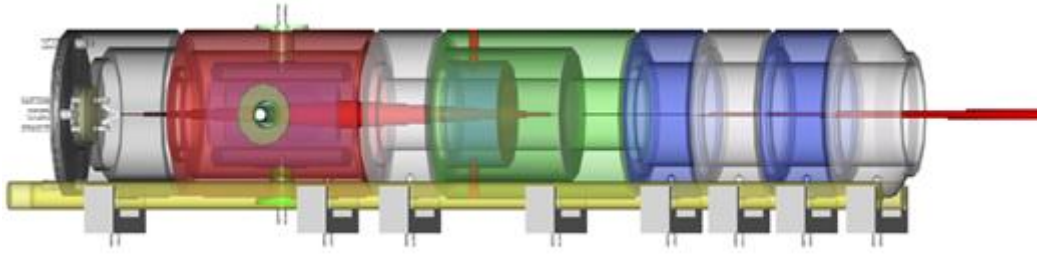
Elektron spektrometresi, Şekil 3.3’de görüldüğü gibi elektron demeti oluşturmayı ve odaklamayı sağlayan bir elektron tabancası, elektron demetini sürekli olarak görüntüleyen bir Faraday elektron toplayıcısı, çarpışma sonucu çıkan elektronları enerjilerine göre detekte eden enerji analizörlerinden oluşmaktadır.



Şekil 3.3 Elektron spektrometresinin vakum sistemi içerisindeki görünümü.

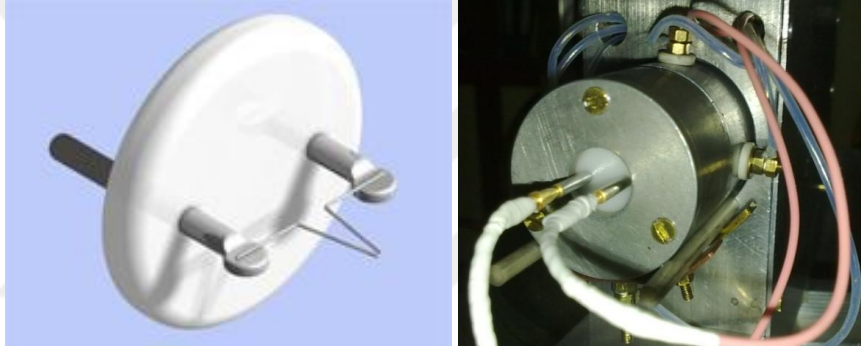
3.1.2 Elektron Tabancası

Elektron spektrometresinin en önemli parçalarından birisi elektron tabancasıdır. Elektron-atom çarpışmalarında çarpışma bölgesine gönderilen elektron demetinin çapının ve enerjisinin istenilen değerlerde ayarlanması tabancanın performansını belirler. Elektron-atom çarpışmalarında ölçümlerin uzun sürmesi nedeniyle üretilen elektron tabancasının performansı 50 ile 350 eV enerji aralığında, 2 μA ’lık akımlı ve 1-2 mm çapında paralel elektron demeti üretebilmelidir. Kullanılan elektron tabancası genel olarak üç kısımdan oluşmaktadır. Elektron üretimini gerçekleştiren katot bölgesi, demetin odaklanma ve yönlendirilmesini sağlayan elektrostatik lens sistemi ve demetin açısal dağılımını belirleyen delikli disklerdir. Ayrıca demetin katodun ısıtılması sırasında, eksensel olarak kaymasını engellemek için x ve y yönlerinde deflektörler kullanılmaktadır. Şekil 3.4’de kullanılan elektron tabancasının üç boyutlu AutoCAD çizimi gösterilmiştir.



Şekil 3.4 Elektron tabancasının üç boyutlu AutoCAD çizimi (Şişe 2011).

Elektron tabancasında katot bölgesinden sonra istenilen çapta elektron demeti elde etmek için anot çıkışında silindirik elektrotlardan oluşmuş elektrostatik lens sistemi bulunmaktadır. Filament, E_0 lensinin içine yerleştirilmiştir (Şekil 3.5).



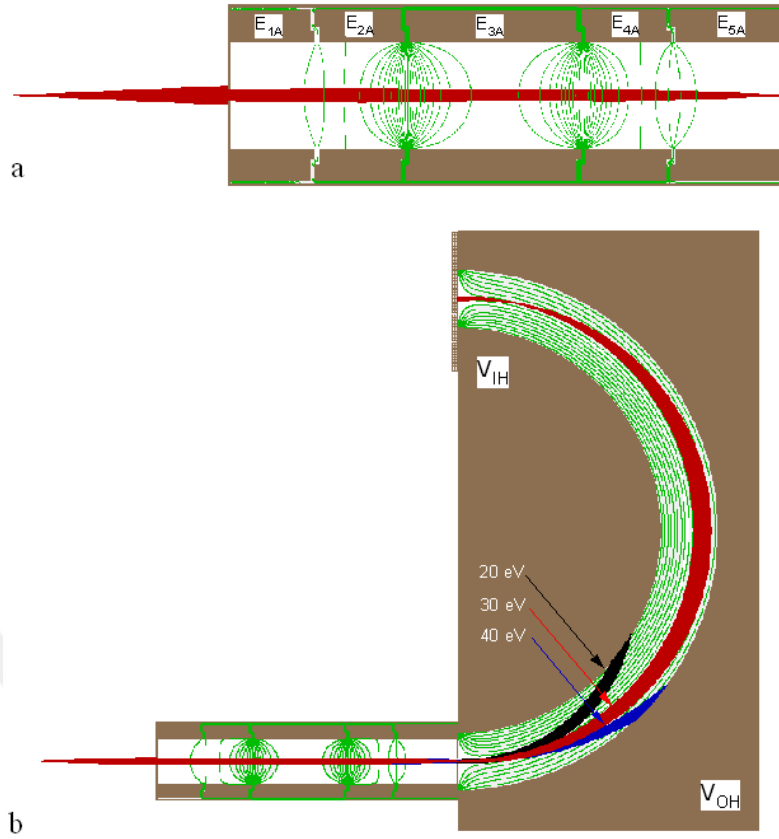
Şekil 3.5 Hairpin tipi filament ve filamentin elektron tabancasına yerleştirilmiş halinin fotoğrafı.

3.1.3 Faraday Elektron Toplayıcı

Elektron tabancasından üretilen elektronlar, tabancanın tam karşısında bulunan Faraday Elektron Toplayıcı (FET) tarafından toplanır. FET elektron tabancasında üretilen elektron demetinin odaklama kalitesini ve akımını ölçmenin yanında hedef gaz ile çarpışmasından sonra çarpışmaya girmeyen elektronların topraklanarak ikincil saçılmaların önlenmesi için kullanılmaktadır.

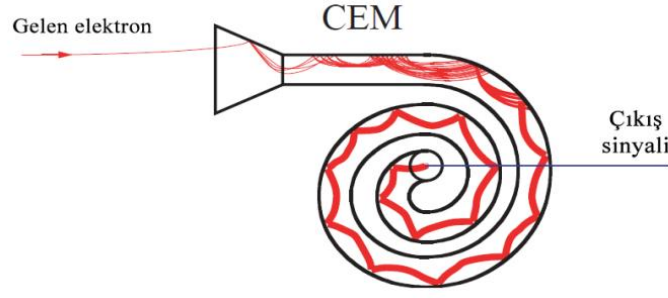
3.1.4 Elektron Enerji Analizörü

Elektron tabancasından gelen elektronlar bir gaz hedefle çarpıştıktan sonra küresel olarak her yöne dağılırlar. Enerji analizörleri, elektron saçılma deneylerinde etkileşme sonrası farklı enerji kayıplarına uğrayan ve farklı açılarda saçılan elektronların enerji ve açısal dağılımlarının belirlenmesi için kullanılmaktadır. Bir enerji analizörü genel olarak üç kısımdan oluşmaktadır. İlk kısım, girişte bulunan elektrostatik lens kısmıdır. Bu kısım etkileşme bölgesinden saçılan elektronların analizörün girişine odaklanması ve çıkış enerjisinin ayarlanması için kullanılır. İkinci kısım giriş lensinin çıkışına yerleştirilen iki yarıküresel elektrottan oluşan deflektör kısmıdır. Çarpışmadan sonra saçılan elektronlar, enerji analizörünün giriş optiğine (Şekil 3.6a) gelerek, lensler sayesinde elektron demeti hızlandırılarak ya da yavaşlatılarak ve sapmaya uğramadan yarı-küresel (deflektörün) kısmın girişine odaklanır. Yarıküresel deflektörün merkez yörüngesini izleyen ve detektöre ulaşabilen elektronların enerjisine uçuş enerjisi adı verilmektedir. Deflektörün iç (V_{IH}) ve dış (V_{OH}) küresel elektrotlarına voltajlar uygulanarak istenilen enerjideki elektronlar yarıküresel yolu izleyerek deflektörün çıkışına taşınması sağlanır. Eğer elektron demetinin enerjisi, istenilen enerjiden büyükse demet analizörün dış yarı küresine, eğer küçük ise iç yarı küresel deflektöre çarpar (Şekil 3.6b).



Şekil 3.6 a) Elektron demetinin giriş elektrostatik lens sistemine odaklanmasının SIMION programından gösterimi. (b) Giriş lens sistemi ve yarıküresel enerji analizöründe farklı enerjilere ait elektron yörüngelerinin SIMION programından gösterimi (Özer 2013).

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 tek kanallı elektron çoğaltıcı (channel electron multiplier; CEM) detektör ile gelen elektronlar çoğaltılmaktadır (Şekil 3.7). CEM'e gelen her elektron yüzeye çarpması sonucu, yüzeyden bir elektron kopararak, CEM'in çıkışında $\sim 10^8$ elektron üretebilmektedir. Böylelikle sinyal işlenebilir büyüklüğe gelmiştir.



Şekil 3.7 Tek kanallı elektron çoğaltıcı içinde çoğaltma işleminin temsili gösterimi.

CEM girişine gelen elektronları çıkışa yönlendirmek için uçları arasında yüksek gerilim ($\sim 2,5$ kV) uygulanır. CEM çıkışında, toprağa göre negatif, işlenebilir büyüklükte bir sinyal elde edilmiş olur. Bu sinyal, yükseltece aktararak sinyal işleme ünitesine aktarılmaktadır. 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. Detektör yüksek gerilim besleme ve sinyal çıkışı dâhil olmak üzere tüm sinyal işleme ünitesinde kablo ve konektörlerin, sinyalin kayıpsız ve gürültüsüz taşınabilmesi için belirli standartlara uygun olması gerekmektedir.

3.2 Sinyal İşleme Ünitesi

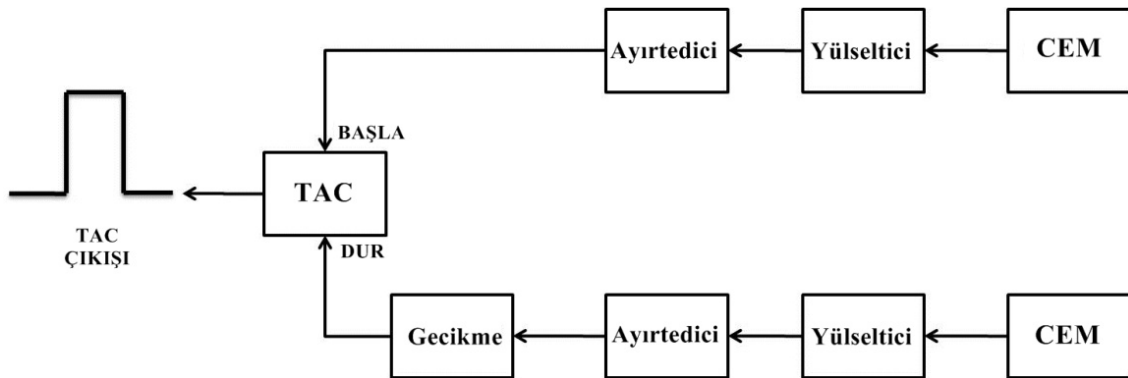
Elektron çarpışma deneylerinde, detektör (CEM) çıkışından alınan sinyalin genliği ~ 20 mV değerindedir. Sinyalin işlenmesini kolaylaştırmak için şiddetini yükseltmek gerekmektedir. Bunun için, Nükleer Aygıtlar Modülü (Nuclear Instrumentation Module; NIM) standartlarına uygun, kazancı ayarlanabilen bir yükseltici kullanılmaktadır. Sinyalin şeklinin değişmemesi için, kullanılan yükselticinin lineer ve yüksek hızlı olması gereklidir. Deneylerde, CEM sinyali yaklaşık 10 kat yükseltilmektedir. Hedeften saçılan ve koparılan elektronlar iki enerji analizörü ile detekte edilmekte ve CEM çıkışında bir yükseltece gönderilmektedir. Yükselticinin çıkışından elektronik gürültünün ayırt edilmesi için ayırt edici (discriminatör) kullanılmaktadır. Ayırt edicinin çıkışından biri sayıcıya (counter) ve diğeri de çarpışma

elektronu elemanları ile bilgisayara aktarılmaktadır.

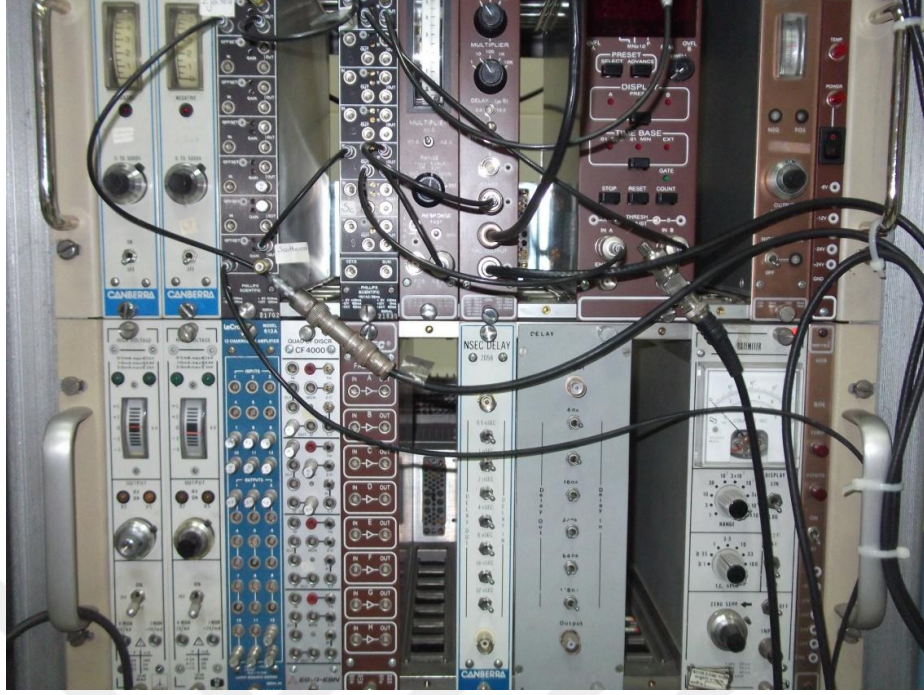
Ayırt edici çıkışında gözlenen her kare atma, belirlenen açı ve enerjide analizöre giren bir elektron varlığı anlamına gelmektedir. Artık elektriksel bir sinyal olmaktan çıkarak, bilgi taşıyan dijital paket haline dönüştürülmüştür. Elektron saçılma deneylerinin amacına uygun olarak, tesir kesiti ile ilişkilendirilebilecek şekilde sayılabilir hale getirilmiş olmaktadır.

İki analizörün kullanıldığı, detekte edilen iki elektron arasındaki zaman korelasyonunun incelendiği çakışma tekniği gibi uygulamalarda elektronların detektörlere ulaşmaları arasındaki zaman farkının hassas bir şekilde ölçülmesi gerekmektedir. Bu durumda, her iki analizöre gelen elektronların ürettiği sinyal ayrı ayrı CEM-Yükseltici-Ayırtedici yolunu izlemektedir (Şekil 3.8). Bu işlemler NIM cihazları ve veri toplama ünitesi olarak kullanılan bilgisayarlar yardımı ile yapılmaktadır. Şekil 3.9’da deney düzeneğinde kullanılan sinyal işleme ünitesinin görünümü verilmiştir.

Deneyssel olarak, aynı iyonlaşma olayından gelen saçılan ve kopan elektronlar, zaman olarak bir korelasyona sahiptirler. Gelen iki sinyal arasındaki zaman farkı bir TAC (Time-to-Amplitude Converter) yardımıyla genliğe dönüştürülmektedir. TAC’ın başlat ve durdur girişlerine bağlanan iki sinyalden çıkışta tek bir pozitif kare dalga sinyali elde edilmektedir. Buna göre iki elektron arasındaki zaman farkı (zaman gecikmesi) analizörlerin enerjisi doğru ayarlandığında bir kanalda birikmeye neden olmaktadır.



Şekil 3.8 TAC’ın, başla ve dur (start-stop) girişlerine uygulanan sinyaller arasındaki zaman farkıyla orantılı genlikte çıkış sinyali üretmesi.



Şekil 3.9 Sinyal işleme ünitesi ve NIM cihazlarının görünümü.

Elektron çarpışma deneylerinde tesir kesiti ölçümleri yapılmaktadır. Tesir kesitleri ise açığa ve enerjiye bağlı olarak elektron sayımları ile ilişkilendirilir. Dolayısı ile deneysel olarak, elektron sayımları ile ilgilenilmektedir. Detektörden alınan her bir sinyal, belirli bir enerjiyle belirli bir açıda saçılmış bir elektronu temsil etmektedir ve sayılmaktadır.

4. BULGULAR

Bu tez çalışmasında, helyum atomunun kendiliğinden iyonlaşma (rezonans) enerji düzeyleri tesir kesitleri deneysel olarak incelenmiştir. Tesir kesiti ölçümleri için kullanılan deney sisteminin kalibrasyonu amacıyla, kendiliğinden iyonlaşma spektrumu ölçümlerinden önce He atomuna ait elastik ve inelastik enerji kayıp spektrumları elde edilmiştir. Kalibrasyondan sonra, ilk olarak farklı açılarda kopan elektronun enerji spektrumları ve ardından farklı açı ve enerjilerde He atomunun kendiliğinden iyonlaşma enerji düzeyleri için tesir kesitleri incelenmiştir. İlaveten (e,2e) tekniği kullanılarak kopan ve saçılan elektronlar eş zamanlı olarak ölçülmüştür. Deneylerin gerçekleştirilmesi için gelen elektron demetinin enerjisi 200 eV olarak belirlenmiş ve saçılan elektronlar da -13° ve 60° 'ye yerleştirilmiş enerji analizörleri ile detekte edilmiştir. Rezonans spektrumu daha önce benzer enerji aralığında Şişe (2011) tarafından rapor edilen deneysel sonuçlarla karşılaştırılmıştır.

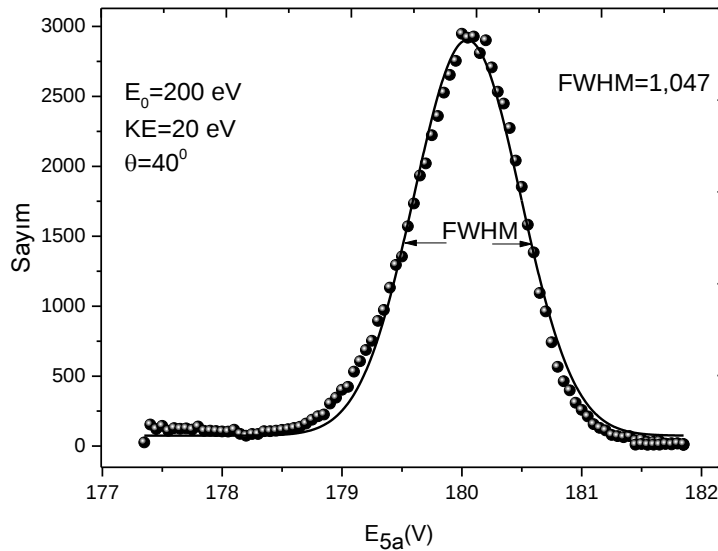
He atomunda kendiliğinden iyonlaşma enerji düzeyleri, birinci iyonlaşma eşiğinin (24,59 eV) üzerinde bulunmaktadır. Çizelge 4.1'de ilk dört düzey için enerji değerleri verilmiştir. Kopan elektronun enerjisi, uyarılma enerjisinden He atomunun iyonlaşma enerjisi olan 24,59 eV'un çıkarılması ile elde edilir.

Çizelge 4.1 İlk dört rezonans düzeyi için enerji değerleri. Tüm değerlerin birimi eV'tur.

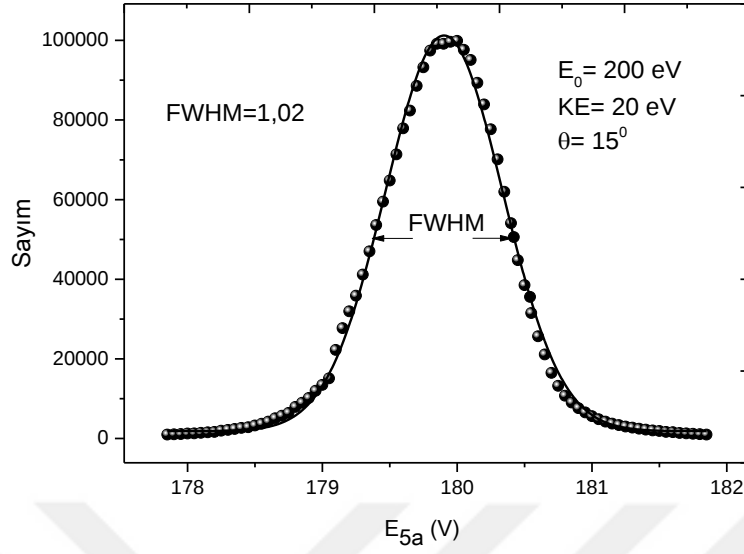
Düzye	Uyarılma Enerjisi	Kopan Elektron Enerjisi
$2s^2\ ^1S$	57.830 (0.04)	33.240
$2s2p\ ^3P$	58.310 (0.02)	33.720
$2p^2\ ^1D$	59.910 (0.02)	35.320
$2s2p\ ^1P$	60.145	35.555

4.1 Enerji Kayıp Spektrumu

Hedef gaz ile elektronun etkileşmesi sonucu farklı enerji kayıplarındaki elektronların birbirinden ayırt edilmesi için elastik ve inelastik enerji kayıp spektrumları alınmıştır. Elastik saçılma enerji kayıp spektrumu ile her bir analizörün detekte edebildiği en küçük enerji değişimi yani çözünürlüğü ölçülür. Deneysel kusurlardan dolayı hem elektron üretiminde hem de analiz ve detekte edilmesinde belirli bir hata payı bulunmaktadır. İdeal durumda, detekte edilen elektronların tek bir enerjide olması gerekmektedir. Pratikte ise, detekte edilen elektronlar belirli bir enerji dağılımı göstermektedir (ΔE). Gözlenen bu dağılım sistemin toplam enerji çözünürlüğünü vermektedir, çünkü elastik saçılma olayı gözlenirken elektron tabancası ve enerji analizörü sürecin içinde yer almaktadır. Sistemin toplam çözünürlüğü elektron tabancası ve enerji analizörünün enerji dağılımları ile ilişkilidir. Helyum atomunun 200 eV enerjili elektron demeti ile etkileşmesi sonucunda açığa çıkan elektronlar için alınmış elastik saçılma spektrumları Şekil 4.1 ve 4.2’de verilmiştir. Bu spektrumlar analizörün enerjisi 5V taranarak alınmıştır. Elastik saçılma olayında gelen elektron demeti herhangi bir enerji kaybına uğramadığından, enerji kaybı spektrumu tam olarak 0 eV’de bir pik verir.



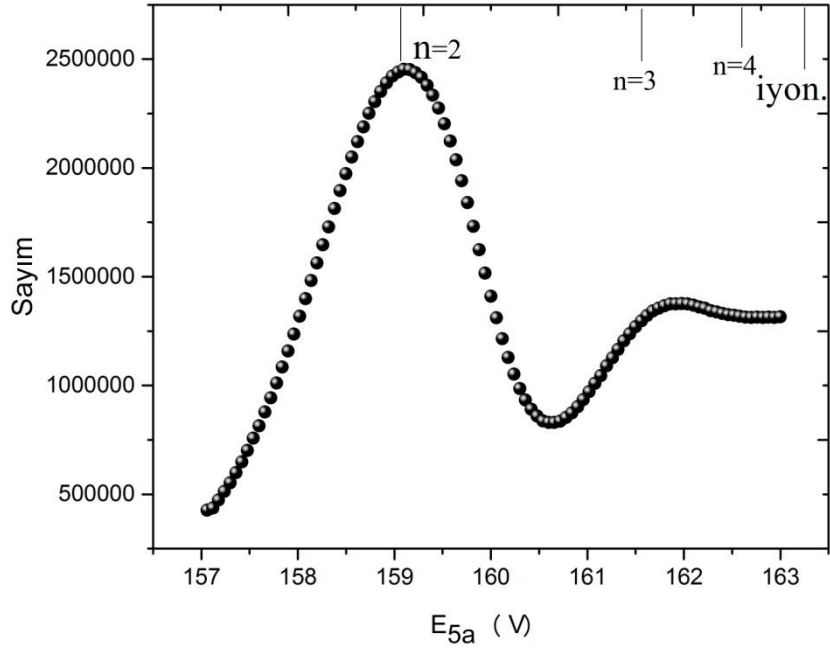
Şekil 4.1 Kopan analizör elastik piki.



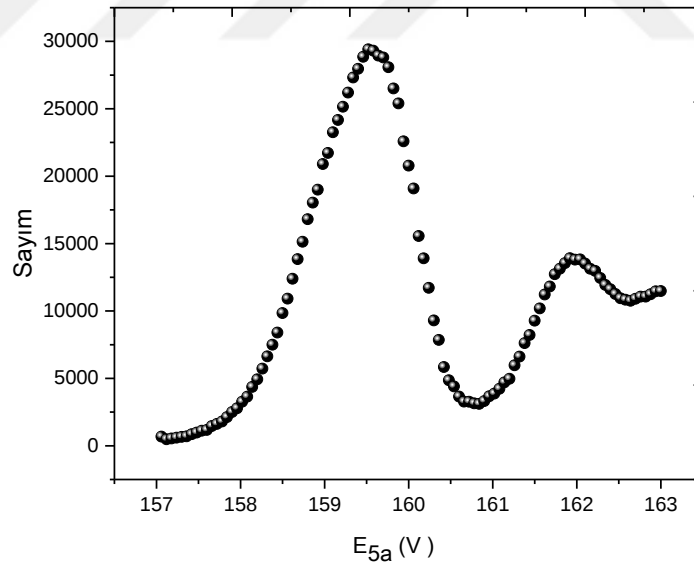
Şekil 4.2 Saçılan analizör elastik piki.

Helyum atomunun gelen elektron demetiyle inelastik çarpışması durumunda, elektron helyum atomunu uyararak saçılma meydana getirir ve böylece uyarılma sonucunda enerji kayıp spektrumu elde edilir. Gelen elektron enerjisinin bir bölümünü çarpışma sırasında helyum atomuna aktarır. Bu durumda gelen elektronun kaybettiği enerji, uyarılma enerji seviyeleri arasında geçişe sebep olmaktadır. Çok kanallı sayıcı (Multi-Channel Scaler; MCS) olan bilgisayar kartı kullanılarak atomun iyonlaşma potansiyelinden küçük enerji aktarımına karşılık gelecek şekilde enerji kayıp spektrumu elde edilmektedir. 200 eV enerjili elektron demeti ile helyum atomunun etkileşmesi sonucunda açığa çıkan elektronlar için alınmış inelastik saçılma spektrumları Şekil 4.3 ve 4.4'te verilmiştir.

İnelastik saçılma olayı incelenirken analizörün detekte ettiği enerji değiştirilmiş ve her bir voltaj değeri için sayım eşit zamanlarla kaydedilmiştir. Bu sayede ilgilenilen düzey için piklerin tam yerinin bulunması ve sistemin enerji kalibrasyonunun yapılması sağlanmıştır.



Şekil 4.3 Kopan analizör inelastik piki.



Şekil 4.4 Saçılan analizör inelastik piki.

4.2 Kopan Elektron Enerji Spektrumu

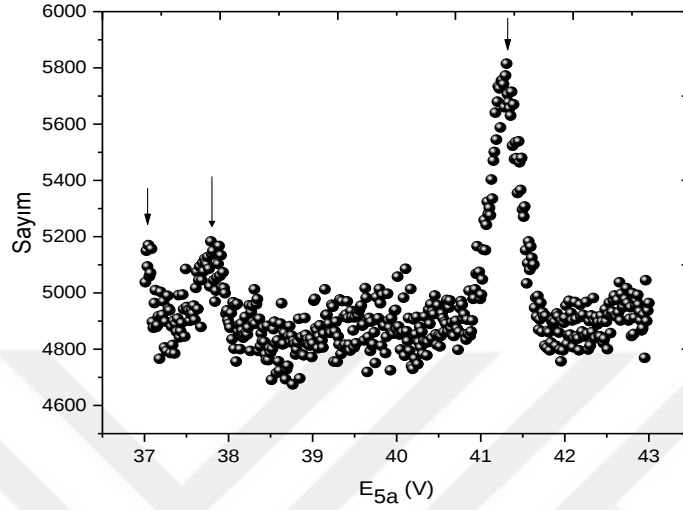
Kendiliğinden iyonlaşma enerji düzeyleri helyum atomunda birinci iyonlaşma eşiğinin üzerinde bulunmaktadır. Helyum atomunda her iki elektronun da bu rezonans düzeylerine uyarılması sonucu elektronlardan birisi ışımasız geçiş yaparak taban duruma dönerken diğer elektron bu enerjiyi alarak atomdan kopmaktadır. Direkt iyonlaşma olayı da sürekli bölgede aynı zamanda gerçekleşmektedir. Bu iki olayda, sürekli ve rezonans enerji düzeyleri dejenere olduğu için girişim olayı gözlemlenmektedir.

Rezonans düzeylerine uyarma durumunda; gelen elektronlar uyarma enerjisi kadar bir enerji kaybederler ve kalan enerji saçılan ve kopan elektronlar arasında paylaşılır. İyonlaşma olayında çarpışma sonrası iki elektron (saçılan ve kopan) enerji olarak ayırt edilemezler. Fakat bu paylaşımda genel olarak yüksek enerjili elektronlar saçılan ve düşük enerjili elektronlar kopan elektron olarak alınır. Yüksek enerjili elektronların küçük açılarda saçılma ihtimali daha yüksek olduğu için saçılan elektronlara ait spektrumlar genellikle bu bölgelerde alınır. Rezonans düzeyleri atomdan saçılan elektronun detekte edilmesiyle incelenebileceği gibi çarpışma sonucu atomdan kopan elektronun detekte edilmesiyle de incelenebilir.

Kopan elektronların rezonans düzeyleri Tablo 4.1’de verildiği gibi 33 eV ile 36 eV arasındadır. Spektrumlar analizörün enerjisinin farklı voltajlarda taranmasıyla elde edilmiştir. Gelen elektron enerjisi 200 eV ve kopma açıları 30° - 135° arasında değişmektedir. 0° - 30° arası ölçümler Faraday elektron toplayıcısı tarafından alınmaktadır.

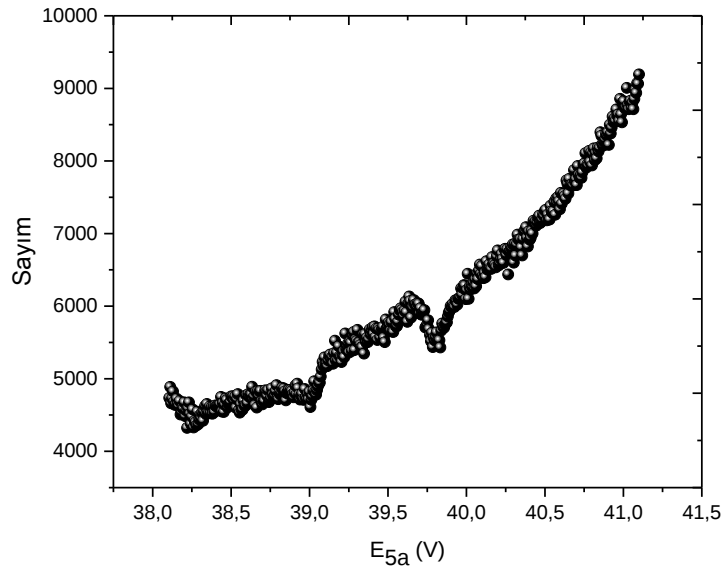
Rezonans enerji düzeylerinden iyonlaşma olayı ile direkt iyonlaşma olayı enerji spektrumunda üst üste binmektedir. Bu da rezonans çizgilerinin simetrisini değiştirmektedir. Örneğin 120° ’de pikler simetrik olarak gözlenirken, küçük açılara gidildikçe direkt iyonlaşmanın katkısı artmakta ve pikler simetri değiştirebilmektedir. Şekil 4.5-4.8 arasında sırası ile 30° , 60° , 90° ve 120° ’de analizör enerjisinin 5 V taranması ile alınan spektrumlar görülmektedir.

Gelen elektron enerjisi 200 eV ve kopan elektronun enerjisi 43-37 eV arasında iken 30°'de alınan spektrum Şekil 4.5'de verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi simetrik yapıda pikler gözlenmiştir.



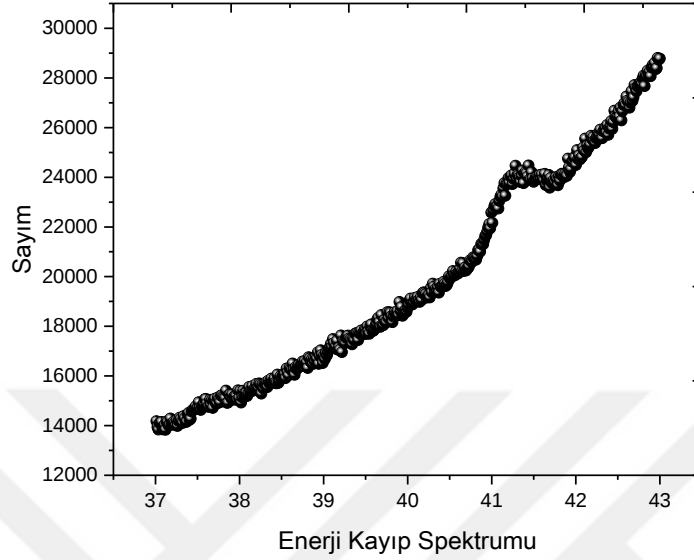
Şekil 4.5 $E_0 = 200$ eV için 30°'de alınan spektrum

Gelen elektron enerjisi 200 eV ve kopan elektronun enerjisi 41-38 eV arasında iken 60°'de alınan spektrum Şekil 4.6'da verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi iki tane antisimetrik yapıda pik gözlenmiştir.



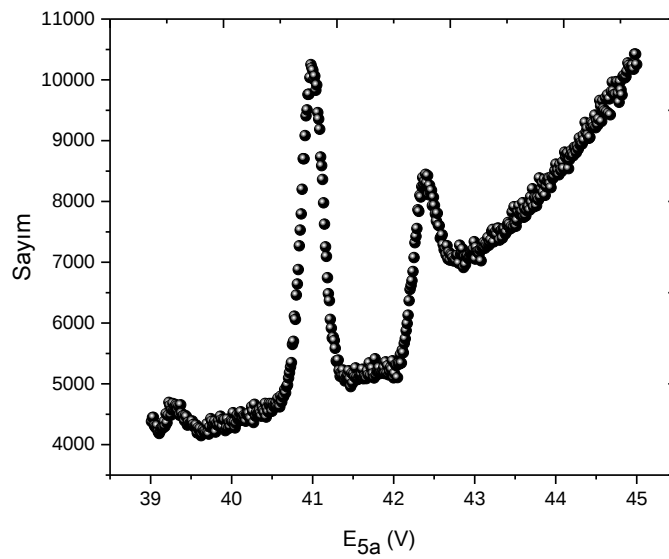
Şekil 4.6 $E_0 = 200$ eV için 60°'de alınan spektrum

Gelen elektron enerjisi 200 eV ve kopan elektronun enerjisi 43-37 eV arasında iken 90°'de alınan spektrum Şekil 4.7'de verilmiştir.



Şekil 4.7 $E_0 = 200$ eV için 90°'de alınan spektrum

Gelen elektron enerjisi 200 eV ve kopan elektronun enerjisi 45-39 eV arasında iken 120°'de alınan spektrum şekil 4.8'de verilmiştir. Bu spektrumda simetrik yapıda pikler gözlenmiştir.



Şekil 4.8 $E_0 = 200$ eV KE=15 eV için 120°'de alınan spektrum

4.3 (e,2e) Spektrumları

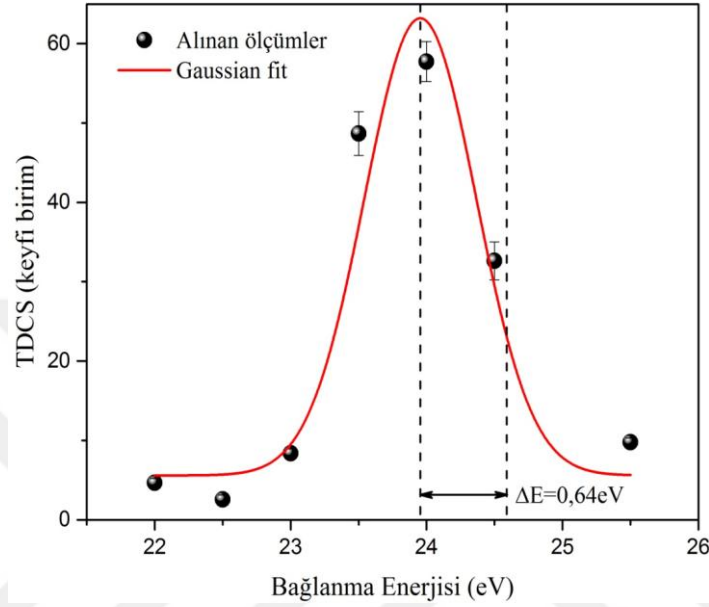
İyonlaşma olayında açığa çıkan iki elektronun eş zamanlı ölçülmesi çarpışma kinematiği açısından önemli bilgiler vermektedir. Rezonans durumlarının (e, 2e) tekniği ile incelenmesi diğer tekniklere göre daha net sonuçlar verecektir, çünkü tek analizör yerine iki analizörün eş zamanlı olarak saçılan elektronla atomun rezonans düzeyinden kopan elektronu birlikte detekte etmesi söz konusudur. Bu tez çalışmasında 60° de alınan enerji spektrumu üzerinde rezonans düzeylerinin daha ayrıntılı incelenebilmesi amacı ile (e,2e) deneyleri yapılmıştır.

Saçılan ve kopan elektronlar Bölüm 3'te ayrıntılı olarak anlatılan çarpışma elektronuğu kullanılarak eşzamanlı olarak ölçülmüşlerdir. (e, 2e) deneylerinde, gelen elektron ile saçılan elektronun arasındaki momentum transferi saçılma açısına göre belirlenmiştir. 200 eV enerjili elektron çarpıştıktan sonra -13° saçılırsa yaklaşık olarak atomik birimlerde $K=1.06$ momentum transferi gerçekleşmiş olur. Rezonans düzeyleri için momentum transferi doğrultusu ise $\theta_K=53^\circ$ civarındadır. Bu doğrultunun tam tersi -127° 'dir. Momentum transfer doğrultusu ileri saçılma bölgesini oluştururken, tersi bölge geri saçılma bölgesini oluşturmaktadır.

(e,2e) ölçümleri alınmadan önce bağlanma enerji spektrumu alınmıştır. Bu spektrum ile sistemin çarpışma çözünürlüğü belirlenmiş olup, sonraki aşamada deney gerçekleştirilmiştir. (e, 2e) deneylerinde, detekte edilen elektronların enerjileri doğru olarak ayarlandığında, maksimum çarpışma gözlenmektedir. Bu özelliği kullanılarak bağlanma enerjisi spektrumu alınır. Bağlanma enerjisi spektrumunu tek bir elektronu detekte ederek ölçmek mümkün değildir. Bu spektrumu elde etmek için gelen ve kopan elektron enerjisi sabit tutulmakta ve saçılan elektron enerjisi küçük adımlarla değiştirilerek çarpışma spektrumları alınmaktadır. Şekil 4.9'da bu yöntemle elde edilen bağlanma enerjisi spektrumu verilmiştir. 24.6 eV değerinde helyumun iyonlaşma enerjisi 0.64 eV'luk çarpışma enerji çözünürlüğü ile elde edilmiştir.

Enerjiye göre alınan ölçümler özellikle rezonans düzeylerindeki spektrumların nasıl değiştiğini incelemek için kullanılmaktadır. Bunun için bilgisayar kontrollü bir sistem kullanılmıştır. Böylece ölçümlerin başlatılıp durdurulması, iki analizörün enerjilerinin

taranması, sayımların görüntülenmesi ve diğer deneysel koşulların kaydedilmesi bilgisayarla yapılmaktadır. (e, 2e) tekniği ile enerji spektrumu almak için iki analizörün enerjisi zıt yönde taranmıştır, böylece enerji korunumu gelen, saçılan ve kopan elektronlar arasında sürekli olarak sağlanmaktadır.

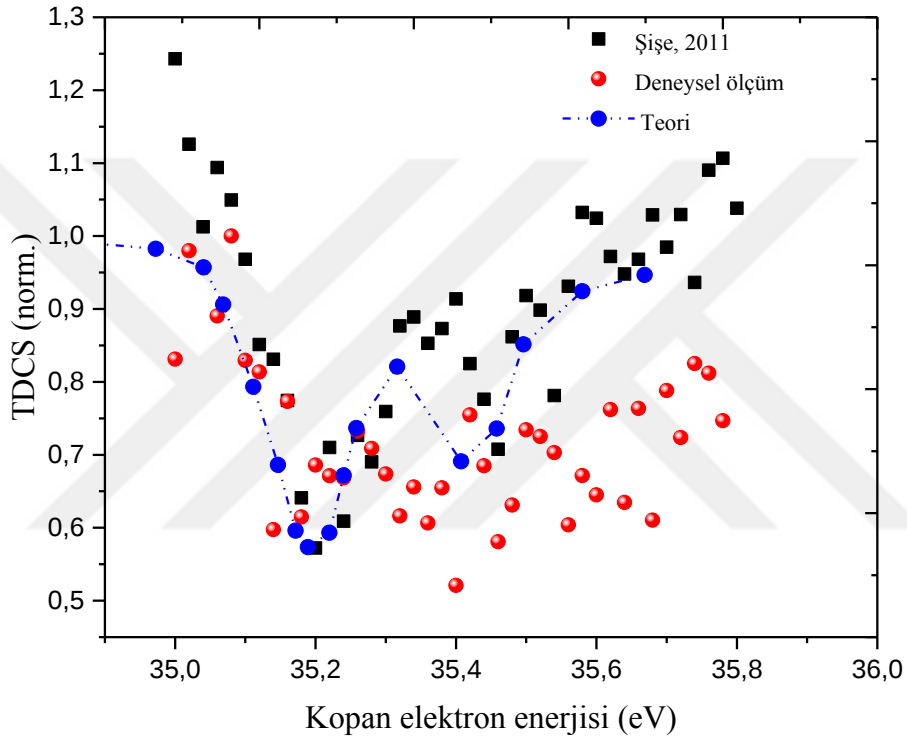


Şekil 4.9 Helyum atomunun 200 eV çarpışma enerjisinde elde edilen bağlanma enerjisi spektrumu.

(e,2e) tekniği kullanılarak kopan ve saçılan elektronlar eşzamanlı olarak detekte edilmiştir. (e,2e) deneylerinde, düzlemsel asimetric kinematik kullanılmıştır. Ölçümlerde, gelen elektron demetinin enerjisi 200 eV olup saçılan elektronlar -13 derecede ve kopan elektronlar 60 derecede konumlu olan analizörlerle detekte edilmiş ve kopan elektron analizör enerjisi 0,02 eV aralıklarla 35-36 eV enerji aralığında taranmıştır. Şekil 4.10'da alınan sonuçlar görülmektedir. Kendiliğinden iyonlaşma durumunda ileri saçılma bölgesinde tesir kesitlerinde bir artış gözlenmektedir. Fakat direk iyonlaşma olayına göre geri saçılma bölgesinde üçlü diferansiyel tesir kesitinde artma görülmektedir. 200 eV gelen elektron enerjisinde alınan sonuçlar, daha önce Şişe (2011) ve Godunov vd. (2002) tarafından sırası ile 200 eV ve 250 eV gelen elektron enerjisinde, kopan elektron açısı 60° olan sonuçlarla karşılaştırılmıştır.

Şekilden de görüldüğü gibi, ileri saçılma bölgesinde gelen elektron enerjisinden

bağımsız olarak benzer yapı göstermektedir. Geri saçılma bölgesinde ise 250 eV’de gözlenen artış daha azdır. Aynı zamanda 35.2 V civarında gözlenen keskin azalma 200 eV’de alınan ölçümde daha azdır. Sistemin çözünürlüğü, elektron tabancasından bağımsız olduğu için sadece analizörün enerji çözünürlüğüyle belirlenmektedir. Birbirlerine yakın düzeylerin ayırt edilebilmesi açısından sistemin çözünürlüğü oldukça önemlidir.



Şekil 4.10 Rezonans düzeyleri için ileri saçılma bölgesinde alınan (e,2e) spektrumu.

Şişe (2011) tarafından yapılan ölçümler, deneysel verilerimize en yakın karşılaştırılabilir verilerdir. Spektrumların karşılaştırılmasında normalizasyonun doğru yapılmasına dikkat edilmiştir. Deneysel parametrelerimiz direk iyonlaşma tesir kesitinin maksimum olduğu açıda 1’e normalize edilmiştir. Karşılaştırılan teorik veriler ise direk iyonlaşma pikinin görüldüğü değerde 1’e normalize edilmiştir.

5. TARTIŞMA ve SONUÇ

Bu tez çalışmasında, Helyum atomunun kendiliğinden iyonlaşma rezonans düzeyleri elektron çarpışma deney düzeneği kullanılarak incelenmiştir. Öncelikle farklı açılarda kopan elektron enerji spektrumu incelenmiş ve sonrasında bir açıda ($e, 2e$) deneyi yapılarak, üçlü diferansiyel tesir kesiti ölçümleri (TDCS) alınmıştır. Teknik olarak atomdan saçılan ve kopan elektronlar ayrı ayrı detekte edilebildiği gibi geliştirilen ($e, 2e$) çakışma spektrometresi ile iki elektron eşzamanlı olarak detekte edilmiştir.

Helyum atomunda rezonans geçişleri (ikili uyarma-kendiliğinden iyonlaşma) farklı açılarda gözlemlenmiştir. 200 eV çarpışma enerjisi için tek bir analizörle elde edilen koparılan elektronların enerji spektrumlarında, incelenen enerji aralığında, $2\ell 2\ell'$ [$n=2$: $(2s^2)^1S$, $(2s2p)^3P$, $(2p^2)^1D$ ve $(2s2p)^1P$] ve $2\ell 3\ell'$ [$n=3$: $(2s3s)^1S$ ve $(2p3p)^1D$] rezonans düzeylerinin konumları şekillerin üst kısımlarında işaretlenmiştir. $n=2$ için 1D ve 1P düzeyleri birbirine çok yakın olduğu için (aralarındaki fark ~ 0.2 eV) ayırt edilememiştir. Bu düzeylerin ayırt edilebilmesi için analizörlerin enerji çözünürlüklerinin 0.2 eV ile kıyaslanabilir olması gerekmektedir. Bu spektrumlarda piklerin konumları gelen elektronun enerjisinden bağımsızdır. Rezonans enerji düzeylerinden iyonlaşma olayı ile direkt iyonlaşma olayı enerji spektrumunda üst üste binmektedir. Bu da rezonans çizgilerinin simetrisini değiştirmektedir. Dolayısıyla, bu rezonans durumlarının ($e, 2e$) tekniği ile incelenmek istenmiştir. Bu nedenle saçılan elektronların açısı, -13 derecede ve kopan elektronların açısı ise 60 derecede sabit tutularak ($e, 2e$) deneyi gerçekleştirilmiştir. Böylece gelen elektron tarafından atoma aktarılan momentum 200 eV çarpışma enerjisi için yaklaşık olarak 1.06 a.b.'dir. Elektron tabancasının eksenine göre karşı düzlemde pozitif açılar ileri saçılma (binary) bölgesini ve aynı düzlemde negatif açılar geri saçılma (recoil) bölgesini oluşturmaktadır. Özellikle momentum transfer doğrultusu boyunca (60) ve tersi doğrultusunda (-120) elde edilen spektrumlarda farklı profil yapıları görülmüştür. Bu nedenle 60° 'de tesir kesiti ölçümleri alınmıştır. Alınan sonuçlar daha önce Şişe (2011) ve Godunov vd. (2002) tarafından sırası ile 200 eV ve 250 eV gelen elektron enerjisinde alınan sonuçlarla karşılaştırılmış ve benzer bir yapı gözlenmiştir. Godunov vd. (2002) teorik hesaplamaları, ikinci mertebe Born yaklaşımı ve Coulomb etkileşmesi temel

alınarak gerçekleştirilmiştir. Çarpışma sonrası durumda saçılan elektronlar ve iyon arasındaki Coulomb etkileşmesinin hesaba katılması hem direk hem de rezonans parametrelerini etkilemektedir.

Bu çalışma sistemin 200 eV enerjide rezonans düzeylerinin görülmesi testine yönelik bir çalışmadır. Daha sonraki çalışmalarda farklı enerji ve açılarda (e,2e) deneyleri ile rezonans düzeylerinin belirtilen gelen elektron enerjisinde incelenmesi hedeflenmektedir.

Helyum atomu için normal iyonlaşma olayı üzerine çalışmalar özellikle 1970'lerden sonra hızlı bir şekilde artmıştır. Fakat rezonans olayı üzerine sınırlı deneysel data bulunmaktadır. Ayrıca ilgili rezonans düzeylerin rezonans şekilleri ve bunların gelen elektron enerjisi, saçılma açıları ve momentum transfer büyüklüğü ile değişimi halen araştırılan konular arasındadır.

6. KAYNAKLAR

- 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 Science Instrum*, **40**: 1001-1004.
- Balashov, V.V., Lipovetskiı, 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*, **36**: 858-860.
- Baripas, B., Palasthy, B. and Beres, M. (2015). Experimental study on the interference of autoionizing states of He. *Nuclear Instruments and Methods In Physics Research B*, **369**: 34-39.
- Beutler, H. (1935). Über absorptionsserien von Argon, Krypton und Xenon zu Termen zwischen den beiden ionisierungsgrenzen $2P_{0\ 3/2}$ und $2P_{0\ 1/2}$. *Zeitschrift Für Physik*, **93**: 177-196.
- Brunger, M.J., Samardzic, O., Kheifets, A.S. and Weigold, E. (1997). A study of autoionization phenomena in helium using (e, 2e) spectroscopy. *Journal Physics B: Atomic Molecular Optic Physics*, **30**: 3267-3285.
- Connerade, J-P. (1998). Highly Excited Atoms. Cambridge University Press, Cambridge.
- Crowe, A., Mcdonald, D.G., Martin, S.E. and Balashov, V.V. (1996). Studies of autoionization with (e,2e) spectroscopy. *Canada Journal Physics*, **74**: 736-742.
- Deharak, B.A., Childers, J.G. and Martin, N.L.S. (2004). Non-dipole effects in (e,2e) and photoelectron experiments: a comparison. *Journal Electron Spectrum Relations Phenomenia*, **141**: 75-82.

- Deharak, B.A., Childers, J.G. and Martin, N.L.S. (2006). Ejected electron spectrum of He below the N=2 threshold. *Physics Review A*, **74**: 032714.
- 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 July, 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 Physics B: Atomic Molecular Optic Physics*, **35**: 2773-2781.
- Ehrhardt, H., Jung, K., Knoth, G. and Schlemmer, P. (1986). Differential cross sections of direct single electron impact ionization. *Zeitschrift Für Physik D*, **1**: 3-32.
- Ehrhardt, H., Schulz, M., Tekaas, T. and Willmann, K. (1969). Ionization of Helium: Angular correlation of the scattered and ejected electrons. *Physical Review Letters*, **22**: 89-92.
- Fano, U. (1935). Nuovo Cimento, On the Absorption Spectrum of Noble Gases at the Arc Spectrum Limit. *Physics Review*, **12**: 154.
- Fano, U. (1961). Effects of configuration interaction on intensities and phase shifts. *Physics Review*, **124**: 1866-1878.
- Fano, U. and Cooper, J.W. (1965). Line profiles in the far-uv absorption spectra of the rare gases. *Physics Review A*, **137**: A1364-A1379.
- Fano, U. and Cooper, J.W. (1968). Spectral distribution of atomic oscillator strengths. *Review Modern Physics*, **40**: 441-507.

- 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 Physics B: Atomic Molecular Optic Physics*, **35**: L245-L251.
- Kazgöz, S. (2015). Argon Atomunun Üçlü Diferansiyel Tesir Kesitlerinin Ölçülmesi. Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyonkarahisar.
- Lassetre, E.N. (1959). Collision cross section studies on molecular gases and the dissociation of oxygen and water. *Radiation Results Supplement*, **1**: 530-546.
- Liu, X.J., Zhu, L.F., Yuan, Z.S., Li, W.B., Cheng, H.D., Huang, Y.P., Zhong, Z.P., Xu, K.Z. and Li, J.M. (2003). Dynamical correlation in double excitations of helium studied by high-resolution and angular-resolved fast-electron energy-loss spectroscopy in absolute measurements. *Physics Review Letters*, **91**: 193-203.
- Lower, J. and Weigold, E. (1990). Correlations in the autoionising region of He measured by the $(e, 2e)$ technique. *Journal Physics B: Atomic Molecular Optic Physics*, **23**: 2819-2845.
- Madden, R.P. and Codling, K. (1965). Two-electron excitation states in helium. *Astrophysics Journal*, **141**: 364-375.
- Marinkovic, B.P. Jureta, J.J. and Milosavljevic, A.R. (2014). High-energy electron impact study on autoionizing region in helium by detection of ejected electrons. *International Journal of Mass Spectrometry*, **365**: 114-120.
- McDonald, D.G. and Crowe, A. (1992). Ejected electron spectra from the vicinity of the $(2p2)1D$ and $(2s2p)1P$ autoionizing states of helium, *Journal Physics B: Atomic Molecular Optic Physics*. **25**: 2129-2141.

- McDonald, D.G. and Crowe, A. (1993). An (e,2e) study of double excitation autoionization mechanisms in helium. *Journal Physics B: Atomic Molecular Optic Physics*, **26**: 2887-2897.
- Mehlhorn, W. (1966). Auger electrons of autoionizing levels of helium. *Physics Letters*, **21**: 155-156.
- Mikhailov, A.I., Mikhailov, I.A., Nefiodov, A.V. and Plunlen, G. (2013). Excitation of autoionizing states of helium-like ions by scattering of high-energy particles. *Journal of experimental and theoretical physics*, **116**: 363-371.
- Mikhailov, A.I. and Nefiodov, A.V. (2014). Excitation of autoionizing (2s2p)¹P states of helium-like ions by high-energ electron scattering. *Physics Letters, A* **378**: 1130-1135.
- Özer, Z.N. (2013). Elektron-Elektron Çakışma Tekniği (e,2e) ile H₂ Molekülünde Young Tipi Girişim Etkilerinin İncelenmesi. Doktora Tezi, Gebze Teknik Üniversitesi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Kocaeli.
- Pochat, A., Tweed, R.J., Dorich, M. and Peresse, J. (1982). Double and triple differential cross sections for autoionisation of helium by electron impact. *Journal Physics B: Atomic Molecular Optic Physics*, **15**: 2269-2283.
- Rudd, M.E. (1964). Observation of autoionization levels in He by positive ion bombardment. *Physics Review Letters*, **13**: 503-505.
- Samardzić, O., Campbell, L., Brunger, M.J., Kheifets, A.S. and Weigold, E. (1997). Autoionization in electron - helium collisions: an (e, 2e) investigation. *Journal Physics B: Atomic Molecular Optic Physics*, **30**: 4383-4394.
- Shore, B.W. (1967). Scattering theory of absorption-line profiles and refractivity. *Review Modern Physics*, **39**: 439-462.

- Şişe, Ö., Martinez, G., Zouros, T.J.M., Ulu, M. and Doğan, M. (2010). Fringing field optimization of hemispherical deflector analyzers using BEM and FDM. *Journal Electron Spectrum Relations Phenomenia*, **177 (1)**: 42-51.
- Şişe, Ö. (2011). Helyum Atomunun Kendiliğinden İyonlaşma Tesir Kesitlerinin (e,2e) Çakışma Tekniği ile Ölçülmesi. Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Ulu, M (2007). Elektron-elektron Çakışma Deney Düzeneğinin Durulması ve Düzeneğin Simülasyonu. Doktora Tezi. Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- 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. *Physics Review A*, **85**: 062702.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Ali ALPERGÜN
Doğum Yeri ve Tarihi : Konak / 25.10.1990
Yabancı Dili : İngilizce
İletişim (Telefon/e-posta) : 05073324144 / alialpergun@gmail.com

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Konak Beştepe Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi,
(2004-2008)
Lisans : Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fizik Bölümü (2009-2014)
Yüksek Lisans :

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl :

Yayınları (SCI ve diğer) :

Diğer konular