

**ELEKTRON ETKİSİ İLE METAN MOLEKÜLÜNÜN
DÜZLEMSEL GEOMETRİDE İYONLAŞMA TESİR
KESİTLERİNİN ÖLÇÜLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Emine AKSOY

DANIŞMAN
Doç.Dr, Melike ULU
FİZİK ANABİLİM DALI

Temmuz, 2015

Bu tez çalışması **13.FEN.BİL.04** numaralı proje ile BAPK tarafından desteklenmiştir.

AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ELEKTRON ETKİSİ İLE METAN MOLEKÜLÜNÜN
DÜZLEMSEL GEOMETRİDE İYONLAŞMA TESİR
KESİTLERİNİN ÖLÇÜLMESİ

Emine AKSOY

DANIŞMAN

Doç. Dr. Melike ULU
FİZİK ANABİLİM DALI

Temmuz, 2015

TEZ ONAY SAYFASI

Emine AKSOY tarafından hazırlanan “Elektron Etkisi İle Metan Molekülünün Düzlemsel Geometride İyonlaşma Tesir Kesitlerinin Ölçülmesi” adlı tez çalışması lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca 10/07/2015 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. Melike ULU

Başkan : Prof. Dr. Hamdi Şükür KILIÇ
Selçuk Üniversitesi Fen Fakültesi,

Üye : Prof. Dr. Mevlüt DOĞAN
Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Edebiyat Fak.,

Üye : Doç. Dr. Melike ULU
Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Edebiyat Fak.,

Üye : Doç. Dr. Mustafa KOYUNCU
Selçuk Üniversitesi Fen Fakültesi,

Üye : Öğr. Grv. Zehra Nur Özer
Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Edebiyat 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.

09/07/2015

Emine AKSOY

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi Tezi

ELEKTRON ETKİSİ İLE METAN MOLEKÜLÜNÜN DÜZLEMSEL GEOMETRİDE İYONLAŞMA TESİR KESİTLERİNİN ÖLÇÜLMESİ

Emine AKSOY

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Fizik Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr, Melike ULU

Bu tez çalışmasında, elektron etkisi ile metan molekülünün düzlemsel geometride iyonlaşma tesir kesiti ölçümleri alınmıştır. Metan molekülünün 50-100-150 eV enerjili elektron demeti ile etkileşmesi sonucu açığa çıkan düşük enerjili (5-50eV) koparılan elektronların enerjilerinde açığa bağlı olarak ikili diferansiyel tesir kesiti (DDCS) ölçümleri yapılmıştır.

Elektron molekül çarpışma deneylerinde, belirli enerjideki elektron demeti hedef gaz molekülleri ile çarpıştırılmakta ve çarpışma sonucu ortaya çıkan parçacıklar açı ve enerjilerine göre dedekte edilip kaydedilmektedir. Saçılma olayının anlaşılması, etkileşme potansiyelinin ve parçacıkların dalga fonksiyonlarının doğru ifade edilmesiyle gerçekleşir. Çarpışma olayında oluşan çok parçacıklı sistemin anlaşılması, iyonlaşma dinamikleri ve hedefin yapısı hakkında önemli bilgiler vermektedir. Elektron saçılma deneyleriyle temel düzeyde elde edilen veriler doğada gözlemlenen olayları anlamamızı sağlamaktadır.

Ölçümler, Afyon Kocatepe Üniversitesi Elektron Çarpışma Laboratuvarında (e-COL) bulunan elektron spektrometresi kullanılarak alınmıştır.

2015, x+ 60 sayfa

Anahtar Kelimeler: Elektron-molekül çarpışmaları, tesir kesiti, İkili diferansiyel tesir

kesiti (DDCS), elektron saçılma, metan molekülü, elektron spektrometresi.

ABSTRACT
M.Sc Thesis

MEASUREMENTS OF THE IONIZATION CROSS SECTION WITH ELECTRON
IMPACT OF METHANE MOLECULE ON COPLANAR GEOMETRY

Emine AKSOY

Afyon Kocatepe University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Physics

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Melike ULU

In this research, the ionization cross section measurements of the methane molecules with electron impact were taken at coplanar geometry. It was done the differential cross sections (DDCS) measurements of methane molecules depending on the angular distributions of outgoing electrons for (5-50 eV) detection energies which is reveal from activating the methane molecules with the electron molecules 50-100-150 eV energies.

In electron-molecule collision experiments, an electron beam with a specified energy collides with target gas molecules and the outgoing particles after the reaction are detected depending on their angles and energies. Correct expression of interaction potential and particle wave functions provides to understand scattering event. Understanding the multiple particle system give important information on the ionization dynamics and the structure of the target. The basic knowledge taken from electron scattering experiments will help us to better understand the event in nature.

The experiments in this work are taken on the electron spectrometer at Afyon Kocatepe University, e-COL Laboratory.

2015, x + 60 pages

Key Words: Electron-molecule collisions, cross section, electron scattering, methane molecule, electron spectrometer.

TEŞEKKÜR

Deneysel alıŐmaların ynlendirilmesi, sonuların değerlendirilmesi ve yazımı aŐamasında yapmıŐ olduğu büyük katkılarında, gsterdiği ilgi ve anlayıŐtan dolayı tez danıŐmanım Sayın Do. Dr. Melike ULU'ya, araŐtırma süresince yardımlarını esirgemeyen Sayın Prof. Dr. Mevlüt DOğAN'a, her konuda öneri ve eleŐtirileriyle yardımlarını gördüğüm Sayın Öğr. Grv. Dr. Zehra Nur ÖZER'e, doktora ğrencisi Murat YAVUZ'a ve desteklerinden dolayı e-COL grubu çalışma arkadaŐlarım, bu araŐtırma boyunca maddi ve manevi desteklerinden dolayı aileme teşekkür ederim.

Bu tez alıŐması, Afyon Kocatepe Üniversitesi BAPK tarafından 13.FEN.BİL.04 numaralı proje tarafından desteklenmiştir.

Emine AKSOY

AFYONKARAHİSAR, 2015

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR	iv
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	v
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	x
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR BİLGİLERİ.....	4
2.1 Molekül Yapısının Genel Doğası	4
2.2 Moleküllerde Simetri İşlemi ve Simetri Elemanları	6
2.3 Metan Molekülünün Yapısı	10
2.4 Elektron-Atom/Molekül Çarpışma Olayları	12
2.4.1 Elektron Çarpışmalarında Saçılma Olayı	13
2.4.2 Tesir Kesitlerinin Hesaplanması ve Katı Açısı	15
2.4.3 Saçılma Tesir Kesiti Ölçümleri ve Çeşitleri	18
2.4.3.1 İntegral ve Elastik Diferansiyel Tesir Kesitleri	18
2.4.3.2 İyonlaşma Diferansiyel Tesir Kesitleri	21
2.4.3.3 Toplam İyonlaşma Tesir Kesiti.....	22
2.4.3.4 Elastik Saçılma ve Uyarma Tesir Kesiti Ölçümleri.....	27
3. ELEKTRON-MOLEKÜL ÇARPIŞMA DENEY DÜZENEGİ.....	28
3.1 Deney Düzeneginin Yapısı	28
3.2 Deney Düzeneginin Kalibrasyonu	41
3.2.1 Enerji Kayıp Spektrumu ve Elastik DCS Ölçümleri	42
4. BULGULAR	44
4.1 Metan Molekülünün İkili Diferansiyel Tesir Kesitleri (DDCS).....	44
5. TARTIŞMA ve SONUÇ.....	49
6. KAYNAKLAR.....	51
ÖZGEÇMİŞ.....	60

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

CH ₄	Metan
eV	Elektron Volt
σ	Tesir kesiti
d θ	Saçılma açısı
m ²	metrekare
μ A	Mikroamper
mbar	Milibar
d Ω	Katıaçı (steradyan)
GHz	Gigahertz
NH ₃	Amonyak

Kısaltmalar

FET	Faraday elektron toplayıcı
CEM	Tek kanallı elektron çoğaltıcı (Channel Electron Multiplier)
TAC	Zaman-genlik dönüştürücü (Time to Amplitude Converter)
MCS	Çok kanallı ölçekleyici (Multi-Channel Scaler)
HDA	Yarıküresel deflektör enerji analizörü (Hemi-spherical Deflector Anayzer)
G.K.	Güç Kaynağı
TMP	Turbo Moleküler Pompa
TCS	Toplam tesir kesiti
DCS	Diferansiyel tesir kesiti
SDCS	Tekli diferansiyel tesir kesiti
DDCS	İkili diferansiyel tesir kesiti
TDCS	Üçlü diferansiyel tesir kesiti
YÜKPOP	Yüklü Parçacık Optiği

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1 Moleküllerde enerji düzeyleri ve mertebeleri	6
Şekil 2.2 Metan molekülünün orbital modeli	10
Şekil 2.3 Karbon atomunun uyarılmış ve hibritleşmiş haldeki elektron dağılımı (Okumuş 2014).	11
Şekil 2.4 Metan molekülü için enerji düzeylerinin taban durumdaki şematik gösterimi.	12
Şekil 2.5 Merkezi bir alandan saçılmanın şematik gösterimi. (r, θ) parçacığın koordinatları, p etkileşme (impact) parametresi, r_c en yakın yaklaşma mesafesi, Φ saçılma açısıdır.	14
Şekil 2.6 Yüklü bir parçacığın potansiyelden saçılması durumunda gelen düzlem dalga ve saçılan küresel dalga ile katı açının şematik gösterimi.	16
Şekil 2.7 $E_0=20\text{eV}$ için $e\text{-CH}_4$ elastik DCS deneysel ve teorik çalışmaları. Düz çizgi, Iga <i>et al.</i> (2000) hesaplama; kısa kesikli, çizgi Jain (1986) hesaplama; uzun kesikli çizgi, Nishimura and Itikawa(1994); içi dolu üçgenler, Curry <i>et al.</i> (1985)deneysel ölçümleri; içi boş üçgenler Vuskovic and Trajmar (1983) ölçümleri, içi dolu kareler Boasten and Tanaka(1991) ölçümleri; yıldızlar, Shyn and Cravens(1990) ölçümleri; içi dolu daireler Iga <i>et al.</i> (2000) ölçümleri.	19
Şekil 2.8 $E_0=200\text{eV}$ için alınan elastik DCS spektrumu. Alınan ölçümler literatürdeki diğer ölçümler ile karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Şekilde; içi dolu noktalar Dogan vd. (2015) ölçümleri, daireler Iga <i>et al.</i> (2000) ölçümlerini, mavi kareler Vuskovic and Trajmar (1983) ölçümlerini, üçgenler Sakae <i>et al.</i> (1989) ölçümlerini, düz çizgi Iga <i>et al.</i> (2000) teorik hesaplamalarını, kesikli çizgi Dhal <i>et al.</i> (1979) teorik hesaplamalarını göstermektedir.....	20
Şekil 2.9 $E_0= 400\text{ eV}$ için $e\text{-CH}_4$ elastik DCS deneysel ve teorik çalışmalar. Düz çizgi, Iga <i>et al.</i> (2000) hesaplama; kısa kesikli çizgi Jain (1986) hesaplama; uzun kesikli çizgi, 410 eV için Dhal <i>et al.</i> (1979); içi dolu daireler Iga <i>et al.</i> (2000) ölçümleri.	21
Şekil 2.10 Metan molekülünün elektron etkisi ile toplam iyonlaşma tesir kesiti ölçüm ve hesaplamaları. Şekildeki düz çizgi Kim <i>et al.</i> 1997, kesikli çizgi Hwang <i>et</i>	

al. 1996 teorik hesaplamalarını; noktalar Rapp and Englander-Golden 1965; kareler Orient and Srivastava 1965; noktalar Duric <i>et al.</i> 1991; üçgenler Schram <i>et al.</i> 1966 deneysel ölçümlerini göstermektedir.	23
Şekil 2.11 SDCS şematik gösterimi. E_0 , E_a ve E_b sırasıyla gelen, saçılan ve koparılan elektronların kinetik enerjilerini; ϵ_i , hedefin iyonlaşma potansiyelini göstermektedir (Colyer 2011).	24
Şekil 2.12 $E_0=500$ eV elektron etkisiyle iyonlaşma olayında metan molekülü DDCCS ölçümü (Oda 1975).	26
Şekil 3.1 e-COL'deki elektron- molekül çarpışma laboratuvarında bulunan elektron çarpışma deney düzeneğinin genel görünümü.	28
Şekil 3.2 Elektron- Metan çarpışma deney düzeneğinin genel görünümü.	30
Şekil 3.3 Elektron çarpışma e-COL laboratuvarındaki elektron spektrometresinin açık durumda parçalarının tanımlı fotoğrafı. İki elektron enerji analizörü ve Faraday elektron toplayıcı döner tablalar üzerine yerleştirilmiştir.	31
Şekil 3.4 Turbo moleküler ve mekanik pompalar, basınç ölçüm-görüntüleme cihazları ve bağlantılarının birlikte bulunduğu istasyonun yakından görünümü.	32
Şekil 3.5 Hairpin tipi filament ve filamentin elektron tabancasına yerleştirilmiş halinin görüntüsü.	33
Şekil 3.6 Katot, Wehnelt elektrotu ve anottan oluşan üçlü sistemde elektron emisyonu ve odaklanmasının gösterimi (Şişe 2011).	34
Şekil 3.7 Elektron tabancasında kullanılan lens elemanları için gerilim bölücü ve güç kaynağı bağlantıları (Dogan vd. 2013).	35
Şekil 3.8 Vakum sistemi içerisindeki elektron tabancasının görünümü.	35
Şekil 3.9 Elektron tabancası kontrol ünitesi.	36
Şekil 3.10 Faraday elektron toplayıcısının şematik çizimi ve pikoampermetrelerin bağlanması. SP; Splash plaka FC ve FET; Faraday elektron toplayıcı plakaları simgelemektedir.	37
Şekil 3.11 Elektron analizörü ve giriş optiğinin SIMION programında elde edilen kesit görünümü (Yavuz 2013)	38
Şekil 3.12 Metan molekülünde alınan örnek bir elastik saçılma piki. Gelen elektron demetinin enerjisi, $E_0=250$ eV ve uçuş enerjisi, $KE=10$ eV için enerji dağılımı $\Delta E=0,85$ eV olarak ölçülmüştür.	39

Şekil 3.13 Enerji analizörlerinin elektronik kontrol kutusu.....	40
Şekil 3.14 Sinyal işleme ünitesi.	40
Şekil 3.15 CH ₄ molekülünde E ₀ =250eV için alınan enerji kayıp spektrumu (Yavuz 2013).	42
Şekil 3.16 Metan molekülü için 200 eV enerjide elastik DCS. Dolu daireler deneysel sonuçlar; açık daireler Iga <i>et al.</i> (2000) deneysel verileri; açık kareler, Vuskovic and Trajmar (1983) deneysel verileri; açık üçgenler, Sakae <i>et al.</i> (1989) deneysel verileri; düz çizgi Iga <i>et al.</i> (2000) teorik sonuçları; kesik çizgi, Dhal <i>et al.</i> (1979) teorik sonuçlarıdır (Yavuz 2013).	43
Şekil 4.1 E ₀ =50 eV için alınan DDCS sonuçları.....	46
Şekil 4.2 E ₀ =100 eV için alınan DDCS sonuçları.....	47
Şekil 4.3 E ₀ =150 eV için alınan DDCS sonuçları.....	48

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 2.1 Simetri elemanları ve simetri işlemleri	7
Çizelge 2.2 Simetri eksenine göre döndürme.....	7
Çizelge 2.3 Simetri işlemi ve dönme dereceleri.....	8
Çizelge 2.4 Elektron-molekül çarpışması sonucu meydana gelebilecek etkileşme olayları.....	15

1. GİRİŞ

Elektron saçılma deneyleri kompleks atomların, moleküllerin veya iyonların yapısını açıklayabilmektedir. Bu tür çarpışma deneyleri ile temel düzeyde, çarpışma olayından sonra açığa çıkan parçacıkların kinematikleri incelenmektedir. Günümüze kadar atomlar, moleküller veya temel parçacıkların yapısını öğrenmekte "saçılma" olarak adlandırılan deneysel yöntemler kullanılmıştır. Saçılma olayında duran (veya belli bir enerjide hareket eden) bir hedef parçacık, belirli bir enerjiye sahip diğer bir parçacık ile çarpıştırılır. Çarpışma sonrası çıkan (saçılan) parçacıklar yön ve enerjilerine göre incelenilir. Gelen parçacıklar ile hedef arasındaki etkileşmenin analiz edilmesi ile hedef parçacığın yapısı hakkında ayrıntılı bilgi edinilir.

Atomdaki negatif yüklere dair ilk kanıt 1870'lerde William Crooks tarafından ortaya konuldu. Crooks'ın yaptığı katot ışını tüpü deneyinde görülen sarı-yeşil renkteki ışınlar elektronların enerji seviyeleri arasındaki geçişlerden açığa çıkan ışınlardır. Bu yüklere 1891 yılında G.J.Stoney elektron adını vermiştir. Gerçekleştirilen ilk çarpışma deneyi olarak katot ışınlarının ışıkla ayrı yapıda soğuruldukları iddiasıydı (Lenard 1903) Katot ışınları üretici bir tüpten, ince bir alüminyum yaprağın arasından çıkabildiğini ve hava içinde belli uzaklığa kadar yayıldığını gösterdi (Lenard ışınları). 1897 tarihinde J.J.Thomson yaptığı deneyler sonucu bu parçacıkların tüm atomlarda olduğunu gösterilmiş ve elektronların yük/kütle oranı hesaplanmaya başlanmıştır ($-1,7588 \cdot 10^{-11}$ C/kg). Böylece Lenard tarafından atom fiziğinin ilk temelleri atılmaya başlanmıştır. Lenard, 1902 yılında ilk defa bir gazın iyonlaştırılabilmesi için elektronun minimum bir enerjiye sahip olması gerektiğini gösterdi ve yalnız kısa dalga boyuna sahip ışınların fotoelektrik etkisini belirleyeceğini söyledi. Elektronun enerjisinin ışığın şiddetine bağlı olmadığını ve yalnızca birim zaman başına serbest kalan elektron sayısının bu enerjiyi belirlediğini açıkladı. Rutherford'un atom çekirdeğinin keşfiyle sonuçlanan ince altın hedeften α ve β parçacıklarının saçılması deneyide oldukça önemlidir (Rutherford, 1911). Daha sonra, Franck ve Hertz, elektron demetinin civa gazı içerisinden geçerken enerji seviyelerini deneysel olarak gözlemlemiş ve saçılan elektronların atomlarla etkileşmeleri sonucu enerji kaybettiğini göstermişlerdir (Franck and Hertz, 1914). Günümüzde halen kullanılan bu teknik "enerji kaybı spektroskopisi" olarak bilinmektedir. Langmuir ve Jones (1928) tarafından gerçekleştirilen çarpışma

deneyleri, belirli iyonlaşma olayları için Birinci-Born Yaklaşımını içeren Bethe (1930), Massey vd. (1965) tarafından kurulan teorik alt yapının geliştirilmesi izlemiştir. Daha sonra Peterkop (1963), Rudge vd. (1968) tarafından tekli iyonlaşma olayı için üç yüklü parçacığın varlığı düşünülerek, çok parçacık probleminin teorisi geliştirilmiştir. Mott ve Massey (1987), elastik ve elastik olmayan elektron-atom çarpışmalarının teorisini ayrıntılı olarak bir kitapta toplamışlardır. Burke ve Joachain (1995) tarafından hazırlanan çalışmalarda elektron-atom/ion/molekül çarpışma teorisi detaylı bir şekilde incelenmiştir. Elektron-molekül çarpışmasında inelastik çarpışması sonucu oluşan enerji kayıp spektrumu Vuskovic ve Trajmar (1983) tarafından metan molekülü için alınmıştır. Trajmar vd. (1994), elektron-atom çarpışma teorisiyle elde edilen tesir kesitleri ile bu tesir kesitlerinin deneysel olarak ölçümleri üzerinde durmuştur. Rescigno vd. (1999) üç parçacıklı sistemlerde iyonlaşma tesir kesitlerinin kuantum mekaniksel olarak elde etmişlerdir. Müller-Fiedler vd. (1986), elektron-atom çarpışmalarında ikili iyonlaşma olayı üzerinde çalışmalar yapmıştır. Elektron-atom/molekül çarpışma deneyleri ve teorileri farklı hedef ve tekniklerle gelişimini devam ettirmektedir. Özellikle son yıllarda daha kompleks çok elektronlu atomik ve moleküler hedefler kullanılarak yapılan deneysel ve teorik çalışmalar artmıştır.

Elektron-molekül çarpışmaları yaygın plazma cihazları ve gravürü için teknoloji sektöründe kullanılmaktadır. Böylece elektron-molekül çarpışmaları auroralar, gezegenimsi bulutsu ve yıldırım gibi doğa olaylarının anlaşılması, daha doğru tıbbi görüntüleme teknikleri ve radyoterapilerin geliştirmesinde önemli bir role sahiptir. Bu süreçlerin her birini anlamak için elektron ile hedef molekül arasındaki çarpışma dinamiklerini tam ve ayrıntılı bilmek gerekir (Nixon 2010). Günümüzde yapılan çarpışma deneylerinin çoğu atomların, moleküllerin, çekirdeğin ve temel parçacıkların yapısını anlamak için bize önemli bilgiler sunmaktadır.

Elektron atom çarpışma deneylerinde saçılma olaylarının anlaşılması, elektron – atom ve elektron – elektron etkileşmelerinin Schrödinger dalga denkleminde doğru ifade edilmesine bağlıdır. Schrödinger denkleminin iki elektronlu atomlar veya iyonlar için çözülemediği, yaklaşıklık yöntemlerinin kullanıldığı bilinmektedir. Hafif atomlar için dalga fonksiyonunu ve enerji düzeyleri gerçeğe yakın hesaplanabilmektedir. Çok sayıda

atom çekirdeği ve elektronlardan oluşan bağlı sistemleri anlayabilmek için çok atomlu moleküllerin yapısının anlaşılması gerekmektedir.

Bu tez çalışmasında, çok atomlu moleküllerden olan metan (CH_4) molekülünün elektron-molekül çarpışma deney tekniği kullanılarak iyonlaşma tesir kesitleri lnmştr. Düşük enerjili kopan elektronların açısal değişimleri deneysel olarak incelenmiş ve çok atomlu moleküllerin elektronlarla etkileşmelerinin kuantum mekaniksel olarak hesaplanmasına ışık tutulmaya çalışılmıştır.

Öncelikle birinci bölümde moleküllerle ilgili genel bilgiler, ikinci bölümde metan molekülünün iyonlaşma tesir kesitleri hakkında yayınlanan literatür verilmiştir. nc bölümde deney düzeneği genel olarak anlatılmış, dördüncü bölümde bulgular üzerinde durulmuştur. Son olarak beşinci bölümde elde edilen sonuçlar tartışılmıştır.

2. LİTERATÜR BİLGİLERİ

Metan molekülü ile yapılan ilk çarpışma deneyleri ve tesir kesiti ölçümleri 1920'li yıllarda başlamıştır (Hughes and Klein 1924). Çok atomlu moleküllerin basit bir örneği olan metan molekülü, atom ve molekül fiziğinde geliştirilen teorik modellerin test edilmesinde kullanılır. Teknolojik olarak değeri yüksek olan plazma üretiminde önemi artan bir moleküldür (Möller 1993). Plazma üretim teknikleriyle elmas Mitsuda vd. (1987) ve amorf karbon ince film Kline vd. (1989) kristallerinin büyütülmesinde elektron ile metan molekülü etkileşiminden yararlanılmıştır. Bulduğumuz yüzyılın ve geleceğin çözüm bekleyen sorunlarından biri olan küresel ısınmaya sebep olan sera gazlarından biri de metandır. Atmosferde iyonların oluşumu ve elektron/iyon-molekül etkileşimlerinin anlaşılmasında önemli bir rolü olduğu için atmosfer fiziğinde ayrı bir önemi vardır. Metan, yoğunluğu $0,716 \text{ kg/m}^3$ olan renksiz ve kokusuz bir gazdır. Gezegenlerin en dış atmosferinde ve kıvrıklı yıldızlarda bulunan önemli bir bileşendir. Elektronların metan ve diğer gazlarla etkileşimi, hava akış emisyonu ve elektron yoğunlukları gibi atmosfer dinamiklerinin belirlenmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Bu atmosferik süreçlerin anlaşılması için elektron etkisiyle metan molekülünün iyonlaşma tesir kesitlerinin bilgisi gerekmektedir. Ayrıca metan molekülü; Jüpiter, Satürn, Uranüs, Neptün gibi gezegenlerin Broadfoot vd. (1979) ve Titan gibi uyduların (Cravens 1998) atmosferlerinde önemli miktarda bulunur. Bu bakımdan, astrofizik açısından da önemli bir moleküldür. Basit simetrik yapıları hidrokarbonların tipik bir örneği olduğu için, radyobiyojide organik bileşiklerin simülasyonlarında sıklıkla kullanılmaktadır. Kimyasal reaksiyonların incelenmesinde ve biyolojide de elektron-metan etkileşimleri ve özellikle iyonlaşması önemli bir süreçtir (Nixon *et al.* 2011).

2.1 Molekül Yapısının Genel Doğası

Molekül yapısının tanımlanması, yalıtılmış atomlarından çok daha karışıktır. Fakat, elektron ve çekirdeklerin birbirlerine uyguladıkları kuvvetlerin karşılaştırılabilir şiddette olmasına rağmen, elektronların kütesinin, çekirdeklerin kütlelerinden çok daha küçük olması bu problemi oldukça basitleştirmektedir. Bunun sonucu olarak, çekirdeklerin hareketi, elektronların hareketinden çok daha yavaş olduğundan, çekirdekler molekül içinde hemen hemen sabit konumlarda bulunurlar. Bu durum, moleküller tarafından

saçılan nötronların kırınım deseninin incelenmesi ile gösterilebilir. Nötronlar yüksüz olduklarından elektronlarla etkileşmezler fakat molekül içindeki her bir atom çekirdeği ile çekirdek kuvvetleri vasıtasıyla kuvvetli etkileşmeye girerler. Örneğin, iki oksijen atomundan oluşmuş O₂ molekülündeki çekirdekler arası uzaklık 1,21 Å iken, iki hidrojen atomunun birleşmesinden oluşmuş, en basit iki atomlu molekül olan H₂ molekülünde protonlar arası denge uzaklığı 0,74 Å dur. Bir karbon atomu ve dört hidrojenden oluşan metan, CH₄, molekülünde, karbon çekirdeği bir düzgün dörtyüzlünün merkezinde, protonlar köşelerinde yer alır.

X-ışınları kırınımı ve moleküler spektrumlardan elde edilen bulgular, atomların molekül oluşturmak üzere birleştiklerinde, sıkıca bağlı iç yörünge elektronlarının bu birleşmeden hemen hemen hiç etkilenmediğini ve gene ait oldukları çekirdek etrafında yöresel kaldığını göstermektedir. Diğer yandan, dış elektronlar ise molekülün her tarafına dağılmıştır ve bu değerlik elektronlarının yük dağılımı, bağlayıcı kuvveti sağlar. Değerlik elektronlarının enerji düzeyleri aralığının mertebesini (2.1) denklemi ile hesaplanabilmektedir.

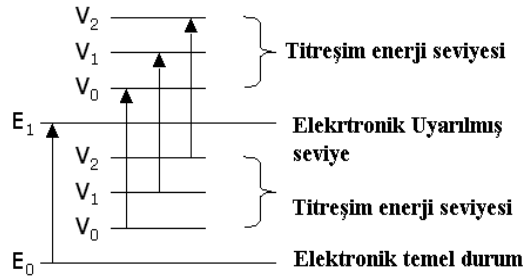
Bir moleküldeki çekirdekler arası uzaklık a olsun. Belirsizlik ilkesine göre değerlik elektronlarının momentumları \hbar/a mertebesindedir. O halde, bir tahminle bu elektronların kinetik enerjileri E_e ,

$$E_e \approx \frac{\hbar^2}{ma^2} \quad (2.1)$$

denklemi ile verilir. Burada m , elektronların kütlesidir. $a \sim 1\text{Å}$ olduğundan, E_e 'nin birkaç eV basamağında olduğu görülmektedir. Bu değer, yalıtılmış atomların dış elektronlarının bağlanma enerjisi ile aynıdır. (2.1) denklemi ayrıca, molekülün alt elektronik enerji düzeyleri aralığının tahminini de vermektedir. Bu elektronik düzeyler arasına karşılık gelen çizgi spektrumu, mor-üstü ve görünür bölgelerde gözlenir.

Dönme hareketi, çekirdeklerin yerinde sabit kaldığı yani moleküllerin katı bir cisim olduğu varsayılarak, yaklaşık olarak incelenebilir. Eğer moleküller n katlı simetri eksenine sahip ise ve $n \geq 3$ ise, bu durumda cisimin eylemsizlik momentinin üç esas

bileşiminin ikisi eşittir ve molekül simetrik topaç olarak adlandırılır. Örneğin amonyak molekülü NH_3 üç katlı simetri eksenine sahiptir ve simetrik topaçtır. Bu tür moleküllerin enerji düzeylerini elde etmek mümkündür. Eğer eylemsizlik momentinin üç esas bileşeni eşit ise (metan molekülünde de olduğu gibi) molekül küresel topaç olarak adlandırılır. Moleküllerde simetri konusu (2.2) bölümünde anlatılacaktır. Şekil 2.1’de moleküller arası geçiş enerji düzeyleri gösterilmiştir.



Hareketin türü	Enerji mertebesi
Dönme (rotasyon) hareketi	$E_r \rightarrow 10^{-4}$ eV
Titreşim (vibrasyon) hareketi	$E_v \rightarrow 10^{-1}$ eV
Uyarılma (eksitasyon) hareketi	$E_e \rightarrow (1-10)$ eV

Şekil 2.1 Moleküllerde enerji düzeyleri ve mertebeleri

2.2 Moleküllerde Simetri İşlemi ve Simetri Elemanları

Bu bölümde I. YÜKPOP’ da sunumu yapılan ‘Moleküler Yapılar’ başlıklı ders materyalleri temel alınmıştır. Belli sayıda atom, belli geometrik düzende birleşerek molekülleri oluşturur. Atomların türü, sayısı ve düzenleme şekli moleküllerin özelliğini belirler. Bileşiklerin fiziksel ve kimyasal özelliklerinin incelenebilmesi için molekül yapısının simetri özelliklerinin bilinmesi gerekmektedir.

Cisme veya moleküle bir hareket verildikten sonra eşdeğer veya özdeş konum elde ediliyorsa bu harekete simetri işlemi adı verilir. Simetri elemanları bir eksen, düzlem, nokta gibi geometrik niceliktir. Simetri işlemleri aşağıdaki simetri elemanları temel alınarak uygulanır.

Çizelge 2.1 Simetri elemanları ve simetri işlemleri

Simetri Elemanları (Simge)	Simetri İşlemleri
Özdeşlik (E)	Değişim oluşturmaz.
Eksen (C)	Eksen etrafında <i>dönme</i> hareketi yapılır.
Düzlem (σ)	Düzlemden <i>yansıma</i> yapılır.
Nokta (i)	<i>Evirme</i> (inversiyon) ; $(x, y, z) \rightarrow (-x, -y, -z)$
Yansımali Dönme eksenini (S)	<i>Dönme + Yansıma</i> (Yansıma düzlemi, dönme eksenine dik olmalıdır)

Çizelge 2.2 Simetri eksenine göre döndürme

Simetri Elemanları ve Semboller	Simetri ile ilgili işlemler
Özdeşlik (E)	$(x,y,z) \rightarrow (x,y,z)$
Merkezi simetri (i)	$(x,y,z) \rightarrow (-x,-y,-z)$
Ayna düzlemi (s)	$(x,y,z) \rightarrow (x,y,-z)$, için S_{xy}
Uygun dönme eksenini (C _n (z eksenini))	$(x,y,z) \rightarrow (-x, -y, z)$, için C ₂ (z)

Simetri eşit açı, eşit boyut ve eşit mesafeler olduğunda gerçekleşir. Kavram olarak eşitlik veya eşit uzunluklarla kalitatif bir zemin üzerine oturtulabilir.

Çizelge 2.2 de verilen özdeşlik işleminin simgesi E dir. Molekülde hiç bir değişim yaratmaz, ya da 360° dönme hareketine karşılık gelir. Her molekülün özdeşlik işlemi vardır.

Dönme bir simetri işlemidir. C_n sembolü ile gösterilir, n indisi açı cinsinden $n = \frac{360}{\theta}$, ye karşılık gelir ve dönme derecesidir. n eksen derecesidir, θ molekülün dönme açısıdır. Örneğin, bir molekül, bir eksen etrafında 120° döndürülerek bir eşdeğer yönelme elde edilmiş ise, molekül C₃ simetri eksenine sahiptir ve simetri işlemi bir C₃ işlemidir. Bir

molekül birden çok dönme eksenine sahip olabilir. En büyük n değerine sahip eksene baş dönme eksenini adı verilir.

Çizelge 2.3 de, m dönme sayısı olmak üzere $n > m$ C_n^m de gerçekleşen dönme işlemleri açılımlarına bağlı olarak verilmiştir.

Çizelge 2.3 Simetri işlemi ve dönme dereceleri.

Simetri İşlemi	Dönme
C_2	180°
C_3	120°
C_4	90°
C_5	72°
C_6	60°

Doğrusal moleküllerde, molekül, bağlardan geçen eksen etrafında sonsuz küçüklikte açı ile döndürüldüğünde başlangıç görünümü ile ayırt edilmeyen bir görünüme sahip olur. $n = 360/\theta$ bağıntısından $\theta \rightarrow 0^\circ$ iken $n \rightarrow \infty$ olur. Bu nedenle doğrusal moleküllerin ana simetri eksenini C_∞ dur.

Yansıma olması için simetri düzleminin olması gerekir. Bu simetri düzlemindeki yansıma düzleminde yansıma veya ayna düzlemi de denir. σ ile gösterilir. Yansıma işlemi ile bir nokta yansıma düzlemine dik ve eşit uzaklıkta başka bir noktaya hareket eder. Yansıma işlemi sağa sola veya solu sağa taşır. Bir düzlemde yansıma işlemi bir defa uygulanır. Ard arda iki defa uygulanırsa $\sigma \cdot \sigma = \sigma^2 = E$ olur. Her grup E (özdeşlik işlemi) taşıdığından dolayı yansıma işleminin bu özelliği önemlidir.

Molekülün herhangi bir noktasından başlayıp merkezden geçen bir doğru üzerinde, bu merkezi geçtikten sonra eşit uzaklıkta ilerlediğinde ilki ile ayırt edilemeyen bir noktaya geliniyorsa, molekülün bir terslenme merkezi olduğu söylenir (inversiyon, evirme). Uygulanan işlemede evirme denir. Evirme merkezi ve evirme işlemi i sembolü ile gösterilir.

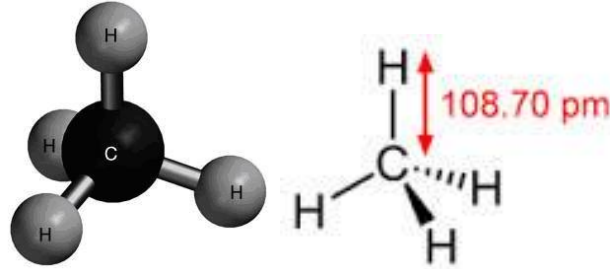
Başka bir ifadeyle evirme işlemi; moleküldeki her atomun, atom ve molekül merkezinden geçen doğru boyunca merkezin diğer tarafına ilk konumuna eşit uzaklıkta taşınması işlemidir. Bu işlem ile benzer atomlar birbirini yerine geçmektedir.

Evirme merkez olarak düşünülen noktadan bir atomu belirleyen noktaya doğru bir çizgi çizilip bu çizgiyle aynı doğrultuda fakat ters yönde terslenme merkezine göre eşit uzaklıklarda bir başka çizgi çizildiğinde ulaşılan nokta ilk atomla özdeş bir atoma rastlanırsa bu molekülde terslenme merkezi vardır denilir. Örneğin; $\text{CH}_3\text{-CH}_3$ molekülünde C-C bağının tam orta noktasının terslenme merkezi olduğu görülür. Evirme işlemi tamamen soyut bir operasyondur. Bir molekül üzerinde fiziksel olarak gerçekleştirilemez. Bu işlem, terslenme merkezinden zıt yönlerde, eşit uzaklıkta gidildiğinde özdeş noktalara ulaşılmalarıyla gerçekleşir.

Yansımali dönme işlemi, ard arda uygulanan iki işlem içerir. Molekül bir eksen etrafında $(360/n)^\circ$ lik açı ile döndürülür ve daha sonra alınan eksene dik düzlemden yansıtılır. Kullanılan eksen ve düzlem molekülün simetri elemanı olmayabilir. Bu işlemler sonucu eşdeğer yönelme elde edilir. Burada kullanılan simetri elemanına yansımali dönme elemanı denir ve S_n ile gösterilir.

2.3 Metan Molekülünün Yapısı

Metan molekülü (CH_4), merkezinde karbon atomu, köşelerinde hidrojen atomları bulunan düzgün dörtyüzlü (tetrahedral) bir yapıya sahiptir. Aynı simetri elemanlarına sahip moleküller aynı nokta gruplarında yer alır. Her molekül bir takım simetri elemanlarına sahiptir. CH_4 , ClO_4^- , MnO_4^- , CCl_4 'ün nokta grubu T_d 'dir. Moleküle bir hareket verildikten sonra eşdeğer veya özdeş konum elde ediliyorsa bu harekete simetri işlemi adı verilir. Simetri elemanları bir eksen, düzlem, nokta gibi geometrik niceliktir. Simetri işlemleri 2.2 bölümünde anlatıldığı gibi bu simetri elemanları temel alınarak uygulanır.

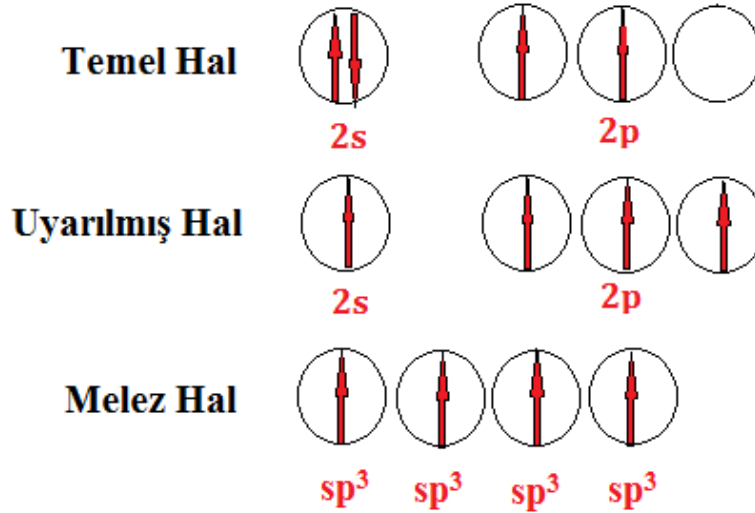


Şekil 2.2 Metan molekülünün orbital modeli

Şekil 2.2'de orbital modeli gösterilen Metan molekülü normal sıcaklık ve basınçta gaz haldedir, renksiz ve kokusuzdur. Yapısında yalnızca Karbon (C) ve Hidrojen atomları (H) bulunduran bileşiklere hidrokarbon (C_nH_x) adı verilir. Metan doymuş alifatik hidrokarbonların (alkan) bir karbona sahip en küçük üyesidir. Kaynama noktası $-161,7^\circ\text{C}$ 'dir. Metan molekülü, atomik olarak 1 adet s ve 3 adet p orbitalinin hibritleşmesi ($2s^1$, $2p_x^1$, $2p_y^1$, $2p_z^1$) sonucu oluşan 4 eşit yeni hibrit sp^3 orbitalinden oluşur (Şekil 2.2). Karbon (C) atomları arasındaki bütün bağlar tekli bağ yani σ (sigma) bağıdır.

Karbon atomunda orbitallerdeki elektron dağılımına bakıldığında, 2s ve 2p orbital enerjilerinin birbirine çok yakın olduğunu görülür. Şekil 2.3' de sp^3 hibritleşme olayı temel hal, uyarılmış hal ve melez hal olarak gösterilmiştir. Aynı şekillere sahip olan bu dört hibrit orbitalinin dizilimleri tetrahedral yapının yönleri merkezinden köşelerine doğru olacak şekildedir.

Taban durumunda karbon atomlarının yerleşimi $(1s)^2(2s)^2(2p)^2$ dir, fakat taban durumuna çok yakın enerjide $(1s)^2(2s)^1(2p)^3$ uyarılmış durumu vardır ve karbon bu durumla kolayca bağlanır. Yörüngemsiler, 2s, 2p_x, 2p_y, ve 2p_z yörüngemsilerinin doğrusal bileşimlerini oluşturarak, melezleşirler ve bu durumda bir tane 2s yörüngemsisi ile 3 tane 2p yörüngemsisi melezleştiğinden sp³ melezi olarak adlandırılır.



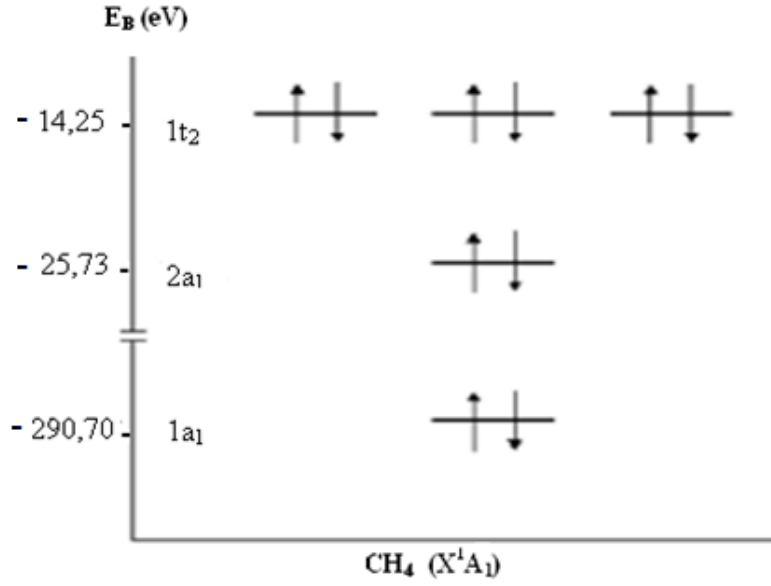
Şekil 2.3 Karbon atomunun uyarılmış ve hibritleşmiş haldeki elektron dağılımı (Okumuş 2014).

CH₄ molekülünün elektronik enerji seviyeleri taban durumu için gösterimi Şekil 2.3’deki gibidir. 2a₁ ve 1t₂ orbitalleri değerlik orbitalleri olmak üzere;



şeklinde taban durumu elektron dağılımı gösterilir.

Çok atomlu moleküllere ait moleküler orbital teorisine göre (X^1A_1), A gösterimi baş dönme eksenine göre simetrik eş enerjili olmayan orbitalleri ve t simgesi ise üçlü eş enerjili orbitalleri gösterir (Şekil 2.4). Moleküller için oluşturulan karakter tablolarında Mulliken sembolleri olarak ifade edilen alt ve üst indisler bulunur.



Şekil 2.4 Metan molekülü için enerji düzeylerinin taban durumdaki şematik gösterimi.

Alt indisi bir (1) ise; ana eksenden sonra gelen simetri elemanına göre simetrik olan, iki (2) indisi ise ana eksenden sonra gelen simetri elemanına göre simetrik olmayan orbitalleri temsil eder. Metan molekülünde $1a_1$ ve $2a_1$ yörünge elektronları ‘s’ karakterinde iken, $1t_2$ yörünge elektronları ‘p’ karakterine sahiptir.

2.4 Elektron-Atom/Molekül Çarpışma Olayları

Elektron – atom/molekül çarpışma diferansiyel tesir kesiti ölçümü, basit gazların elastik saçılmasının açıya bağımlılığını ölçen Ramsauer ve Kollath (1930)’ın çalışması ile başlamıştır. Ramsauer’in demet çarpışma tekniği, soy gaz hedefleri için ölçülen elektron-atom tesir kesitlerinin elektronun enerji değişimine göre maksimum ve minimumlar verdiğini göstermiştir. Townsend ve Baily (1922) de daha düşük enerjili elektronlarla benzer sonuçları bulmuştur. Fakat sonuçlar enerjinin azaldıkça toplam tesir kesitinin artmasını öngören klasik saçılma teorisi ile uyuşmamaktaydı. Ramsauer-Townsend etkisinin belirlenmesi kuantum çarpışma teorisinin geliştirilmesindeki önemli etkilerden biri olmuştur. Bu konudaki ilk detaylı çalışmalar Massey ve Burhop (1969) tarafından yayınlanmıştır.

Toplam tesir kesiti ölçümleri Ramsauer, crossed-beam ve recoil tekniği gibi deneysel tekniklerle devam etmiştir (Bederson and Fite 1968, Bederson and Kieffer 1971).

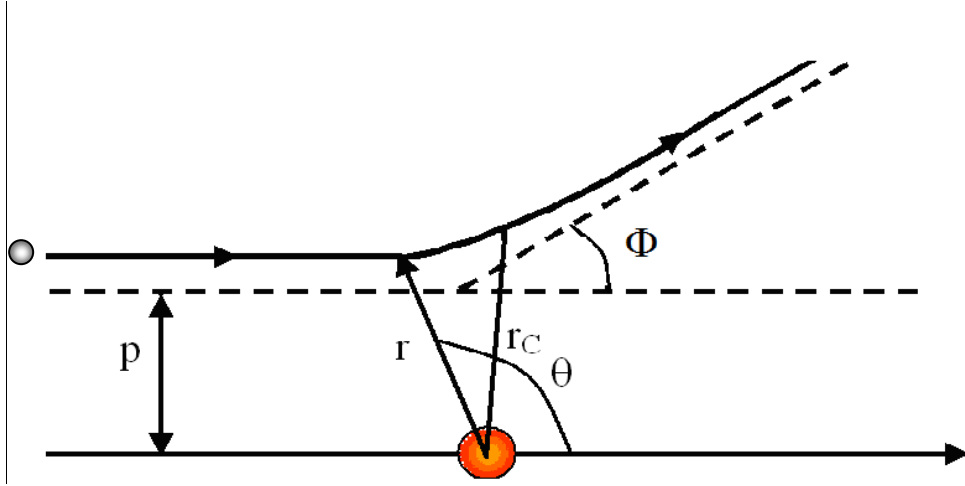
Elektron etkisiyle uyarılma ve iyonlaşma olaylarının integral tesir kesitleri, optik uyarılma etkisinin (enerjinin bir fonksiyonu olarak ölçülen tesir kesiti) ölçülmesi ile geniş bir şekilde çalışılmıştır. Toplam tesir kesiti, integral ve momentum transfer tesir kesitleri ölçümleri ile ilgili ayrıntılı bilgiler McCarthy ve Weigold (1995) tarafından yayınlanan kitapta yer almaktadır.

Tekli, ikili ve üçlü diferansiyel tesir kesiti ölçümleri deneysel tekniklerin gelişmesiyle birlikte günümüzde de devam etmektedir. Elektron-atom/molekül çarpışması ile meydana gelen uyarılma, iyonlaşma gibi olayların daha detaylı incelemeleri ve geliştirilen teorilerin test edilmesi diferansiyel tesir kesitlerinin ölçümü ile gerçekleştirilebilmektedir.

2.4.1 Elektron Çarpışmalarında Saçılma Olayı

Saçılma olayları; atomlar, moleküller veya temel parçacıkların yapılarını anlamamızı sağlayan deneysel yöntemlerdir. Bu yöntemde sabit tutulduğu varsayılan hedefte bulunan bir molekül üzerine enerjisi ve açısı bilinen elektronlar gönderilerek saçılan parçacıklar yön ve enerjilerine göre analiz edilir. Bir hedef üzerine gelen bir parçacık göz önüne alalım (Şekil 2.5). Parçacığa etkiyen merkezci kuvvetin büyük uzaklıklarda sıfıra düştüğünü varsayalım. Buna göre parçacık, kuvvet merkezinden çok büyük uzaklıklarda iken, doğrusal bir yörünge boyunca hareket eder. Merkezci kuvvete yaklaştığında ise çekici ya da itici bir etkileşmeye uğrar ve bu nedenle, başlangıçta doğrusal çizgi olan yolundan sapar. Parçacık saçıldıktan sonra, nihayet üzerine etki eden kuvvet sıfır olur. Bunun sonucunda yörüngesi tekrar doğrusal çizgiye yaklaşır. Genel olarak hareketin son doğrultusu geliş doğrultusundan farklıdır ve parçacığın merkezci kuvvet tarafından saçıldığı söylenir.

Saçılma olayını tanımlayan tesir kesitlerinin hesaplanmasında giren ve çıkan parçacıkların özelliklerine bağlı olarak bazı yaklaşımlar yapılmaktadır. Çok parçacık problemi çözülürken önce problem basit hale indirgenmekte ve daha sonra parçacıkların birbirleriyle olan etkileşmeleri probleme dâhil edilmektedir.



Şekil 2.5 Merkezi bir alandan saçılmanın şematik gösterimi. (r, θ) parçacığın koordinatları, p etkileşme (impact) parametresi, r_C en yakın yaklaşma mesafesi, Φ saçılma açısıdır.

Bilindiği gibi kuantum mekaniksel olarak bir parçacık bir dalga ile temsil edilir. Elektron – atom çarpışmasında meydana gelen olayların tanımlanabilmesi çarpışmadan önce ve sonra sistemin toplam dalga fonksiyonlarının belirlenmesine bağlıdır (Marchalant 1996). Bunun için öncelikle sistemin zamandan bağımsız Schrödinger denkleminin çözülmesi gerekmektedir. Çarpışma zamana bağlı olmasına rağmen, etkileşmeler sadece konuma bağlı olduğundan zamandan bağımsızdır. Saçılma bilgileri bu sebeple zamandan bağımsız Schrödinger denkleminin çözülmesi ile elde edilir (Rescigno *et al.* 1999).

Temel olarak elektron çarpışma deneylerinde gelen elektron ve hedef arasında üç farklı çarpışma olayı gerçekleşebilir. Bunlar, elastik, inelastik ve süperelastik çarpışma olaylarıdır. Önceden belirlenmiş bir kinetik enerjiye sahip elektron, durgun olduğu varsayılan hedefle çarpışarak farklı türlerde saçılmaktadır. Gelen elektron ve hedefin kuantum durumunda meydana gelen değişiklikler saçılmanın türünü belirler. Gelen elektronun enerjisinde ve iç yapısında bir değişiklik olmadan saçılması elastik çarpışmadır. Elastik çarpışmalarda hedefe enerji aktarılmamış ve hedefin de iç kuantum yapısında bir değişim olmamıştır. Böyle çarpışmalarda enerji ve momentum korunmaktadır.

İki parçacığın çarpışması sırasında (elektron-atom/molekül) iç kuantum durumunda değişiklik olabilir. Bu durumda inelastik çarpışma gerçekleşir ve gelen elektron hedefe enerji aktarır. İnelastik çarpışma, hedefin bir üst enerji seviyesine uyarılması ve

iyonlaşması (tekli, çoklu veya kendiliğinden) olayları meydana gelir. Etkileşime giren parçacıklarla sisteminin toplam kinetik enerjisi korunmaz fakat momentum korunur.

Eğer etkileşmeye giren parçacıklar molekül gibi birleşik sistemlerle olursa, molekül ayrışmaya uğrayabilir. Molekülü oluşturan atomlar ayrışabileceği gibi iyonlaşabilir ya da uyarılabilir. Uyarılmış hedefle çarpıştırılan elektron, çarpışma sonucunda enerji kazanıyorsa süperelastik çarpışma gerçekleşebilir. Elastik, inelastik, ayrışma ve süperelastik etkileşme olayları Çizelge 2.4’de özetlenmiştir.

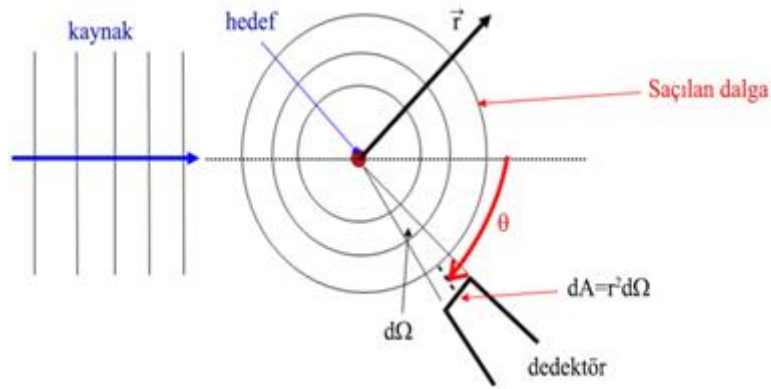
Çizelge 2.4 Elektron-molekül çarpışması sonucu meydana gelebilecek etkileşme olayları.

Etkileşme olayları		Gösterim
Elastik	Elastik saçılma	$e^- + A \rightarrow A + e^-$
İnelastik	Dönüsel uyarılma	$A(j) + e^- \rightarrow A(j') + e^-$
	Titreşimsel uyarılma	$A(v) + e^- \rightarrow A(v') + e^-$
	Elektronik uyarılma	$A + e^- \rightarrow A^* + e^-$
	Tekli iyonlaşma	$A + e^- \rightarrow A^+ + 2e^-$
Ayrışma	İkili iyonlaşma	$A + e^- \rightarrow A^{++} + 3e^-$
	Elektron yakalama ile ayrışma	$AB + e^- \rightarrow A^- + B$
	Rekombinasyon ayrışma	$AB^+ + e^- \rightarrow A + B$
Süperelastik	Nötral ayrışma	$AB + e^- \rightarrow A + B + e^-$
	Süperelastik saçılma	$e^- + A^* \rightarrow A + e^-$

2.4.2 Tesir Kesitlerinin Hesaplanması ve Katı Açısı

Elektron çarpışma deneylerinde saçılma olaylarının anlaşılması, elektron-atom/molekül ve elektron-elektron etkileşmelerinin kütle merkezinde, Schrödinger dalga denklemi ile doğru ifade edilmesine bağlıdır. Tek elektronlu atomlarda bile etkin potansiyelin tam olarak belirlenememesinden kaynaklanan problemden dolayı sistemin dalga fonksiyonu, tam olarak ifade edilememektedir. Bu problem atom ve molekül fiziğinde çok parçacık (many-body) problemi olarak isimlendirilmektedir (Csanak *et al.* 1971). Elektron-molekül çarpışma tesir kesitlerinin anlayabilmek, teorik ve deneysel sonuçlarını yorumlayabilmek için sistemin elektron-atom/molekül çarpışmalarının olayları iyi anlaşılması gerekmektedir.

Gelen parçacıkların kaynağının uzaklığı, hedefin de-Broglie dalga boyundan çok büyük olduğu için elektron demeti kuantum mekaniksel açıdan düzlem dalga olarak kabul edilebilir. Saçılma olayı sonucu ortaya çıkan parçacıklar uygun bir dedektör ile algılanarak saçılma açılara göre analiz edilirler. Gerçekte, hiçbir dedektörün sonsuz küçük bir algılama yüzeyi olamaz. Deneysel olarak da dedektörün saçılan parçacıkları algılama yüzeyi düşünüldüğünde çarpışma merkezinden saçılmış parçacıklar belirli bir $d\Omega$ katı açısında algılanabilmektedir (Şekil 2.6).



Şekil 2.6 Yüklü bir parçacığın potansiyelden saçılması durumunda gelen düzlem dalga ve saçılan küresel dalga ile katı açının şematik gösterimi.

Şekil 2.6'da gelen ve saçılan dalgalar şematik olarak gösterilmiştir. Elastik saçılma veya uyarma deneylerinde meydana gelen olayların tanımlanabilmesi, sistemin toplam dalga fonksiyonunun çarpışmadan önce ve sonra belirlenmesine bağlıdır. Her iki olay için farklı saçılma genlikleri belirlenmektedir. Elastik ve uyarma tesir kesitlerinde saçılan elektronun enerjisi bilinmektedir. Çarpışma olaylarını karakterize eden parametre ise tesir kesitidir. Dolayısıyla sadece saçılma açısı değiştirilerek tesir kesitleri ölçülür. Tesir kesiti, bir çarpışma olayında birim zamanda birim hacimde bu olayın oluşma sıklığının, gelen parçacığın akısına oranı olarak tanımlanmaktadır (Burke and Joachain 1995).

Gelen ve saçılan elektron demetlerinin dalga fonksiyonlarının hesaplanması ile hedef atomun kuantum durumlarındaki değişim olasılıkları belirlenir. Belirli bir olayın gerçekleşme olasılığının bir ölçüsü tesir kesiti kavramıdır ve birimi alan cinsindedir (10^{-28}m^2).

Bu genel tanım Şekil 2.6'da gösterilen potansiyelden saçılmanın çok küçük bir katı açısı için uygulanırsa diferansiyel tesir kesiti $d\sigma/d\Omega$ tanımlanmış olur. Katı açının birimi Steradyan'dır. Burada $d\Omega$ katı açısı küresel koordinatlarda $d\Omega = \sin\theta d\theta d\phi$ olarak ifade edilir. Bir çarpışma olayında, $|i\rangle = |k_i, \Phi_i, \chi_i\rangle$ ilk durumundan $|j\rangle = |k_j, \Phi_j, \chi_j\rangle$ son durumuna geçişte $d\Omega$ katı açısında saçılan parçacık akısının gelen parçacık akısına oranından diferansiyel tesir kesiti,

$$\frac{d\sigma_{ji}}{d\Omega} = \frac{|\vec{k}_j|}{|\vec{k}_i|} |f(\theta, \phi)|^2 \quad (2.3)$$

olarak tanımlanır (Byron and Joachain 1989). Görüldüğü gibi tesir kesiti, saçılan dalga fonksiyonunun genliği $[f(\theta, \phi)]$ ile doğru orantılıdır.

İnelastik saçılma olaylarından tekli iyonlaşma olayı incelenirken 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. İyon hareketinin ihmal edilmesi halinde, tekli iyonlaşma olayı;

$$e^-(E_0, \vec{k}_0) + A \rightarrow A^+ + e^-(E_a, \vec{k}_a) + e^-(E_b, \vec{k}_b) \quad (2.4)$$

şeklinde tanımlanabilir. Burada E_0 , E_a , E_b ve \vec{k}_0 , \vec{k}_a , \vec{k}_b sırasıyla gelen, saçılan ve koparılan elektronların enerji ve momentumlarıdır.

2.4.3 Saçılma Tesir Kesiti Ölçümleri ve Çeşitleri

2.4.3.1 İntegral ve Elastik Diferansiyel Tesir Kesitleri

İntegral tesir kesiti (ICS), gelen elektron enerjisine (E_0) bağlı olarak tanımlanır. İntegral tesir kesiti, sadece gelen elektron enerjisinin bir fonksiyonudur ve özel bir çarpışma işlemi için saçılma olayının toplam sayısının bir ölçüsüdür. Tekli diferansiyel tesir kesitinin tüm saçılma açıları ya da tüm enerjilerde integrali alınarak, integral tesir kesiti hesaplanabilir (Mc Carthy 1998).

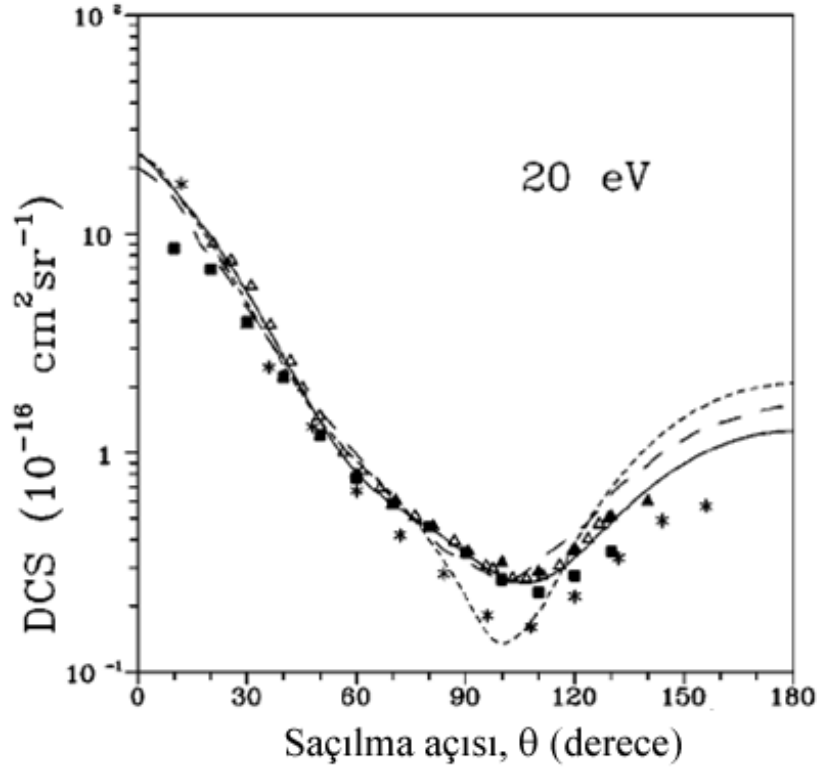
Elastik saçılma, elektron-atom/molekül çarpışmalarında incelenen en sık saçılma türüdür. Özellikle de düşük enerjilerde deneysel ve teorik olarak elastik diferansiyel tesir kesiti çalışmaları sayısı oldukça fazladır. Elastik saçılma da, hedefe gönderilen elektronların hedef atom veya molekülle çarpışması sonucu enerjisinde herhangi bir kayıp olmadığı durumdur. Elastik saçılma tesir kesiti;

$$\frac{d\sigma(E,\theta)}{d\Omega} = \frac{dN_S(E,\theta)}{N_i n l d\Omega} \quad (2.5)$$

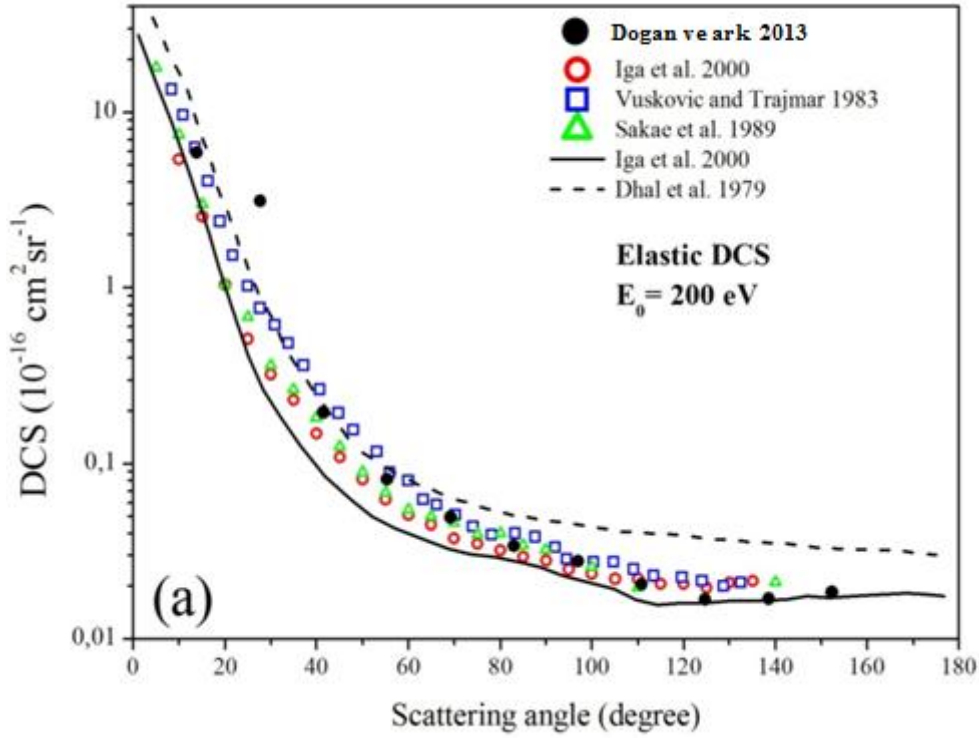
bağıntısı ile verilir (Trajmar *et al.* 2006). Burada $dN_S(E, \theta)$; gelen elektron demetinin doğrultusuna göre θ açısındaki analizörün $d\Omega$ katı açısı içerisindeki gördüğü E enerjili saçılan elektronların sayısı ve N_i , l uzunluğunda saçılma hücresi içerisinde n yoğunluklu hedef gaz üzerine birim zamanda gelen elektronların sayısıdır.

Gelen elektron enerjisi $E_0 < 50$ eV için deneysel elastik DCS ölçümlerinde literatürde: Tanaka vd. (1982), Vuskovic ve Trajmar (1983), Curry vd. (1985), Sohn vd. (1986), Shyn ve Cravens (1990), Boesten ve Tanaka (1991), Mapstone ve Newell (1992), Kanik vd. (1993) ve Bundschu vd. (1997) tarafından yayınlanan pek çok çalışma mevcuttur. Düşük enerjilerde yapılan elastik DCS teorik çalışmalarının sayısı da oldukça fazladır. Elastik saçılma olayı için farklı yaklaşımlar kullanılarak diferansiyel tesir kesiti (DCS) ve integral tesir kesiti (ICS) hesaplamaları mevcuttur. Düşük enerjili elektronların metan molekülünden elastik saçılmaları için teorik modelleme çalışmalarına örnek olarak: Lima vd. (1985), Jain (1986), Gianturco ve Sciella (1987), Gianturco vd. (1987),

McNaughten vd. (1990), Lengsfield vd. (1991), Nishimura ve Ittaca (1994), Nestman ve ark. (1994), Gianturco ve ark. (1995), Bettega vd. (1995), Machado vd. (1998), Iga vd. (2000), Lee vd. (2000), Bettega vd. (2003), Er-Jun vd. (2007) ve Lino (2009) verilebilir. Şekil 2.7’de 20 eV enejili gelen elektronlar için e-CH₄ elastik DCS deneysel ve teorik çalışmaları görülmektedir.

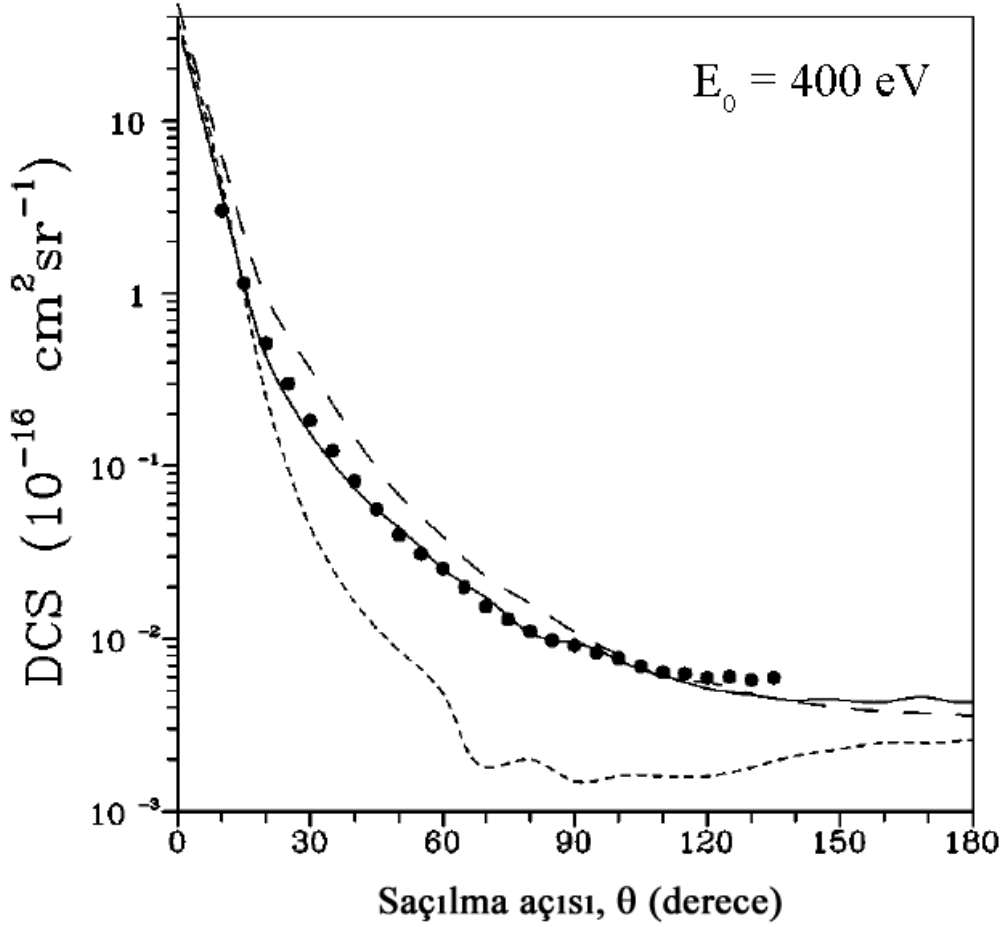


Şekil 2.7 $E_0=20\text{eV}$ için e-CH₄ elastik DCS deneysel ve teorik çalışmaları. Düz çizgi, Iga *et al.* (2000) hesaplama; kısa kesikli çizgi Jain (1986) hesaplama; uzun kesikli çizgi, Nishimura and Itikawa(1994); içi dolu üçgenler, Curry *et al.* (1985)deneysel ölçümleri; içi boş üçgenler Vuskovic and Trajmar (1983) ölçümleri, içi dolu kareler Boasten and Tanaka(1991) ölçümleri; yıldızlar, Shyn and Cravens(1990) ölçümleri; içi dolu daireler Iga *et al.* (2000) ölçümleri.



Şekil 2.8 $E_0=200\text{eV}$ için alınan elastik DCS spektrumu. Alınan ölçümler literatürdeki diğer ölçümler ile karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Şekilde; içi dolu noktalar Dogan vd. (2015) ölçümleri, daireler Iga *et al.* (2000) ölçümlerini, mavi kareler Vuskovic and Trajmar (1983) ölçümlerini, üçgenler Sakae *et al.* (1989) ölçümlerini, düz çizgi Iga *et al.* (2000) teorik hesaplamalarını, kesikli çizgi Dhal *et al.* (1979) teorik hesaplamalarını göstermektedir.

Gelen elektronun enerjisinin, orta ve yüksek enerjili olduğu durumlarda ($E_0 > 50 \text{ eV}$) deneysel ve teorik çalışmalar daha ender bulunmaktadır. Deneysel çalışmaların çoğu integral tesir kesiti (ICS; elastik ve inelastik tesir kesitleri toplamı) üzerinedir (Zecca *et al.* 1992, March *et al.* 1994, Garcia and Manero 1998). Literatürde orta ve yüksek enerjili saçılmalar için elastik DCS ve ICS ölçümlerinin yapıldığı üç çalışma vardır. Vuskovic ve Trajmar (1983) 20, 30 ve 200 eV enerjili elektronlarla, Sakae vd. (1989) 75-750 eV ve Iga vd. (2000) 100-500 eV enerji aralığında deneysel ölçüm gerçekleştirmişlerdir. Şekil 2.8'de Dogan vd. (2013) tarafından yayınlanan $E_0 = 200\text{eV}$ dahi elastik DCS spektrumunun literatürdeki teorik ve deneysel sonuçlarla karşılaştırılması olarak sunulmuştur. 100-800 eV arası gelen elektron enerjileri için farklı teorik modellemelere dayanan yaklaşımlarla hesaplamalar yapılmıştır (Dhal *et al.* 1979, Jain 1986, Iga *et al.* 2000). Şekil 2.9'da $E_0=400\text{eV}$ enerjili gelen elektronlar için elastik DCS deneysel ve teorik hesaplama sonuçları karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.9 $E_0 = 400$ eV için e^- -CH₄ elastik DCS deneysel ve teorik çalışmaları. Düz çizgi, Iga *et al.* (2000) hesaplama; kısa kesikli çizgi Jain (1986) hesaplama; uzun kesikli çizgi, 410 eV için Dhal *et al.* (1979); içi dolu daireler Iga *et al.* (2000) ölçümleri.

2.4.3.2 İyonlaşma Diferansiyel Tesir Kesitleri

Elektron etkisiyle iyonlaşma olayında, çarpışmadan sonra üç serbest parçacığın bulunması dört farklı tür tesir kesiti ile tanımlanabilir. Bunlar;

- i) toplam iyonlaşma tesir kesiti (TDC),
- ii) tekli diferansiyel tesir kesiti (SDCS),
- iii) ikili diferansiyel tesir kesiti (DDCS),
- iv) üçlü diferansiyel tesir kesiti (TDCS)

ölçümleridir.

2.4.3.3 Toplam İyonlaşma Tesir Kesiti

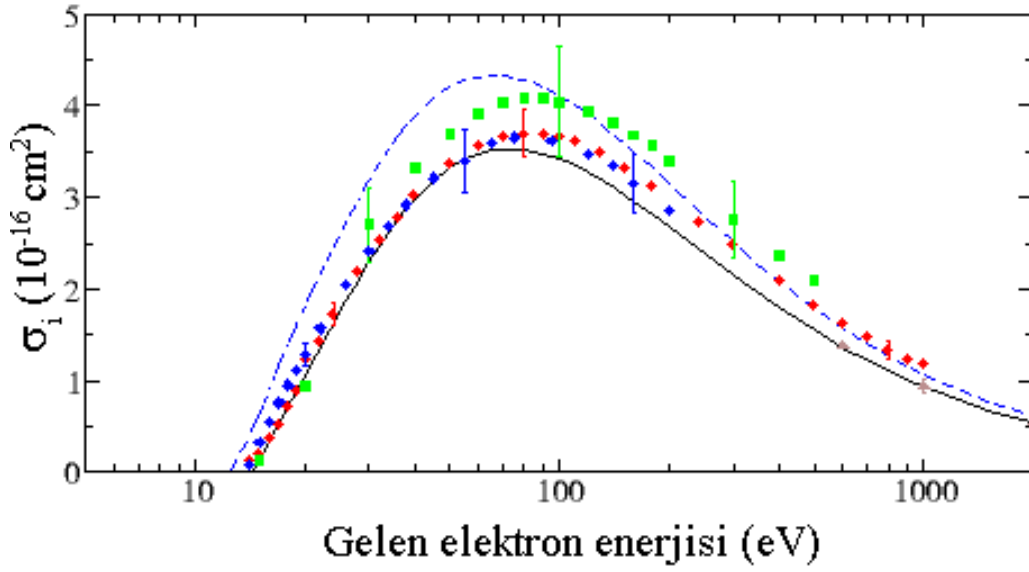
Toplam tesir kesiti (Total Cross Section; TCS), gelen elektronun enerjisinin bir fonksiyonudur. Çarpışma sonrası açığa çıkan elektronların (saçılan ve koparılan) enerji ve momentumundan bağımsız olarak meydana gelen iyonlaşma bölgesindeki pozitif iyonların sayısının bir ölçüsüdür.

Toplam tesir kesiti σ_i :

$$i^+ = i_0 N \sigma_i x \quad (2.6)$$

denklemleri ile verilir. Burada i_0 , gelen elektron demetinin akımı; N , hedef gazın (atom ya da molekül) yoğunluğu; x , efektif hedef kalınlığı ve i , ölçülen pozitif iyon akımıdır. Bu konuda bir standart olarak Rapp ve Englander-Golden (1965) tarafından farklı atom ve molekül hedefler üzerine yapılan çalışma yaygın olarak kullanılmaktadır (Şişe 2011).

Toplam iyonlaşma tesir kesiti, σ_i , dört farklı diferansiyel tesir kesitinin toplamına eşittir. Deneysel olarak, iyonlaşma olayında ortaya çıkan iyonların sayılmasıyla elde edilir. Şekil 2.10'da gelen elektron enerjisi 10-2000eV arasında iken literatürde bulunan bazı toplam iyonlaşma tesir kesiti ölçümleri ve teorik hesaplamaları gösterilmiştir. Kim vd. (1997) ve Hwang vd. (1997) tarafından hesaplanan toplam diferansiyel tesir kesiti ve diğer deneysel sonuçlarla karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Metan molekülünün elektron etkisiyle iyonlaşma eşik enerjisinden 1000 eV enerjiye kadar incelenmiştir. Teorik sonuçları özellikle Rapp ve Englander-Golden (1965) ve Orient ve Srivastava (1987) deneysel ölçümleri ile oldukça uyumlu olduğu görülmektedir.



Şekil 2.10 Metan molekülünün elektron etkisi ile toplam iyonlaşma tesir kesiti ölçüm ve hesaplamaları. Şekildeki düz çizgi Kim *et al.* 1997, kesikli çizgi Hwang *et al.* 1996 teorik hesaplamalarını; noktalar Rapp and Englander-Golden 1965; kareler Orient and Srivastava 1965; noktalar Duric *et al.* 1991; üçgenler Schram *et al.* 1966 deneysel ölçümlerini göstermektedir.

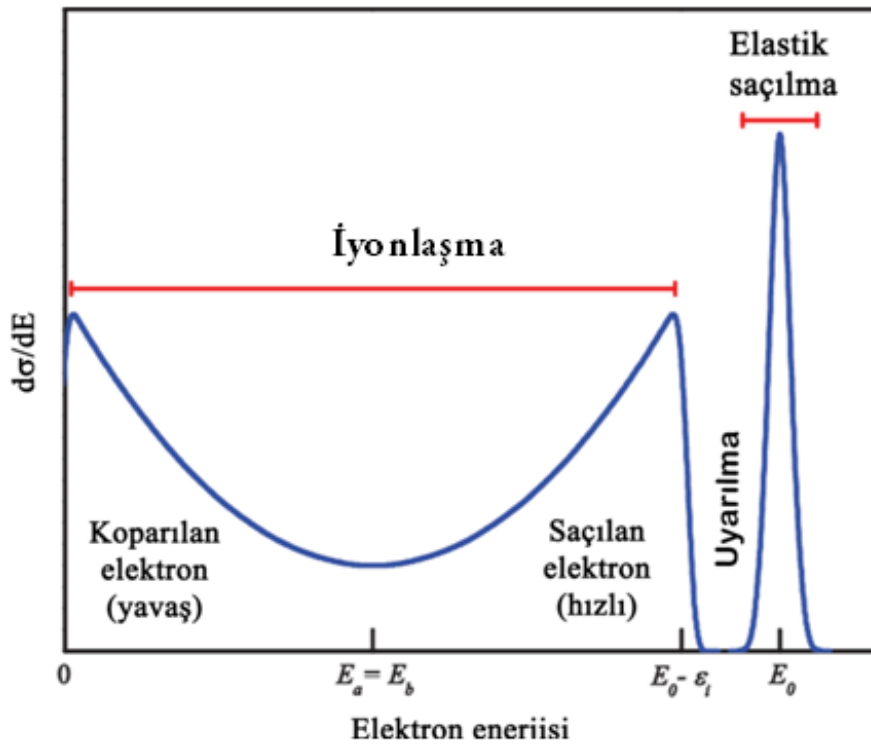
Tekli diferansiyel tesir kesiti (SDCS), belirli bir E_0 enerjili elektronla çarpışma sonucu çıkan iki elektronun enerji ya da açısal dağılımlarını tanımlar ($d\sigma/dE$). Tekli diferansiyel tesir kesitini doğrudan ölçebilmek oldukça zordur. Bu nedenle ikili diferansiyel tesir kesitinin tüm açılar üzerinden integre edilmesi ile elde edilir.

Bir tekli iyonlaşma olayında enerji korunumu denklemi aşağıdaki gibidir.

$$E_0 = E_a + E_b + \varepsilon_i \quad (2.7)$$

Buradaki ε_i atomunun iyonlaşma potansiyelidir. Şekil 2.11'de Colyer vd. (2011) tarafından verilen tekli diferansiyel tesir kesitlerinin koparılan elektron enerjisine göre değişiminin şematik gösterimi görülmektedir. Tekli iyonlaşmayla sonuçlanan inelastik çarpışmada gelen elektronun enerjisinin bir kısmı iyonlaşma potansiyeline (ε_i) harcanır. Çarpışmadan önceki toplam kinetik enerji, gelen elektronun enerjisi olan E_0 'dır. İyonlaşmadan sonra elektronların kalan enerjisi, $E = E_0 - \varepsilon_i$, çıkan iki elektron arasında rastgele dağıtılmış olabilir. Kuantum mekaniksel olarak çarpışma sonucu oluşan iki elektron ayırt edilemez, fakat hızlı elektronun saçılan, yavaş elektronun ise

koparılan olması daha olasıdır. Enerjinin büyük kısmını saçılan elektron alacağı için enerjisi $E_0 - \varepsilon_i$ 'ye daha yakinken, koparılan elektronun enerjisi sıfıra yakın olacaktır. Şekil 2.11'de görüldüğü gibi $E_a = E_b$ durumunda bir minimum gözlenmektedir. Saçılan elektron enerjisinin (E_a) koparılan elektron enerjisine (E_b) eşit olduğu bu enerji bölgesi, iki elektronun eşit enerji paylaşımının gerçekleştiği bölgedir. Tekli diferansiyel tesir kesitini doğrudan ölçebilmek oldukça zordur. Bu nedenle ikili diferansiyel tesir kesitinin tüm açılar üzerinden integre edilmesi ile elde edilir (Ehrhardt *et al.* 1986).



Şekil 2.11 SDCS şematik gösterimi. E_0 , E_a ve E_b sırasıyla gelen, saçılan ve koparılan elektronların kinetik enerjilerini; ε_i , hedefin iyonlaşma potansiyelini göstermektedir (Colyer 2011).

İkili diferansiyel tesir kesiti (Double Differential Cross Section; DDCS), çarpışma sonrasındaki koparılan veya saçılan elektronların enerji ve açısal dağılımının bir ölçüsüdür. Deneysel olarak dedekte edilmeyen elektronun enerjisi sabit tutulur. Tek analizör kullanılarak çarpışma sonucu ortaya çıkan parçacıklardan birinin enerjisine ve açısına göre tanımlanır ($d^2\sigma/dE d\Omega$). Ancak iyonlaşma olayı sonucunda oluşan iki elektronu saçılan veya kopan elektron olduğu birbirinden ayırd edilemez. Dolayısıyla deneysel olarak elektronlardan herhangi birinin enerji ve açısına göre alınan DDCS

ölçümü, saçılan ve koparılan elektronlardan her ikisinin katkısıyla elde edilmektedir. İki değişkene bağlı olduğu için, elektronlardan birinin açı veya enerji dağılımlarına göre iki farklı şekilde yapılabilmektedir.

$N_{\text{sayım}}$, birim zaman başına sayım sayısını göstermek üzere, ikili diferansiyel tesir kesiti;

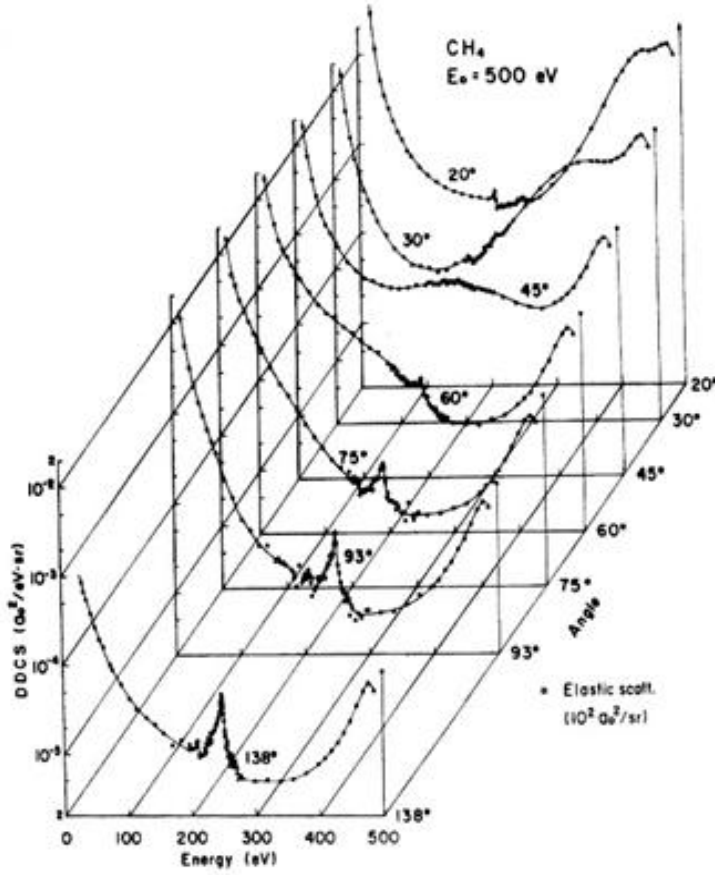
$$\frac{d^2\sigma}{d\Omega dE} = \frac{N_{\text{sayım}}}{|J_{\text{gelen}}|d\Omega dE} \quad (2.8)$$

olarak tanımlanmaktadır. DDCS birimi $\text{cm}^2\text{sr}^{-1}\text{eV}^{-1}$ dir.

DDCS, dedekte edilen elektronun yönelimi üzerinden teorik hesaplamalarda, üçlü diferansiyel tesir kesitinin (TDCS) integre edilmesiyle elde edilir. DDCS ölçümleri, iyonlaşma mekanizması ve hedefin yapısı hakkında temel bilgileri vermesine rağmen, iyonlaşma dinamiği ile ilgili bilgiyi doğrudan vermez. Çünkü çarpışma sonucu kalan elektron enerjisi saçılan ve koparılan elektron arasında paylaşılmaktadır. Çarpışma sonucu ortaya çıkan tüm parçacıkların dedekte edilememesi nedeniyle bir bilgi kaybı olmaktadır. Diferansiyel tesir kesiti ölçümleri bir elektronun son durumu hakkında bilgi verirken diğer elektronun enerji ve momentum bilgileri integre edilir.

Dedekte edilen elektronlar ayırtedilemez olduğu için teorik modellemelerde her iki elektronun da katkısı hesaba dahil edilmektedir. Ayrıca, DDCS hesaplamalarında direkt, değiş-tokuş ve girişim etkileri de dahil edilmektedir. Bu nedenle, deneysel DDCS ölçümleri, teorik modellemeleri hassas olarak sınanması için önemlidir.

Elektron etkisi ile iyonlaşma olayı hakkında temel bilgileri veren ikili diferansiyel tesir kesiti (DDCS) ölçümleri literatürde çok daha enderdir. İlk metan molekülü DDCS çalışması, Opal vd. (1972) tarafından $E_0=500$ eV enerjili elektron etkisiyle metan molekülünün çarpışma deneyi üzerine yapılmıştır. Opal vd. (1972) farklı gazlar için DDCS ölçümü yapmışlardır. Metan ölçümleri 500 eV gelen elektron enerjisinde 30-150° açılarda yapılmıştır. Oda (1975) ise 500 ve 1000 eV gelen elektron enerjilerinde, 20-138° açılarda dağılımda DDCS ölçümleri yapmıştır (Şekil 2.12).



Şekil 2.12 $E_0=500$ eV elektron etkisiyle iyonlaşma olayında metan molekülü DDCS ölçümü (Oda 1975).

Üçlü diferansiyel tesir kesiti (TDCS), iyonlaşma olayı sonrası oluşan saçılan ve kopan elektronların her ikisinin de eş zamanlı olarak dedekte edilmesiyle, (e, 2e) çakışma deney tekniği ile, ölçülebilmektedir. Saçılan ve kopan elektronların momentumları belirlendiği için iyonlaşma olayının dinamiği ile ilgili en detaylı bilgiyi TDCS vermektedir ($d^3\sigma / dE_e d\Omega_s d\Omega_e$).

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 yüksek enerjilil gelen elektronlarla iyonlaşma potansiyelinin 20 katından daha fazla ve hedefe bağlı elektron arasında ikili çarpışma sonucu ürünleri dedekte ederek, hedefe bağlı elektronun momentum dağılımlarını ölçmüşlerdir. Bu tip çalışmalara elektron momentum spektroskopisi

(EMS) adı verilmekte ve hedefin yapısı hakkında bilgi edinmeyi amaçlamaktadır. Deneysel kinematiğe bağlı olarak TDCS ölçümlerinde, i) yapısal ii) dinamik, olmak üzere iki farklı amaçla ölçüm alınabilmektedir.

2.4.3.4 Elastik Saçılma ve Uyarma Tesir Kesiti Ölçümleri

Metan molekülünün hedef olarak kullanıldığı elektron saçılma deneyleri ve teorileri uzun yıllardan beri ilgi odağı olmuştur. Metan molekülünün hedef olarak kullanıldığı elektron saçılma deneyleri ve teorik modellemeleri elastik saçılma ve uyarma tesir kesiti konuları bu bölümde anlatılacaktır.

Elektron-metan molekülü çarpışmasıyla ilgili literatürün önemli bir kısmı düşük enerjide gelen elektronların metan molekülünden saçılması sonucu tesir kesitlerinde gözlenen bazı özel durumlardır. Bu durumlar; 0,4 eV enerjide gözlenen Ramsauer-Townsend minimumu ve yaklaşık 8 eV enerjide gözlenen karakteristik bir maksimumdur. Her iki yapı da deneysel olarak diferansiyel, toplam, kısmi ve integral tesir kesiti ölçümleriyle yoğun olarak incelenmiştir (Brode 1925, Brüche 1927, Brüche 1930, Ramsauer and Kollath 1930, Barbarito *et al.* 1979, Tanaka *et al.* 1982, Ferch *et al.* 1985, Jones 1985, Lohmann and Buckmann 1986, Sohn *et al.* 1986, Boasten and Tanaka 1991).

3. ELEKTRON-MOLEKÜL ÇARPIŞMA DENEY DÜZENEGİ

Bu bölümde elektron etkisi ile iyonlaşma deneylerinde kullanılan elektron spektrometresinin çalışma prensibi, bu spektrometreyi oluşturan parçalar ile bu parçaların özellikleri kısaca anlatılacaktır.

3.1 Deney Düzeneginin Yapısı

Elektron-atom/molekül çarpışma deneylerinde kullanılan bu deney düzeneği; vakum sistemi, elektron tabancası, hedef gaz kaynağı, Faraday elektron toplayıcısı (FET), elektron enerji analizörü, elektron detektörleri, sinyal işleme üniteleri (yüksekteç, gürültü ve zaman ayırd edici) ve elektronik bağlantılarından oluşmaktadır.



Şekil 3.1 e-COL'deki elektron- molekül çarpışma laboratuvarında bulunan elektron çarpışma deney düzeneğinin genel görünümü.

Afyon Kocatepe Üniversitesi Fizik Bölümü'nde, e-COL laboratuvarında bu çalışmanın yapıldığı deney düzeneğinin de olduğu elektron-molekül çarpışma laboratuvarının genel görünümü Şekil 3.1'de verilmiştir. e-COL Laboratuvarında bulunan deney düzeneklerinin yapıları ve çalışma prensipleri benzerdir ve önceki tezlerde ayrıntılı

olarak anlatılmıştır (Ulu 2007, Şişe 2011, Özer 2013, Yavuz 2013). Elektron- metan çarpışma deneyinin gerçekleştiği düzeneğin genel görünümü Şekil 3.2’de gösterilmiştir. Şekil 3.3 Elektron çarpışma deneyleri, iyi odaklanmış bir elektron demetinin dik doğrultuda gönderilen bir gaz demeti ile çarpıştırılması sonucu açığa çıkan parçacıkların enerji ve açılarına göre dedekte edilmesi ile elde edilen sinyalleri bilgisayar ortamına aktararak gerçekleştirilmiştir. Elektron demeti, belirli bir enerjiye sahip odaklanmış olarak elektron tabancasında üretilmektedir. Elektron kaynağı olarak hairpin tipi tungsten filament kullanılmıştır. Elektron tabancasından çıkan elektronlar, tabancanın tam karşısına yerleştirilen Faraday elektron toplayıcı (FET) ile toplanırlar. Çarpışma deneylerinin gerçekleşmesi için akım, $\sim 4 \mu\text{A}$ civarındadır. Hedef gaz, elektron tabancasından 50 mm uzaklıkta ve tabancaya dik doğrultuda olacak şekilde gönderilmektedir. Elektrostatik enerji analizörleri, belirli enerjiye sahip elektronları, enerjilerine göre ayırt etmek için kullanılırlar. Analizörler, beş lens elemanından oluşan giriş optiği, elektronların girişine odaklandığı yarıküresel deflektörler ve elektron çoğaltıcı dedektörlerden oluşmaktadır. Spektrometre parçaları elektrik ve manyetik alanlardan yalıtılmış genellikle paslanmaz çelikten yapılmış bir vakum odası içine yerleştirilirler (Şekil 3.2). Manyetik alan etkilerini azaltmak için mü-metal kılıf ve Helmholtz bobin çiftleri kullanılmıştır. Dedektörden gelen sinyalin işlenmesi ve spektrometre parçalarına istenilen gerilimin uygulanması için elektronik kontrol üniteleri kullanılmaktadır. Bu kontrol üniteleri, elektron demetinin üretiminde, çarpışma sonrası ortaya çıkan elektronların dedektöre yönlendirilmesinde, sinyal işleme ve veri analizinde kullanılan elemanları içermektedir.

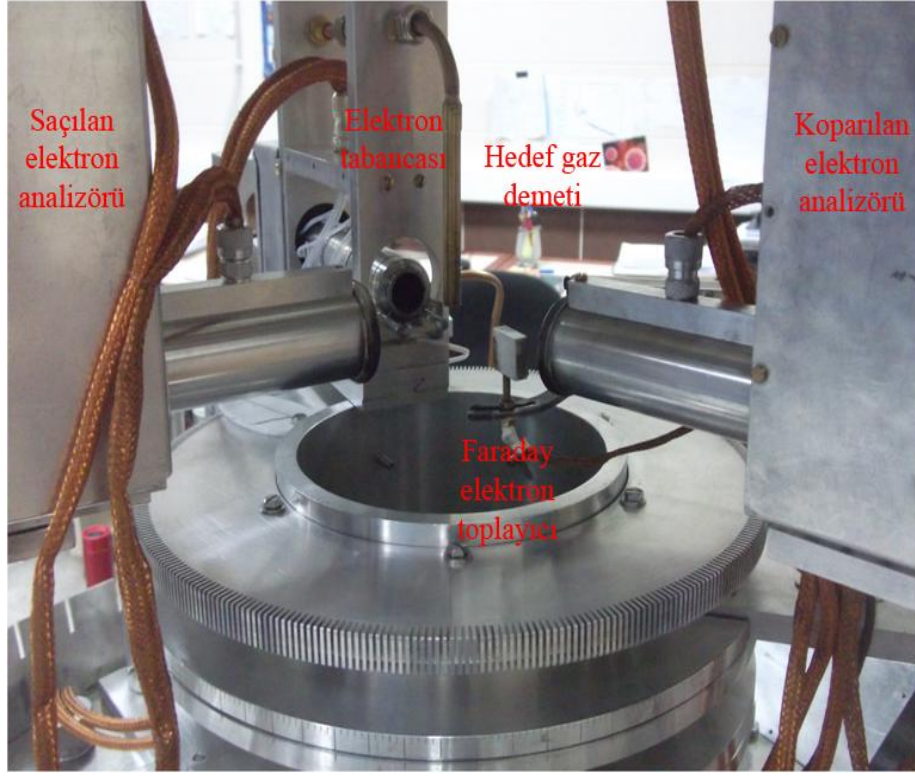
Elektron tabancası, iki enerji analizörü, Faraday elektron toplayıcı (FET), birbirinden bağımsız döner tablalar üzerine seviye ayarları yapılarak yerleştirilmişlerdir. Elektron tabancası, enerji analizörleri ve FET’in aynı düzleme yerleştirilebilmeleri için lazer kullanılmıştır. Vakum ortamı dışından bu döner tablalar hareket ettirilebilmektedirler. Düzeneğe ait parçalar birbirlerinin hareketlerini belirli açı aralıklarında sınırlamaktadırlar. Spektrometrede bulunan iki analizörden biri 5° - 30° açılar arasında, diğeri ise 25° - 130° açılar arasında hareket edebilmektedir. İki analizörün de kullanıldığı (e,2e) deneylerinde saçılma simetrisi kontrol edilebilmektedir. Analizörlerden bir tanesi saçılan diğeri ise koparılan elektronları dedekte etmek için kullanılmaktadır. Düşük

açılarda analizörlerin kullanılabilmesi için ikinci küçük FET kullanılmıştır. Bu sayede saçılan elektron analizörü olarak da adlandırılan A analizörünün tarayabildiği açı aralığı 15° daha artırılabilmiştir.



Şekil 3.2 Elektron- Metan çarpışma deney düzeneğinin genel görünümü.

Elektron-atom/molekül çarpışmalarında atom ve moleküllerin yapısı, çarpışma sonrası açığa çıkan parçacıkların dedekte edilmesiyle açıklanabilir. Bunun için ideal olan, ortamda sadece incelenmek istenen atomun ya da molekülün bulunmasından emin olmaktır. Böyle bir ortamı oluşturabilmek için spektrometre parçalarının bir kısmını vakum odası içine yerleştirilir. Deney süresince vakum odası pompa sistemi yardımıyla boşaltılır. Aynı zamanda ölçüm alınmak istenen hedef gaz demeti çapı sabit tutularak vakum odası içine gönderilmekte ve ortamın basıncı sabit tutulmaktadır.



Şekil 3.3 Elektron çarpışma e-COL laboratuvarındaki elektron spektrometresinin açık durumda parçalarının tanımlı fotoğrafı. İki elektron enerji analizörü ve Faraday elektron toplayıcı döner tablalar üzerine yerleştirilmiştir.

Vakum odasında elektron spektrometresi Şekil 3.4’de görüldüğü gibidir. Bağlantı flançları ile alt kısma yerleştirilen Turbo moleküler pompa ve destek pompası vakum odasının basıncını yaklaşık olarak 8×10^{-8} mbar’a kadar düşürmektedir. Deneyde düşük basınçlara inebilmek için iki aşamalı bir pompa düzeneği bulunmaktadır. Destek pompa (Backing pump) olarak mekanik (Rotary) pompa, yüksek vakum pompası olarak da turbo moleküler pompa (TMP) kullanılmaktadır. TMP, mekanik pompayla birlikte alt tablada bulunan bir flanca monte edilmiştir. Mekanik pompa boşaltma işlemini başlatmakta ve ardından turbo pompanın devrini almasıyla (833 Hz) vakum işlemi sürekli olarak devam etmektedir. İçeriye hedef gazın verilmesiyle birlikte çalışma basıncı $\sim 10^{-6}$ mbar civarına çıkdıktan sonra bu değerde sabit kalmaktadır. Basınç ölçümü bir basınç ölçer ile yapılmaktadır. Basıncın görüntülenmesi için yine bu basınç ölçere bağlanan bir dijital göstergeden (Pfeiffer TPG252A) faydalanılmaktadır. Vakum odasını kapatan yukarı-aşağı yönde açılabilen vakum çemberi üzerinde dışarıdan

spektrometre parçalarının açılmal konumlarını gözlemlenmesini sağlayan bir adet gözlem penceresi bulunmaktadır.

Manyetik alanların varlığı düşük enerjili elektronların yörüngesinde değişikliğe sebep olur. Bu sebeble çarpışma bölgesinde, dışarıdan gelen manyetik alan etkileri en aza indirilmeye çalışılmıştır. Dış çemberin içersine ve alt tablaya μ -metalden yapılmış ikinci bir çember yerleştirilmiştir. Yerleştirilen μ -metal çember, çarpışma bölgesini manyetik alan etkilerinden izole etmektedir. Ayrıca dünyanın dış manyetik alanın etkisini azaltmak için de X, Y ve Z yönlerine Helmholtz bobinleri yerleştirilmiştir.

Şekil 3.4’de basınç ölçüm cihazları ile birlikte Turbo moleküler ve mekanik pompanın basınç ölçüm cihazlarına bağlı elektron çarpışma deney düzeneği gösterilmektedir.



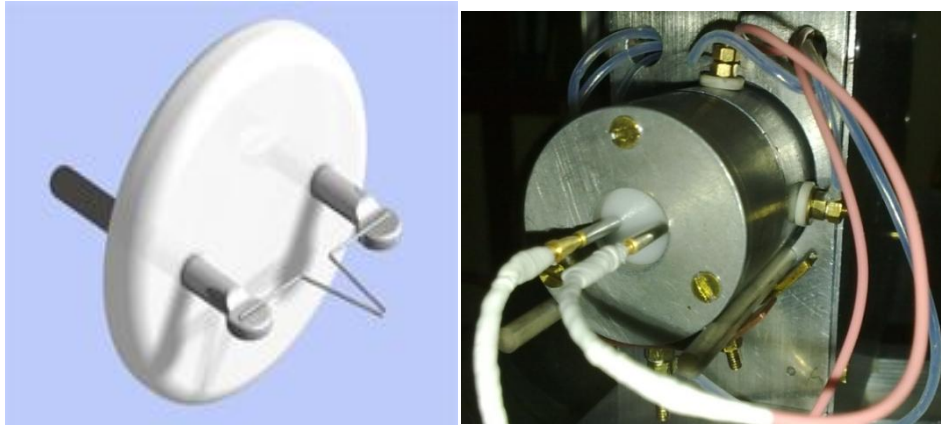
Şekil 3.4 Turbo moleküler ve mekanik pompalar, basınç ölçüm-görüntüleme cihazları ve bağlantılarının birlikte bulunduğu istasyonun yakından görünümü.

Elektron-atom/molekül çarpışmasının gerçekleştiği deneylerde öncelikle yüksek akımlı (~1-10 μ A) bir elektron tabancası ile çok iyi odaklanmış bir elektron demeti oluşturulmalıdır. Spektrometrenin önemli parçalarından biri olan elektron tabancası

elektron demetinin üretildiği bölümdür. Yüksek akımlı bir elektron tabancasında üretilen elektron demetinin daha iyi bir deney yapılabilmesi için uzun zaman aralıklarında sabit kalması (6-12 ay) ve gaz demetinin merkezine doğru iyi bir şekilde odaklanması istenmektedir. Spektrometrenin çözünürlüğünü arttırarak daha doğru deneysel sonuçlar elde etmek için yüksek enerjili ve kararlı bir elektron demeti üretilmelidir (Ulu vd. 2007, Dogan vd. 2007, Doğan ve Crowe 2002).

Elektron tabancası temelde üç kısımdan oluşmaktadır. Bunlar, *i*) elektron üretimini gerçekleştiren tungsten filament (katot) bölgesi, *ii*) demetin odaklanma ve yönlendirilmesini sağlayan elektrostatik lens sistemi ve *iii*) demetin açisal dağılımını belirleyen delikli (aperture) disklerdir. Ayrıca demetin eksensel olarak kaymasını engellemek için X ve Y yönlerinde deflektörler kullanılmaktadır (Ulu vd. 2007).

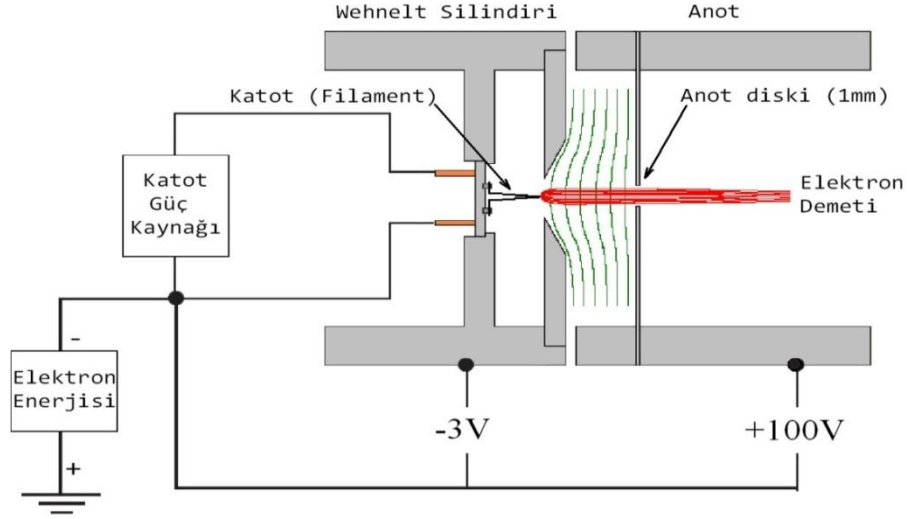
Elektron tabancası tasarımlarında başlangıç noktası katot bölgesidir ve bu bölge elektronların üretildiği bölümdür. Elektron tabancasında elektron kaynağı olarak, rezistif olarak ısıtılarak termiyonik emisyon gerçekleştiren tungsten hair-pin tipi filament kullanılmıştır (Şekil 3.5). Tungsten filament, maksimum performansa ulaşması için belirli periyotlarla akımı arttırılarak ısıtılır.



Şekil 3.5 Hairpin tipi filament ve filamentin elektron tabancasına yerleştirilmiş halinin görüntüsü

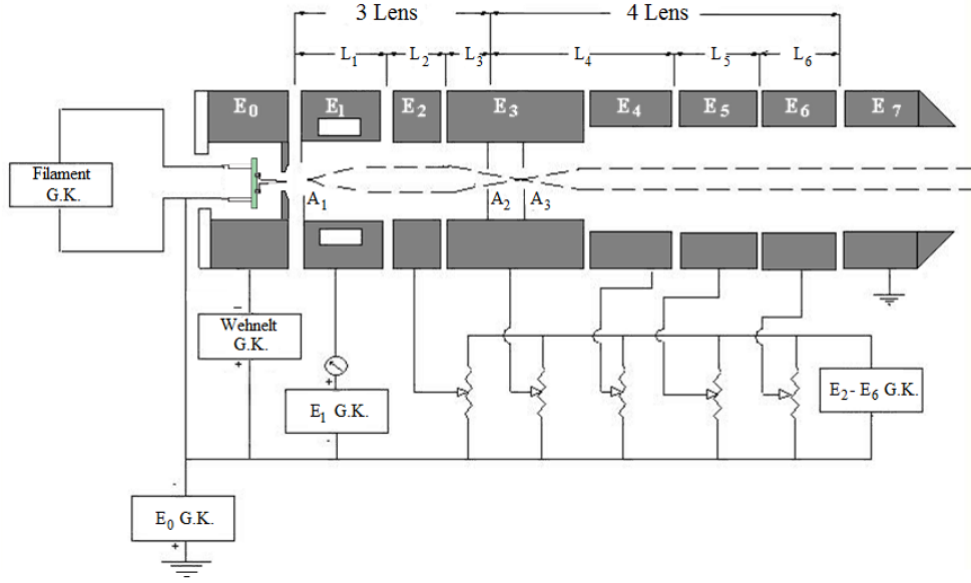
Elektron tabancalarında tungsten filament Şekil 3.6'da gösterildiği gibi bir Wehnelt elektrodunun içine ve bir anot elektrotu ile arasında belirli bir mesafe kalacak şekilde yerleştirilir. Katot bölgesinde filamentten üretilen elektronlar Wehnelt elektrotu

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 (Şişe 2011).



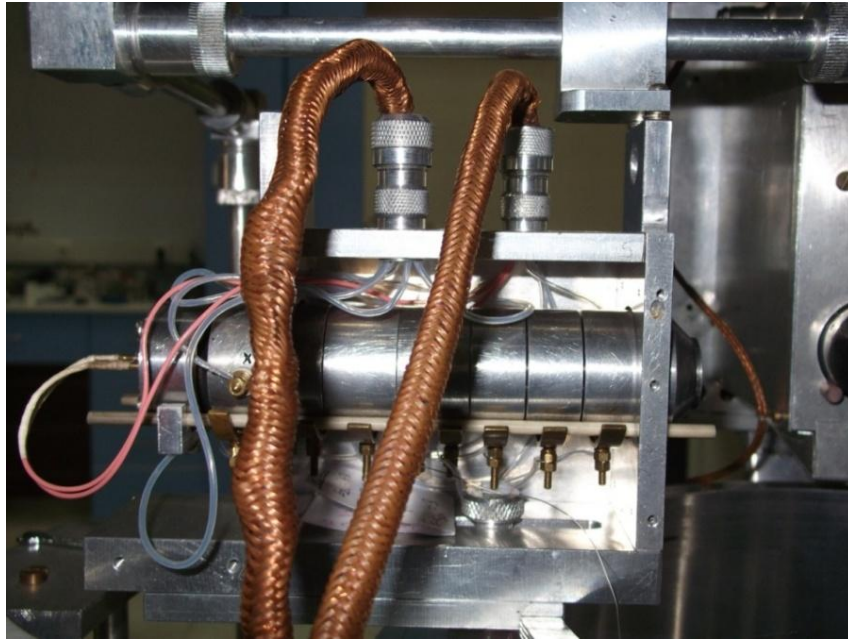
Şekil 3.6 Katot, Wehnelt elektrotu ve anottan oluşan üçlü sistemde elektron emisyonu ve odaklanmasının gösterimi (Şişe 2011).

Şekil 3.7’de elektron tabancasında kullanılan lens elemanları için gerilim bölücü ve güç kaynaklarının elektrik bağlantıları görülmektedir. Filament, E_0 lens elemanın içerisine yerleştirilmiş anoda göre negatif gerilimde tutulmuş ve elektron tabancasının son elemanı E_7 topraklanmıştır. Bunun sebebi ise sadece E_0 lens elemanının potansiyeli ile elektron demetinin enerjisinin belirlenmesidir (Doğan vd. 2013)



Şekil 3.7 Elektron tabancasında kullanılan lens elemanları için gerilim bölücü ve güç kaynağı bağlantıları (Dogan vd. 2013).

Şekil 3.8’de elektron tabancasını oluşturan elektrostatik lens elemanları ve elektrik bağlantıları görülmektedir. Elektron tabancasının elektrik bağlantı kablolarının vakum çemberi dışına bağlantısı bağlantı flançları ile yapılmıştır. Elektrotların Şekil 3.9’da gösterilen elektrik kontrol kutusu kullanılarak voltaj gereksinimleri sağlanmıştır. Elektron tabancası spektrometrenin ana gövdesine sabitlenmiştir.



Şekil 3.8 Vakum sistemi içerisindeki elektron tabancasının görünümü.

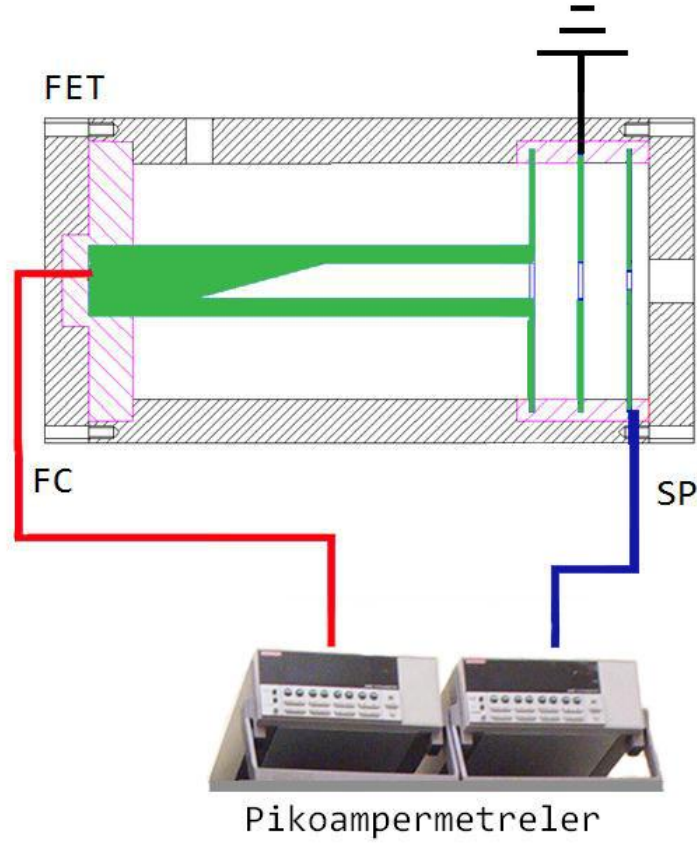
Şekil 3.9’da elektron tabancasının kontrol ünitesi verilmiştir. Tabancanın lens voltajları kutuların dışındaki potansiyometreler yardımı ile ayarlanmakta ve okunmaktadır.



Şekil 3.9 Elektron tabancası kontrol ünitesi.

Deney sırasında elektron demeti sürekli olarak Faraday Elektron Toplayıcı (FET) tarafından toplanmaktadır. Sisteme hedef gaz demeti verilmeden önce elektron tabancasının tam karşısına yerleştirilen FET, elektron demetinin çapını ve akımını belirlemektedir. 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.

Şekil 3.10’da Faraday elektron toplayıcısının şematik çizimi verilmektedir. Faraday elektron toplayıcısında üç elektrot bulunmaktadır. İlk elektrot, odaklanmadan gelen elektronlar Splash plakası, (Splash Plate-SP) olarak adlandırılan ve 2 mm çapında bir delikten geçerler. FET girişine odaklanamayan elektronların oluşturduğu akım, plakaya bağlanan pikoampermetre ile ölçülür. İkinci elektrot, Faraday elektrodu (Faraday Cup-FC) olarak adlandırılır ve 3 mm bir deliğe sahip olup silindir şeklindedir. FC ve SP arasında da 5 mm çapında deliğe sahip topraklanmış elektrot vardır. Bu FC ve SP elektrotlarından ölçülen akımlar, demetin odaklama kalitesi ve akımı hakkında bilgi vermektedir.



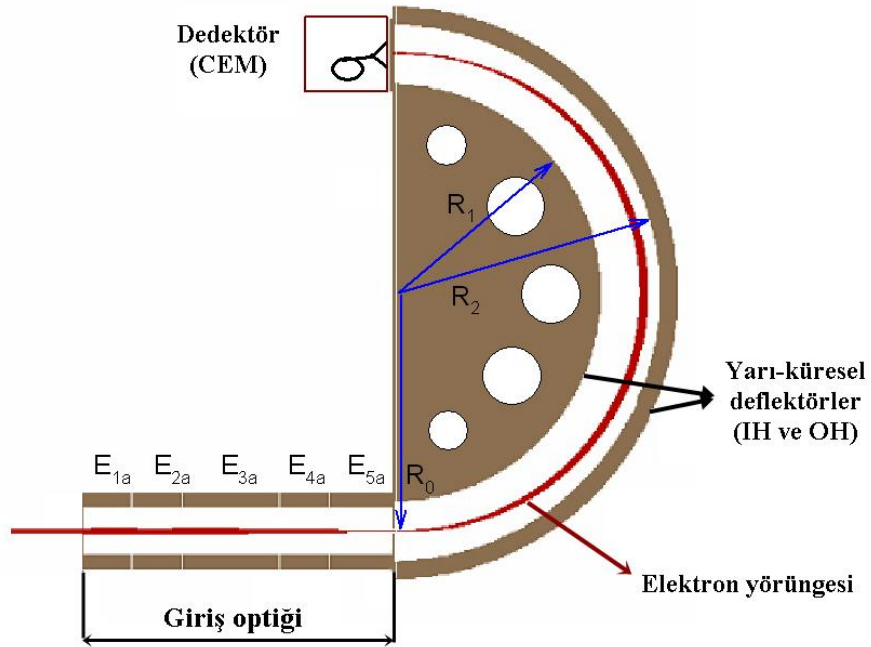
Şekil 3.10 Faraday elektron toplayıcının şematik çizimi ve pikoampermetrelerin bağlanması. SP; Splash plaka FC ve FET;Faraday elektron toplayıcı plakaları simgelemektedir.

Çarpışma deneyi sırasında, elektron tabancasından gelen elektronlar çarpışma sonucunda küresel olarak her yöne saçılırlar. Enerji analizörü bu saçılan ve iyonlaşan elektronların belli bir açıda ve istediğimiz enerjide olanlarını CEM'e (Channel Electron Multi Player- Tek Kanallı Elektron Çoğaltıcı) ileterek dedekte eder. Bu çalışmada kullanılan deney düzeneğinde 180° yarıküresel enerji analizörleri (HDA) bulunmaktadır. Yapılan birçok deneysel ve teorik çalışmalarda 180° yarıküresel analizörlerin diğer analizör tiplerine göre daha yüksek çözünürlük değeri verdiği gösterilmiştir. Çarpışma olayının düzlemsel geometride iyonlaşma olaylarının incelendiği durumda, enerji analizörleri elektron tabancası ve Faraday elektron toplayıcısı ile aynı düzlemde, döner tablalar üzerinde hareket edebilecek şekilde lazer ile kontrol edilerek yerleştirilir.

Bir yarıküresel enerji analizörü temel olarak üç kısımdan oluşmaktadır (Ulu 2007, Şişe 2011). İlk girişte bulunan elektrostatik lens kısmı; etkileşme bölgesinden çıkan elektronların analizörün girişine odaklanması ve çıkış enerjisini ayarlar. Giriş lensinin

çıkışına yerleştirilen iki yarıküresel elektrottan oluşan deflektör, ikinci kısmıdır.

Yarıküresel elektrotlar arasında oluşturulan elektrik alan ile elektronlar deflektörün çıkışına doğru 180° döndürülerek odaklanırlar. İç ve dış yarıkürelere uygulanan voltajlar sayesinde sadece istenilen enerjideki elektronları CEM'e ulaştırır. Ayarlanan enerjiden az enerjili olan elektronlar iç yarıküreye, enerjisi fazla olan elektronlar ise dış yarıküreye çarparak çıkışa ulaşamazlar. Son kısımda yarıküresel deflektörün çıkışına yerleştirilen dedektör bulunmaktadır. Burada kullanılan CEM sayesinde dedekte edilen elektronlar çoğaltılarak bir sinyal elde edilir (Şekil 3.11)

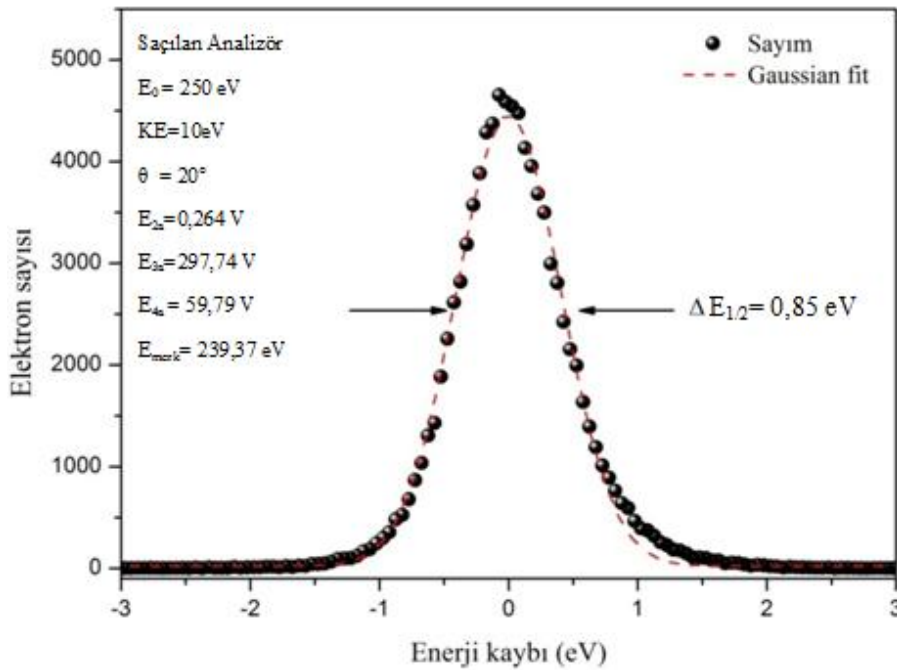


Şekil 3.11 Elektron analizörü ve giriş optiğinin SIMION programında elde edilen kesit görünümü (Yavuz 2013)

Elektron tabancası ve elektron enerji analizörlerinin toplam enerji çözünürlüğü, elastik saçılma sonucu elastik saçılma spektrumunun yarı yükseklikteki tam genişliği alınarak elde edilmektedir. Deneysel olarak, dedekte edilen elektronlar belirli bir enerji dağılımı göstermektedir (ΔE). Bu dağılım ise bize sistemin toplam enerji çözünürlüğünü vermektedir. Elastik saçılma olayını gözlemlerken elektron tabancası ve enerji analizöründe çözünürlüğü etkilemektedir. Sistemin toplam çözünürlüğü elektron tabancası ve enerji analizörünün enerji dağılımları,

$$(\Delta E_{top})^2 = (\Delta E_{tab})^2 + (\Delta E_{an})^2 \quad (3.1)$$

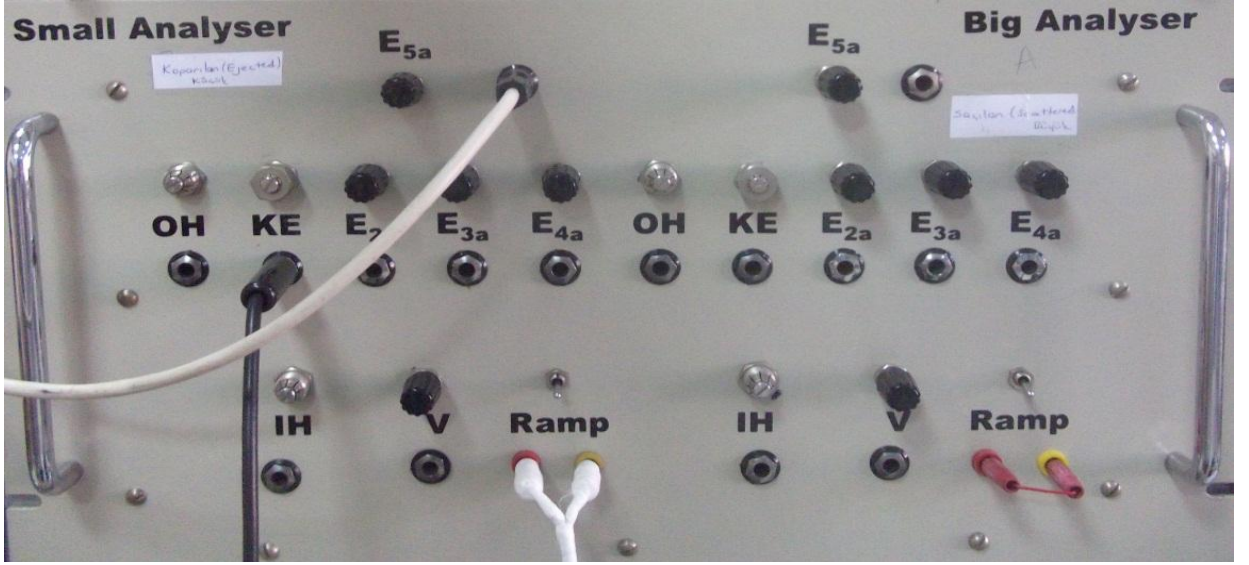
denklemleri ile ifade edilebilir. Tipik bir elektron saçılma deneyinde 10 eV uçuş enerjisi için sistemin toplam enerji çözünürlüğü, ΔE , ~0,85 eV değerinde ölçülmüştür. Şekil 3.12’de $E_0=250\text{eV}$ gelen elektron demeti için analizör açısı 20° de ve elektronların kinetik enerjisi 10 eV iken elastik pikin yarı genişliği analizörün enerji çözünürlüğünü göstermektedir.



Şekil 3.12 Metan molekülünde alınan örnek bir elastik saçılma piki. Gelen elektron demetinin enerjisi, $E_0=250\text{eV}$ ve uçuş enerjisi, $KE=10\text{eV}$ için enerji dağılımı $\Delta E=0,85\text{eV}$ olarak ölçülmüştür.

Şekil 3.13’de enerji analizörlerinin giriş lens optiklerinin ve iç-dış kürelerinin voltaj değerlerinin hassas ayarının yapıldığı elektronik kontrol kutusu görülmektedir. e-COL Laboratuvarında yapılan tüm deneysel çalışmalar aynı çalışma prosedürüne uygun olarak gerçekleştirilmektedir.

Dedektörden alınan her bir sinyal, belirli bir enerjiyle belirli bir açıda saçılmış bir elektronu temsil etmekte ve sayılmaktadır. Zaman analizinin yapıldığı (e, 2e) uygulamalarında ise aynı zamanda birden fazla sinyal arasındaki zaman korelasyonu analiz edilmektedir.



Şekil 3.13 Enerji analizörlerinin elektronik kontrol kutusu

Dedektör çıkışındaki sinyal ~ 20 mV genliğe ve ~ 10 ns genişliğe sahiptir. Bu sinyal yükseltilmekte, sayısallaştırılmakta, zaman veya enerjisine göre analiz edilmektedir. Bu işlemler NIM (Nuclear Instrumentation Module) cihazları ve veri toplama ünitesi olarak kullanılan bilgisayarlar yardımı ile yapılmaktadır. Şekil 3.14'te deney düzeneğinde kullanılan sinyal işleme ünitesinin görünümü verilmiştir.



Dedektör Güç Birimleri Yükseltici Ayırıcı Zaman-Genlik Dönüştürücü Sayıcı ve Zamanlayıcı Dedektör Gerilim Besleme Güç Kaynağı

Şekil 3.14 Sinyal işleme ünitesi.

3.2 Deney Düzeneginin Kalibrasyonu

DDCS ölçümleri alınmadan önce sistemin güvenilirliğinin test edilmesi için enerji kayıp spektrumu alınmış ve elastik piklerin açığa bağımlılığı incelenerek elastik diferansiyel tesir kesitleri (DCS) elde edilmiştir. Bu tür deneylerde aynı kalibrasyon prosedürleri izlenmektedir (Yavuz 2013).

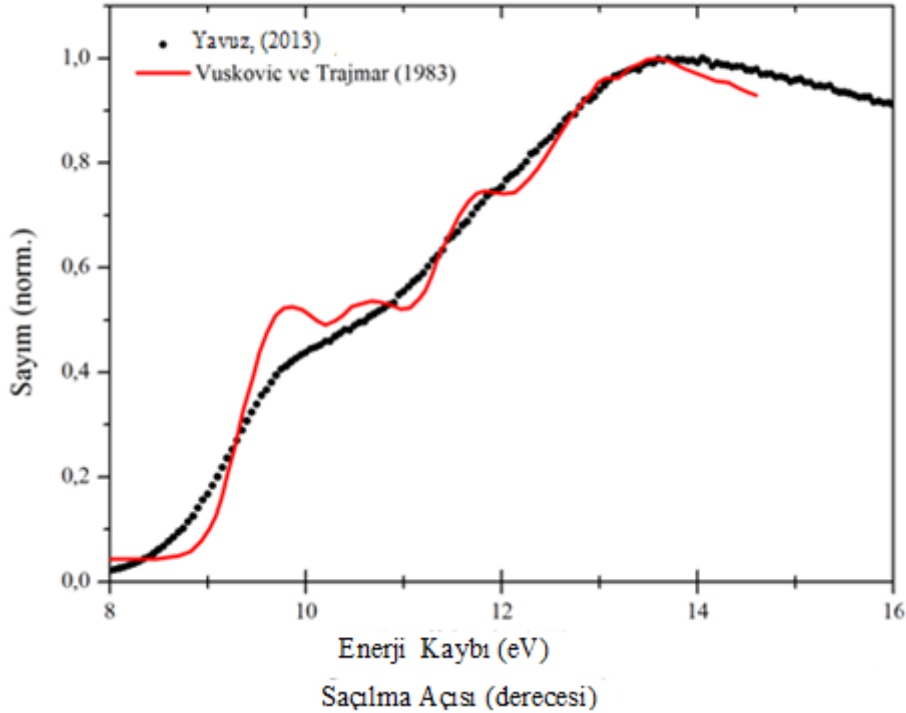
Elektron çarpışma deneylerinde, çarpışma sonucu oluşan parçacıklar dedekte edilerek çarpışma olayı ve hedef gaz hakkında bilgiler alınmaktadır. Bu deneysel çalışmalar sadece hedef gazdan koparılan elektronlarla ilgilenildiğinden dolayı vakum ortamında gerçekleştirilir. Spektrometre parçalarının çemberin içinde bulunan kısmı için vakum basıncının sabit olması gerekmektedir. Ölçümler sırasında vakum değeri hedef gaz molekülü açık iken 5×10^{-6} mbar seviyesinde sabitlenmiştir.

Elastik DCS ve DDCS ölçümlerinde sistemdeki analizörlerden birisi kullanılır. Bu çalışmada (e, 2e) deneylerinde koparılan elektron için kullanılan analizör ile ölçümler alınmıştır. Analizör; $\theta = 25^\circ - 130^\circ$ arasındaki açı değerlerinde ölçüm alabilmektedir. Elastik DCS ve DDCS spektrumları, analizörün belirli enerjideki elektronları dedekte edecek şekilde ayarlanmış ve döner tablalar üzerinde çarpışma bölgesi etrafındaki hareketi ile açısal dağılımın belirlenmesi sonucu kaydedilmiştir. Enerji kayıp spektrumu ve elastik saçılma (DCS) tesir kesitleri sıkça çalışılan konular olduğu için karşılaştırma yapılabilecek deneysel ve teorik sonuçlar verilmiştir.

İkili diferansiyel tesir kesiti (DDCS) ile ilgili literatürdeki çalışmalar sınırlıdır. Gelen elektron enerjisi (E_0), 500 ve 1000eV olan sadece iki çalışma bulunmaktadır (Opal *et al.* 1972, Oda 1975). Bu tez çalışması kapsamında $E_0=50-150$ eV enerji aralığında ilk defa DDCS spektrumları açısal dağılıma göre koparılan elektronun düşük enerjili olduğu durumlar için alınmıştır. Dolayısıyla literatürde karşılaştırma yapılacak sonuç bulunmamaktadır. Alınan DDCS sonuçları, tartışma ve sonuç bölümünde açıklanacağı gibi, genel beklentilere uygundur.

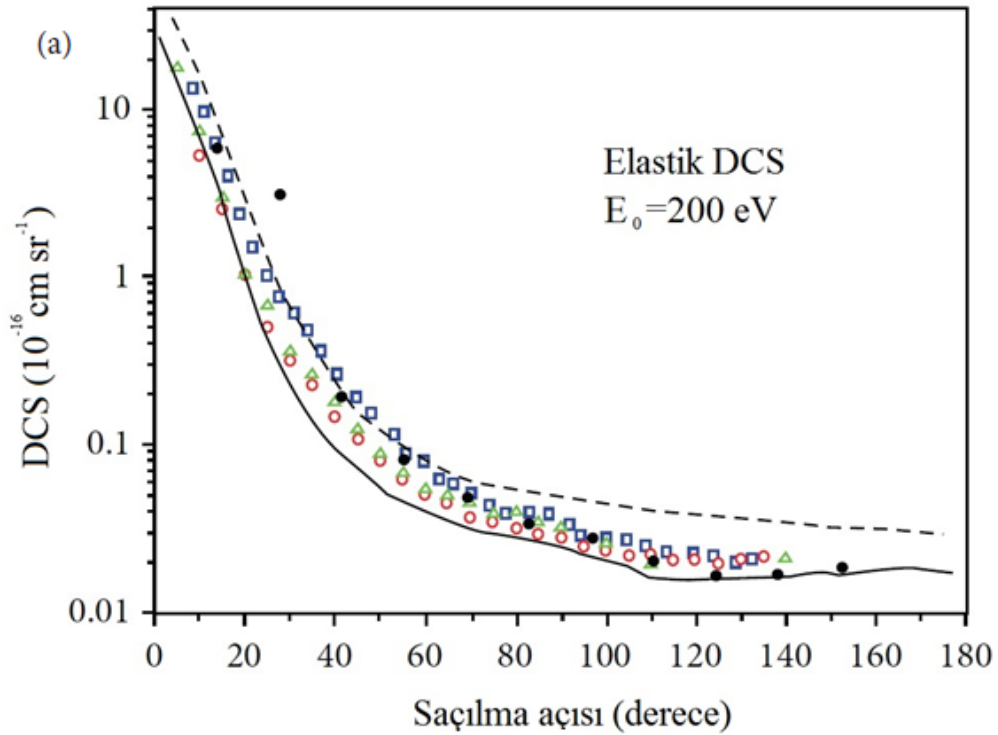
3.2.1 Enerji Kayıp Spektrumu ve Elastik DCS Ölçümleri

Enerji kayıp spektrumu, gelen elektron demetinin inelastik çarpışması sırasında, metan molekülünü uyararak saçılması durumunda elde edilir. E_0 enerjili gelen elektron, enerjisinin bir kısmını moleküle aktarır, gelen elektronun kaybettiği bu enerji, uyarılma enerji seviyeleri arasında geçişe neden olur. MCS (Çok Kanallı Sayıcı, Multi Channel Scaler) kartı yardımıyla molekülün iyonlaşma potansiyelinden küçük enerji transferine karşılık gelecek şekilde enerji kayıp spektrumu elde edilir. Şekil 3.15’de gelen elektronun enerjisi, $E_0=250$ eV iken alınan enerji kayıp spektrumu gösterilmektedir. Deneysel olarak alınan ölçümler, Vuskovic ve Trajmar (1983) tarafından alınan ölçümlerle karşılaştırılmıştır (Yavuz 2013). Deneysel ve teorik ölçümlerin uyumluluğu, spektrometrenin güvenilir çalışabildiğinin ispatıdır. Fakat elektronik uyarılma seviyelerinin net bir şekilde ayırt edilememesinin nedeni kullanılan spektrometrenin çözünürlüğünün hassasiyeti ile ilişkilidir. Enerji kayıp spektrumunda görüldüğü gibi, CH_4 molekülünde $1t_2$ orbitalinin bağlanma enerjisi olan $E_b=14,25$ eV’den sonra spektrumda düz bir yapı görülmektedir.



Şekil 3.15 CH_4 molekülünde $E_0=250$ eV için alınan enerji kayıp spektrumu (Yavuz 2013).

Gelen elektronun metan molekülüne enerji aktarmadan, elastik saçıldığı durumlarda saçılan elektronların açısal dağılımı elastik diferansiyel tesit kesiti (elastik DCS) ile elde edilmektedir. Açısal değişime hassas olan bu dağılım, gösterdiği tepe ve dip gibi karakteristik yapıları anlayabilmek oldukça önemlidir. Bu karakteristik yapılar, literatürde düşük enerjili elektronlar için gözlenmiştir (Iga *et al.* 2000). Bu çalışmada kullanılan deney düzeneğinde alınan 200 eV enerjide elastik DCS sonuçları literatüre ile karşılaştırılmalı olarak Şekil 3.16’da verilmiştir. Elde edilen sonuçların literatürle uyumu deney düzeneğinin güvenilir şekilde çalıştığını göstermektedir (Yavuz 2013).



Şekil 3.16 Metan molekülü için 200 eV enerjide elastik DCS. Dolu daireler deneysel sonuçlar; açık daireler Iga *et al.* (2000) deneysel verileri; açık kareler, Vuskovic and Trajmar (1983) deneysel verileri; açık üçgenler, Sakae *et al.* (1989) deneysel verileri; düz çizgi Iga *et al.* (2000) teorik sonuçları; kesik çizgi, Dhal *et al.* (1979) teorik sonuçlarıdır (Yavuz 2013).

4. BULGULAR

İkili diferansiyel tesir kesiti (DDCS) verileri teorilerin test edilmesi açısından önemli bilgiler içerir. Yavuz (2013), 50-350 eV aralığındaki enerji değerlerine sahip elektron demeti ile metan gaz molekül demetinin çarpışması sonucu açığa çıkan, yüksek enerjili koparılan elektronların açısal değişimlerini incelemiştir. Bu çalışmada ise metan molekülünden 50, 100 ve 150 eV enerjili gelen elektronlar ile çarpışarak kopan düşük enerjili elektronların açısal dağılımları elektron spektrometresi ile incelenmiştir.

4.1 Metan Molekülünün İkili Diferansiyel Tesir Kesitleri (DDCS)

İyonlaşma olayı, gelen elektronun, çarpışma sonucu hedef molekülün elektronlarını koparacak kadar enerji aktardığı durumlarda meydana gelmektedir. Bir elektronun koparıldığı tekli iyonlaşma olayında, saçılan ve koparılan olmak üzere iki elektron meydana gelmektedir. Bu elektronlar özdeş olduklarından ayırt edilemezler. İkili iyonlaşma tesir kesiti (DDCS) ölçümlerinde, çarpışma sonucu çıkan elektronlardan bir tanesinin enerji ve açısal dağılımı ölçülmektedir. Bu nedenle ölçülen elektronlardan hangisinin koparılan hangisinin saçılan olduğu bilinemez Ancak DDCS verileri incelenerek saçılma ya da iyonlaşma olayının baskın olduğu söylenebilir.

DDCS çalışmalarında, çıkan elektronlardan birinin ölçülmemesine rağmen bu tip diferansiyel tesir kesitlerinin ölçümünden iyonlaşma mekanizması hakkında temel bilgiler elde edinilebilmektedir. Bu tür deneylerde ölçülmeyen elektronun enerjisi sabit alınır. Böylece DDCS, detekte edilen diğer elektronun enerji ve saçılma açısının bir fonksiyonu olarak ifade edilir. Bu çalışmada, tek bir analizör ile ölçülen elektronun enerjisi sabit tutulmuş ve elektron sayımları açığa bağlı olarak alınmıştır. Elektron spektrometresindeki FC ve elektron tabancasının açısı kısıtlamasından dolayı açısal daılım aralığı 25° - 130° arasında alınabilmektedir. Detekte edilen elektron enerjileri 5 eV'den başlanılarak 50 eV'ye kadar değiştirilmiştir. Böylece düşük enerjili çıkan elektronların açısal dağılımları incelenmiştir.

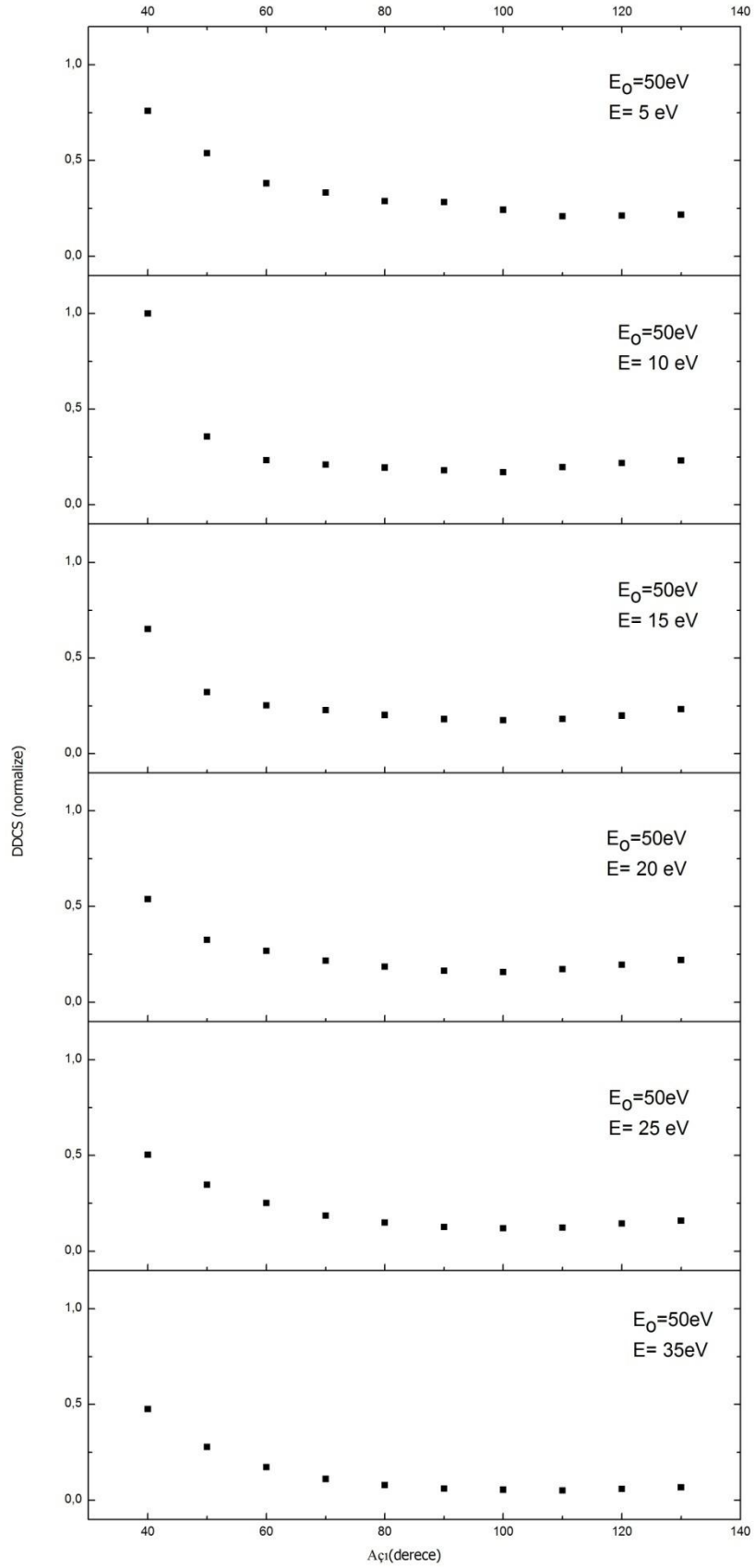
Elektron saçılma deneylerinde gelen elektronun enerjisinin iyonlaşma potansiyeline yakın olduğu durumlar düşük enerjili iyonlaşma potansiyelinden 10 kat kadar olduğu

durumlar orta enerjili, 10 katından daha fazla olduğu durumlar ise yüksek enerjili çarpışmalar olarak ele alınmaktadır (Chaudry and Kleinpoppen 2011). Bu çalışmada, 50, 100 ve 150 eV orta enerjili elektronlar kullanılmış ve genel olarak açı ile azalan DDCS spektrumları gözlenmiştir (Şekil 4.1-Şekil 4.3). Her üç enerjide de, yaklaşık 100° saçılma açısında bir dip yapısı gözlenmektedir ve düşük dedekte enerjilerinde bu minimum daha belirgindir.

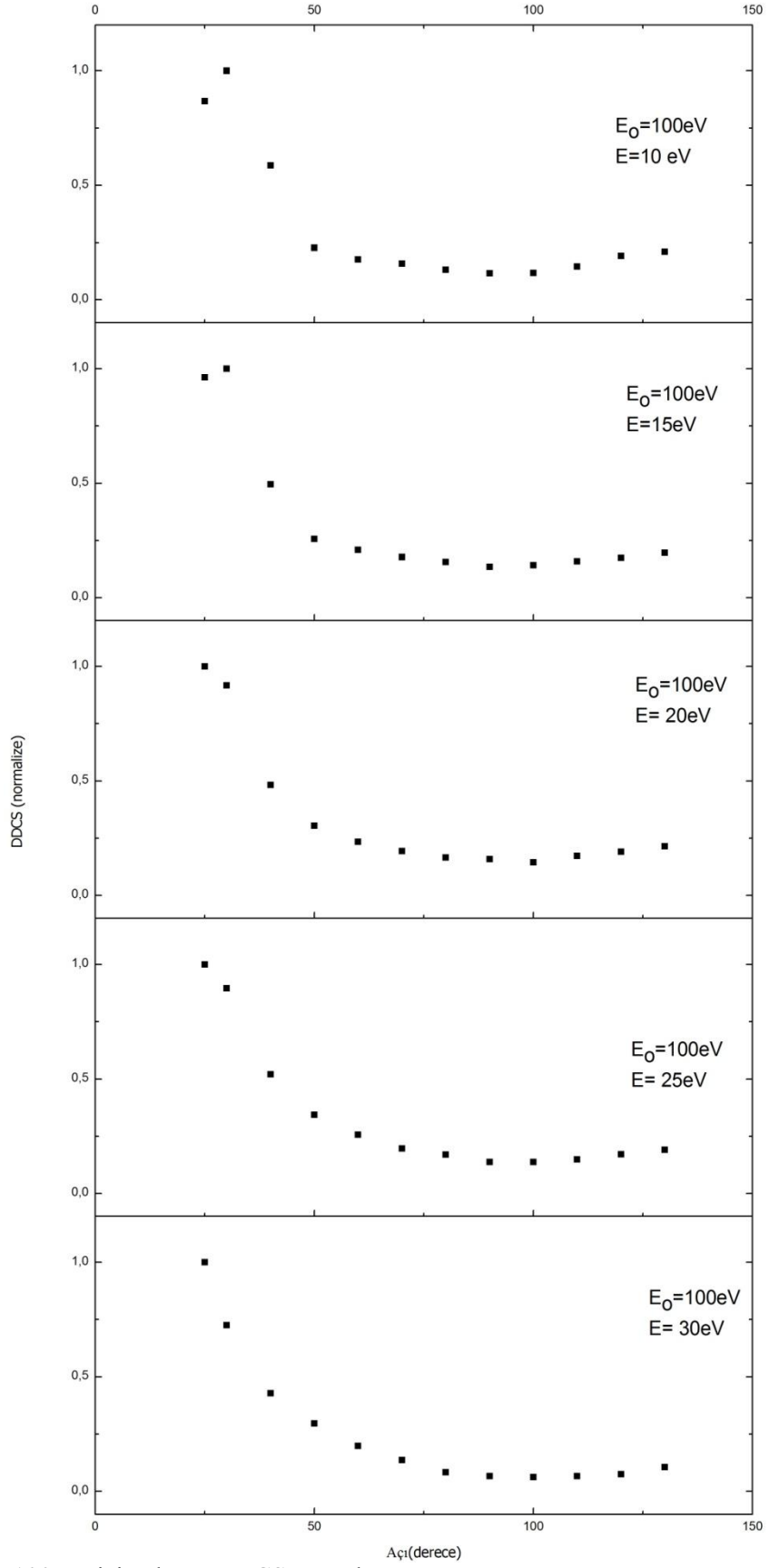
Şekil 4.1’de $E_0=50$ eV enerjili gelen elektronlar için enerjileri 5, 10, 15, 20, 25 ve 35 eV olan çarpışmadan çıkan elektronlar (saçılan ve kopan) dedekte edilmiştir. Tüm enerjiler için düzenli azalan bir eğri yapısı gözlemlenmektedir. Düşük enerjili elektronların molekülden ileri yönde (küçük açılarda) saçıldıkları sonucuna varılmıştır.

Şekil 4.2’de $E_0=100$ eV enerjili gelen elektronlar için enerjileri 10, 15, 20, 25 ve 30 eV olan çarpışmadan çıkan elektronlar dedekte edilmiş ve açığa göre değişimleri gösterilmiştir Şekil 4.2’de Şekil 4.1’den farklı olarak 10, 15, 20 ve 25 eV enerjili elektronlar için küçük açılarda pik görülmektedir. Bu pikler iyonlaşma olayının küçük açı ve enerjilerde baskın olduğunu göstermektedir. Büyük açı bölgesinde $E_0=50$ eV için olduğu gibi saçılan elektronların daha baskın olduğu yani geri yönde saçıldıkları sonucuna varılmıştır.

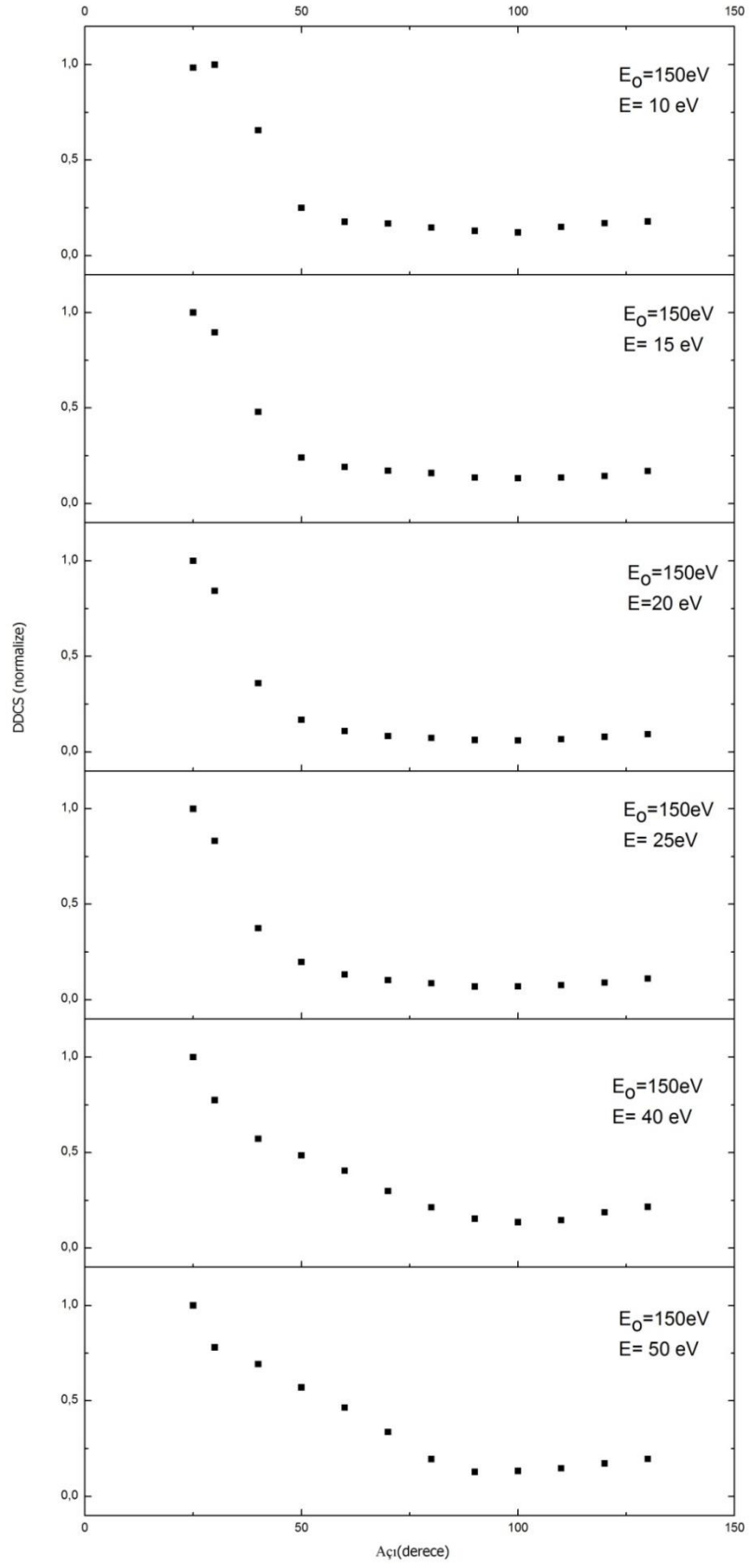
Şekil 4.3’de $E_0=150$ eV enerjili elektronlar için 10, 15, 20, 40 ve 50 eV enerjili çıkan elektronların ikili diferansiyel tesir kesitleri verilmiştir. Şekil 4.2’de dedekte edilen küçük enerjili elektronlarda olduğu gibi ileri yönde iyonlaşma pikleri gözlenmektedir. Yine beklentilerle uygun olarak 50°’den büyük açılarda saçılan elektronların baskın olduğu görülmektedir. Ancak dedekte enerjisi 40 ve 50 eV olan grafiklerde düzgün azalan yapı 40°-75° aralığında bozulmuştur. Bunun sebebi tartışma bölümünde verilecektir.



Şekil 4.1 $E_0=50 \text{ eV}$ için alınan DDCS sonuçları.



Şekil 4.2 $E_0=100 \text{ eV}$ için alınan DDGS sonuçları.



Şekil 4.3 $E_0 = 150 \text{ eV}$ için alınan DDCS sonuçları

5. TARTIŞMA ve SONUÇ

Enerji kayıp spektrumu ve elastik saçılma tesir kesiti ölçümleri, DDCS ölçümleri alınmadan önce enerji ve açı kalibrasyonu amaçlı kullanılmıştır. Alınan ölçüm sonuçlarına göre, DDCS ölçümlerini alırken deneysel olarak herhangi bir açısal düzeltme gerek görülmemiştir. Enerji kayıp spektrumundan belirlenen 1,1 eV enerji kayması DDCS ölçüm sonuçlarında hesaba katılmış, gerekli düzeltmeler yapılmıştır.

İkili diferansiyel tesir kesiti ölçümlerinde elektronların saçılan ya da koparılan olduğu bilinmediğinden ayırt edilemezler. DDCS spektrumlarında saçılma olayının baskın olduğu durumlarda, açığa göre tesir kesitinde üstel azalma beklenmektedir. İyonlaşma olayının baskın olduğu durumlarda ise, tesir kesitinde pik gözlenmesi beklenmektedir. Alınan DDCS spektrumlarında beklentilere uygun olarak, saçılma ve iyonlaşma etkileri gözlenmiştir. Şekil 4.2 ve 4.3' te 100 ve 150 eV enerjili elektronlar için elde edilen grafiklerde 20°- 40° açı aralığında küçük dedekte enerjilerinde iyonlaşma pikleri gözlenmiştir.

Şekil 4.3'te 40 ve 50 eV dedekte enerjilerinde elde edilen spektrumlarda düzensiz bir dağılım gözlenmiştir. Bu grafiklerde geri yönde saçılan elektronlar, düzenli bir azalan spektrum yapısı göstermektedir. Tüm grafiklerde $\theta < 100^\circ$ olduğu durumlarda spektrumun minimum verdiği görülmektedir. Gözlenen bu düzensizliklerin, ikincil emisyonlardan kaynaklandığı düşünülmektedir. Deney düzeneğinde ölçülebilir açı aralığını artırmak için büyük FET üzerine küçük FET yerleştirilmiştir. İkincil emisyonların kaynağı bu küçük FET'teki yansılardan olabileceği sonucuna varılmıştır.

Çarpışma olayını anlamak için çeşitli türden tesir kesiti ölçümlerinin yapılması deney düzeneğinin test edilmesi açısından önemlidir. İyonlaşma olayının deneysel ve teorik olarak anlaşılmasının, plazma fiziği, astrofizik, atmosfer fiziği, radyasyon kimyası ve biyoloji gibi birçok alanda önemi vardır. Atom ve molekül fiziğinde bu tür tesir kesitlerinin ölçülmesi, özellikle çok parçacık probleminin çözümüne katkıda bulunması ve saçılma olaylarının anlaşılmasında önemli katkılar sağlamaktadır. Bu çalışmalar sayesinde temel seviyedeki çok parçacıklı sistemlerin dinamikleri hakkında bilgi

edinmek mümkündür.

Bu çalışmada elde edilen ikli diferansiyel tesir kesitleri, elektron-metan etkileşmeleri sonucu iyonlaşma olayı için halen geliştirilmekte olan teorilerin test edilmesi açısından önemlidir. Literatürde ilk kez düşük enerjilerde dedekte edilen elektronlarla metan molekülünün DDCS ölçümleri alınmıştır. Elektron etkisi ile iyonlaşma olayını anlamak için deneysel olarak mutlak olmayan tesir kesiti ölçümlerinin alınması oldukça önemlidir.

Elektron etkisi ile metan molekülünün etkileşmesi esnasında meydana gelen iyonlaşma olayında düşük enerjili koparılan (veya saçılan) elektronların davranışlarının anlaşılması için elektronların dedekte enerji aralığının genişletilmesi ve bu enerji aralıkları için teorik modellemelerin yapılması gerekmektedir.

6. KAYNAKLAR

- Amaldi, 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(8)**: 1001-1004.
- Barbarito, E., Basta, M., Calicchio, M. and Tessari, G. (1979). Low energy electron scattering from methane. *The Journal of Chemical Physics*, **71**: 54-59.
- Bederson, B., Fite, W. L. (1968). Methods of Experimental Physics: Atomic and Electron Physics Atomic Interactions Part A. Marton L. (ed). **7**: 1 – 95.
- Bederson, B., Kieffer, L. J., (1971). Total Electron - Atom Collision Cross Sections at Low Energies. *Reviews of Modern Physics*, **43**: 601-640.
- Bethe, H. A., (1930). Zur Theorie des Durchgangs schneller Korpuskularstrahlen durch Materie *Annalen der Physics*, **397(3)**: 325–400.
- Bettega, M. H. F., Natalense, A. P. P., Lima, M. A. P., and Ferreira, L. G. (1995). Calculation of elastic scattering cross sections of low-energy electrons by PbH and SnH. *The Journal of Chemical Physics*, **103**: 10566-10570.
- Bettega, M. H. F., Varella, M. D. N., and Lima, M. A. P. (2003). Polarization effects in the elastic scattering of low-energy electrons by XH₄ (X= C, Si, Ge, Sn, Pb). *Physical Review A*, **68(1)**: 012706,970-990.
- Boesten, L., and Tanaka, H. (1991). Elastic DCS for e⁺ CH₄ collisions, 1.5-100 eV. *Journal of Physics B: Atomic, Molecular and Optical Physics*, **24(4)**: 821-834.
- Broadfoot, A. L., Belton, M. J. S., Takacs, P. Z., Sandel, B. R., Shemansky, D. E., Holberg, J. B., and McElroy, M. B. (1979). Extreme ultraviolet observations from Voyager 1 encounter with Jupiter. *Science*, **204(4396)**: 979-982.
- Brode, R. B. (1925). The absorption coefficient for slow electrons in gases. *Physical Review*, **25(5)**, 636-644.
- Brüche, E. (1927). Wirkungsquerschnitt und Molekülbau. *Annalen der Physik*, **388(16)**: 1065-1128.
- Brüche, E. (1930). Wirkungsquerschnitt und Molekelbau in der Kohlenwasserstoffreihe: CH₄, C₂H₆, C₃H₈, C₄H₁₀. *Annalen der Physik*, **396(3)**: 387-408.

- Bundschu, C. T., Gibson, J. C., Gulley, R. J., Brunger, M. J., Buckman, S. J., Sanna, N. and Gianturco, F. A. (1997). Low-energy electron scattering from methane. *Journal of Physics B: Atomic, Molecular and Optical Physics*, **30(9)**: 2239-2248.
- Burke, P. G. and Joachain, C. J. (1995). Theory of Electron-Atom Collisions: Part One: Potential Scattering. Plenum Press, New York and London, 255-261.
- Chaudhry, A., and Kleinpoppen, H. (2011). Analysis of excitation and ionization of atoms and molecules by electron impact (Vol. 60). Springer.
- Colyer, C. J. (2011). Electronic collisions with molecules of biological relevance. Doktora tezi, University of Adelaide, School of Chemistry and Physics, Adelaide.
- Coplan, M. A., Moore, J. H. and Doering, J. P. (1994). (e, 2e) spectroscopy. *Reviews of Modern Physics*, **66(3)**: 985-992.
- Cravens, T. E., Lindgren, C. J. and Ledvina, A. S. (1998). A two-dimensional multifluid MHD model of Titans plasma environment. *Planetary and Space Science*, **46(9)**: 1193-1205.
- Csanak, G., Taylor, H. S. and Yaris, R. (1971). Many-Body Methods Applied to Electron Scattering from Atoms and Molecules. II. Inelastic Processes. *Physical Review A*, **3(4)**: 1322-1334.
- Dhal, S. S., Srivastava, B. B., and Shingal, R. (1979). Elastic scattering of electrons by methane molecules at intermediate energies. *Journal of Physics B: Atomic and Molecular Physics*, **12(16)**: 2727-2734.
- Dogan, M., Crowe, A., (2002). Coincidence studies of the influence of resonances on simultaneous ionization-excitation of helium by electron impact. *Journal Physics B: Atomic, Molecular Optical Physics*, **35**: 2773–2783.
- Dogan, M., Ulu, M. and Sise, O. (2007). Design, simulation and construction of an electron–electron coincidence spectrometer. *Journal of Electron Spectroscopy and Related Phenomena*, **161(1)**: 58-62.
- Dogan, M., Ulu, M., Ozer, Z. N., Yavuz, M. and Bozkurt, G. (2013). Double Differential Cross-Sections for Electron Impact Ionization of Atoms and Molecules. *Journal of Spectroscopy*, **2013**: 192917.

- Durić, N., Čadež, I. and Kurepa, M. (1991). Electron impact total ionization cross-sections for methane, ethane and propane. *International Journal of Mass Spectrometry and Ion Processes*, **108(1)**: R1-R10.
- 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.
- 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(3)**: 89-96.
- Er-Jun, M., Yu-Gang, M., Xiang-Zhou, C., De-Qing, F., Wen-Qing, S. and Wen-Dong, T. (2007). Differential cross sections of elastic electron scattering from CH₄, CF₄ and SF₆ in the energy range 100–700 eV. *Chinese Physics*, **16(11)**: 3339-3345.
- Ferch, J., Granitza, B. and Raith, W. (1985). The Ramsauer minimum of methane. *Journal of Physics B: Atomic and Molecular Physics*, **18(13)**: L445.
- Frank, J. and Hertz, G. (1914). Über Zusammenstöße zwischen Elektronen und den Molekülen des Quecksilberdampfes und die Ionisierungsspannung desselben. *Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft, Berlin*, **16**: 457-467.
- Garcia, G., and Manero, F. (1998). Electron scattering by CH₄ molecules at intermediate energies (400–5000 eV). *Physical Review A*, **57(2)**: 1069.
- Gianturco, F. A. and Scialla, S. (1987). Local approximations of exchange interaction in electron-molecule collisions: the methane molecule. *Journal of Physics B: Atomic and Molecular Physics*, **20(13)**: 3171-3188.
- Gianturco, F. A., Jain, A. and Pantano, L. C. (1987). Electron-methane scattering via a parameter-free model interaction. *Journal of Physics B: Atomic and Molecular Physics*, **20(3)**: 571-582.
- Gianturco, F. A. Rodrigues-Ruiz, J. A., and Sanna, N. (1995). The Ramsauer minimum of methane. *Journal of Physics B: Atomic, Molecular and Optical Physics*, **28(7)**: 1287-1296.
- Hughes, A. L. and Klein, E. (1924). Ionization of Gases as a Function of the Energy of

- Electron Impacts. *Physical Review*, **23(4)**: 450-464.
- Hwang, W., Kim, Y. K., and Rudd M. E. (1997). New model for electron-impact ionization cross sections of molecules. *The Journal of Chemical Physics*, **104(8)**: 1026-1033.
- Iga, I., Lee, M. T., Homem, M. G. P., Machado, L. E. and Brescansin, L. M. (2000). Elastic cross sections for e⁻-CH₄ collisions at intermediate energies. *Physical Review A*, **61(2)**: 022708.
- Jain, A. (1986). Total (elastic + absorption) cross sections for e-CH₄ collisions in a spherical model at 0.10–500 eV. *Physical Review A*, **34(5)**: 3707-3712.
- Jones, R. K. (1985). Absolute total cross section for the scattering of low energy electrons by methane. *The Journal of Chemical Physics*, **82**: 5424-5427.
- Kanik, I., Trajmar, S., and Nickel, J. C. (1993). Total electron scattering and electronic state excitations cross sections for O₂, CO, and CH₄. *Journal of Geophysical Research: Planets (1991–2012)*, **98(E4)**: 7447-7460.
- Kim, S. J. (1988). Infrared processes in the Jovian auroral zone. *Icarus*, **75(3)**: 399-408.
- Kim, Y. K., Hwang, W., Weinberger, N. M., Ali M. A. and Rudd M. E. (1997). Electron-impact ionization cross sections of atmospheric molecules. *The Journal of Chemical Physics*, **106(3)**: 1026-1033.
- Lee, M. T., Iga, I., Machado, L. E. and Brescansin, L. M. (2000). Model absorption potential for electron-molecule scattering in the intermediate-energy range. *Physical Review A*, **62(6)**: 062710.
- Lenard, P. (1903). Über die Absorption von Kathodenstrahlen verschiedener Geschwindigkeit. *Annalen der Physik*, **317(12)**: 714-744.
- Lengsfeld III, B. H., Rescigno, T. N. and McCurdy, C. W. (1991). Ab initio study of low-energy electron-methane scattering. *Physical Review A*, **44(7)**: 4296-4300.
- Lima, M. A., Gibson, T. L., Huo, W. M. and McKoy, V. (1985). Studies of electron–polyatomic-molecule collisions: Applications to e-CH₄. *Physical Review A*, **32(5)**: 2696-2701.
- Lino, J. L. (2009). Elastic electron scattering by CH₄ in the low-energy range. *Physica*

Scripta, **79(2)**: 025303.

Lohmann, B. and Buckman, S. J. (1986). Low-energy electron scattering from methane.

Journal of Physics B: Atomic and Molecular Physics, **19(16)**: 2565-2565.

Machado, L. E., Lee, M. T. and Brescansin, L. M. (1998). Elastic Cross Sections for Low-Energy e^- -CH₄ Collisions. *Brazilian Journal of Physics*, **28(2)**: 111-121.

Mahaffy, P. R. (2005). Intensive Titan exploration begins. *Science*, **308(5724)**: 969-970.

Mapstone, B. and Newell, W. R. (1992). Elastic differential electron scattering from CH₄, C₂H₄ and C₂H₆. *Journal of Physics B: Atomic, Molecular and Optical Physics*, **25(2)**: 491-496.

March, N. H., Zecca, A. and Karwasz, G. P. (1994). Phenomenology and scaling of electron scattering cross sections from “almost spherical” molecules over a wide energy range. *Zeitschrift für Physik D Atoms, Molecules and Clusters*, **32(1)**: 93-100.

Marchalant P.J, (1996). (e,2e) Excitation-Ionization of Helium. PhD Thesis, The Queen’s University of Belfast, Faculty of Science, Belfast.

Massey, Harrie Stewart Wilson, Eric HS Burhop, and H. B. Gilbody. *Electronic and Ionic Impact Phenomena. Vol. 1. Collision of Electrons with Atoms*. Oxford, 1969.

McCarthy, I. E. (1998). The development of electron momentum spectroscopy. *Australian Journal of Physics*, **51(4)**: 593-608.

McCarthy, I. E. and Weigold, E. (1988). Wavefunction mapping in collision experiments. *Reports on Progress in Physics*, **51(3)**: 299-304.

McCarthy, I. E., Weigold, E. 1995. Electron-atom collision, Cambridge University Press.

McNaughten, P., Thompson, D. G. and Jain, A. (1990). Low-energy electron-CH₄ collisions using exact exchange plus parameter-free polarisation potential. *Journal of Physics B: Atomic, Molecular and Optical Physics*, **23(13)**:2405-2411.

Mitsuda, Y., Kojima, Y., Yoshida, T. and Akashi, K. (1987).The growth of diamond in microwave plasma under low pressure.*Journal of Materials Science*, **22(5)**: 1557-

1562.

- Mott N.F. and Massey H.S.W. (1987). *The Theory of Atomic Collisions*, 3rd ed, Oxford Science Publications.
- Möller, W. (1993). Plasma and surface modeling of the deposition of hydrogenated carbon films from low-pressure methane plasmas. *Applied Physics A*, **56(6)**: 527-546.
- Muller-Fiedler, R., Jung, K., Ehrhardt, H., (1986). Double differential cross sections for electron impact ionisation of helium. *Journal of Physics B*. **19**: 1211-1229.
- Nestmann, B. M., Pfingst, K. and Peyerimhoff, S. D. (1994). R-matrix calculation for electron-methane scattering cross sections. *Journal of Physics B: Atomic, Molecular and Optical Physics*, **27(11)**: 2297-2304.
- Nishimura, T. and Itikawa, Y. (1994). Elastic scattering of electrons by methane molecules. *Journal of Physics B: Atomic, Molecular and Optical Physics*, **27(11)**: 2309-2315.
- Nixon, K. L., Murray, A. J., Al-Hagan, O., Madison, D. H. and Ning, C. (2010). Low-energy symmetric coplanar and symmetric non-coplanar (e, 2e) studies from the $3a_1$ state of H_2O . *Journal of Physics B: Atomic, Molecular and Optical Physics*, **43(3)**: 035201.
- Nixon, K. L., Murray, A. J., Chaluvadi, H., Ning, C. and Madison, D. H. (2011). Low energy (e, 2e) studies from CH_4 : Results from symmetric coplanar experiments and molecular three-body distorted wave theory. *The Journal of Chemical Physics*, **134**: 174304.
- Nixon, K. L., Murray, A. J., Chaluvadi, H., Amami, S., Madison, D. H. and Ning, C. (2012). Low energy (e, 2e) measurements of CH_4 and neon in the perpendicular plane. *The Journal of Chemical Physics*, **136**: 094302.
- Oda, N. (1975). Energy and angular distributions of electrons from atoms and molecules by electron impact. *Radiation Research*, **64(1)**: 80-95.
- Okumuş, N., (2014). Metan ve benzeri moleküllerin elektron spektrometresiyle üçlü diferansiyel tesir kesitlerinin ölçülmesi. Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.

- Opal, C. B., Beaty, E. C. and Peterson, W. K. (1972). Tables of secondary-electron-production cross sections. *Atomic Data and Nuclear Data Tables*, **4**: 209-253.
- Orient, O. J., and Strivastava, S. K. (1987). Electron impact ionisation of H₂O, CO, CO₂ and CH₄. *Journal of Physics B: Atomic and Molecular Physics*, **20(15)**: 3923-3932.
- Özer, Z. N. (2013). H₂ Molekülünün elektron çarpışması ile iyonlaşmasının elektron-elektron çakışma tekniği (e, 2e) ile incelenmesi. Doktora tezi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Gebze.
- Ramsauer, V. C. and Kollath, R. (1930). Über den Wirkungsquerschnitt der Nichtedelgasmoleküle gegenüber Elektronen unterhalb 1 Volt. *Annalen der Physik*, **396(1)**: 91-108.
- Rapp, D. and Englander-Golden, P. (1965). Total cross sections for ionization and attachment in gases by electron impact. I. Positive ionization. *The Journal of Chemical Physics*, **43**: 1464-1479.
- 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.
- Romani, P. N. and Atreya, S. K. (1988). Methane photochemistry and haze production on Neptune. *Icarus*, **74(3)**: 424-445.
- Rutherford, E. (1911). The Scattering of α and β Particles by Matter and the Structure of the Atom. *Philosophical Magazine*, **21**: 669-676.
- Rudge, M. R. H., (1968) Theory of the Ionization of Atoms by Electron Impact. *Reviews of Modern Physics*. 40: 564-590
- Sakae, T., Sumiyoshi, S., Murakami, E., Matsumoto, Y., Ishibashi, K. and Katase, A. (1989). Scattering of electrons by CH₄, CF₄ and SF₆ in the 75-700 eV range. *Journal of Physics B: Atomic, Molecular and Optical Physics*, **22(9)**: 1385-1397.
- Schram, B. L., Van der Wiel, M. J., De Heer, F. J. and Moustafa, H. R. (1966). Absolute gross ionization cross sections for electrons (0.6–12 keV) in hydrocarbons. *The Journal of Chemical Physics*, **44**: 49-54.

- Shyn, T. W. and Cravens, T. E. (1990). Angular distribution of electrons elastically scattered from CH₄. *Journal of Physics B: Atomic, Molecular and Optical Physics*, **23(2)**: 293-302.
- Şişe, Ö. (2011). Helyum atomunun kendiliğinden iyonlaşma tesir kesitlerinin (e,2e) çakışma tekniği ile ölçülmesi. Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, ,Sakarya.
- Sohn, W., Kochem, K. H., Scheuerlein, K. M., Jung, K. and Ehrhardt, H. (1986). Elastic electron scattering from CH₄ for collision energies between 0,2 and 5 eV. *Journal of Physics B: Atomic and Molecular Physics*, **19(21)**: 3625-3636.
- Swain, M. R., Vasisht, G. and Tinetti, G. (2008). The presence of methane in the atmosphere of an extrasolar planet. *Nature*, **452(7185)**: 329-331.
- Tanaka, H., Kubo, M., Onodera, N. and Suzuki, A. (1983). Vibrational excitation of CH₄ by electron impact: 3-20 eV. *Journal of Physics B: Atomic and Molecular Physics*, **16(15)**: 2861-2869.
- Tanaka, H., Okada, T., Boesten, L., Suzuki, T., Yamamoto, T. and Kubo, M. (1982). Differential cross sections for elastic scattering of electrons by CH₄ in the energy range of 3 to 20 eV. *Journal of Physics B: Atomic and Molecular Physics*, **15(18)**: 3305-3311
- Townsend, J. S. and V. A. Bailey. (1922). ‘XCIV. The motion of electrons in argon and in hydrogen.’ *The London, Edinburgh and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science*, **44.263**: 1033-1052.
- Trajmar S., McConkey J.W. and Kanik I., (1994). Atomic, Molecular and Optical Physics Handbook, American Institute of Physics, p. 712-723, Woodbury, New York.
- Trajmar, S., Mcconkey, W. J., Kanik, I., (2006).Electron–Atom and Electron–Molecule Collisions, In Handbooks of Atomic, Molecular, and Optical Physics, Drake G. W. F. (ed); *Springer*, pp. 929-940.
- Ulu, M. (2007). Elektron- elektron çakışma deney düzeneğinin kurulması ve düzeneğin simülasyonu. Doktora Tezi. Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, ,Konya.

- Ulu, M., Sise, O. and Dogan, M. (2007). Optimizing the performance of an electron gun design followed by lenses and apertures. *Radiation Physics and Chemistry*, **76(3)**: 636-641.
- Vuskovic, L. and Trajmar, S. (1983). Electron impact excitation of methane. *The Journal of Chemical Physics.:(United States)*, **78(8)**: 4947-4951.
- Yavuz, M. (2013). Elektron etkisi ile metan molekülünün ikili diferansiyel tesir kesitlerinin ölçülmesi. Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyonkarahisar.
- Zecca, A., Karwasz, G. P. and Brusa, R. S. (1992). Total-cross-section measurements for electron scattering by NH₃, SiH₄, and H₂S in the intermediate-energy range. *Physical Review A*, **45(5)**: 277-297.
- Yüklü Parçacık Optiği Kış Okulu (2013) ders notu 1- 10. Özel tema: Moleküler Yapılar
Ders notları Prof. Dr. Berdettin Mercimek.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Emine AKSOY
Doğum Yeri ve Tarihi : İZMİR 15.11.1990
Yabancı Dili : İngilizce
İletişim (Telefon/e-posta) :05548641062 emine03_aksoy@hotmail.com

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Yıldız Tınas İzmirlioğlu Lisesi, 2007
Lisans : Afyonkocatepe Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi,
2012
Yüksek Lisans : Afyon Kocatepe Üniversitesi Fizik Bölümü, 2015