

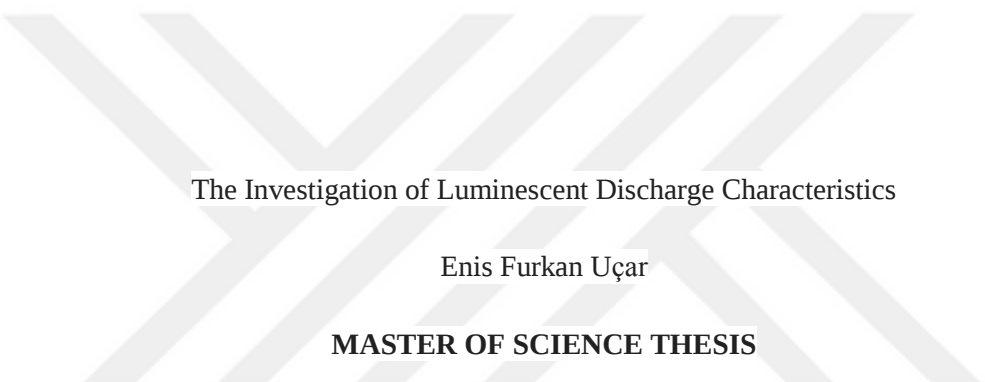
Lüminesans Deşarj Karakteristiklerinin İncelenmesi

Enis Furkan Uçar

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Fizik Anabilim Dalı

Eylül 2016



The Investigation of Luminescent Discharge Characteristics

Enis Furkan Uçar

MASTER OF SCIENCE THESIS

Department of Physics

September 2016

Lüminesans Deşarj Karakteristiklerinin İncelenmesi

Enis Furkan Uçar

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Lisansüstü Yönetmeliğı Uyarınca

Fizik Anabilim Dalı

Yüksek Enerji ve Plazma Bilim Dalında

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Olarak Hazırlanmıştır

Danışman: Prof. Dr. Tamer Akan

“[Bu tez ESOGÜ-BAP tarafından “199919014” ve “2013-326” no’lu projeler çerçevesinde desteklenmiştir]”

Eylül 2016

ONAY

Fizik Anabilim Dalı Yüksek Lisans öğrencisi Enis Furkan UÇAR'ın YÜKSEK LİSANS tezi olarak hazırladığı “Lüminesans Deşarjların Karakteristiklerinin İncelenmesi” başlıklı bu çalışma jürimizce lisansüstü yönetmeliğin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek oy birliği ile kabul edilmiştir.

Danışman : Prof. Dr. Tamer AKAN

İkinci Danışman : -

Yüksek Lisans Tez Savunma Jürisi:

Üye: Prof. Dr. Tamer AKAN

Üye: Prof. Dr. Ferhunde ATAY

Üye: Doç. Dr. Rasim DERMEZ

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun tarih vesayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Hürriyet ERŞAHAN

Enstitü Müdürü

ETİK BEYAN

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre, Prof. Dr Tamer AKAN danışmanlığında hazırlamış olduğum “Lüminesans Deşarj Karakteristiklerinin İncelenmesi” başlıklı YÜKSEK LİSANS tezimin özgün bir çalışma olduğunu; tez çalışmamın tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı; tezimde verdiğim bilgileri, verileri akademik ve bilimsel etik ilke ve kurallara uygun olarak elde ettiğimi; tez çalışmamda yararlandığım eserlerin tümüne atıf yaptığımı ve kaynak gösterdiğimi ve bilgi, belge ve sonuçları bilimsel etik ilke ve kurallara göre sunduğumu beyan ederim. 12/08/2016

Enis Furkan UÇAR

İmza

ÖZET

Bu çalışmada Lüminesans – Glow (Işıldamalı – Parıldamalı) deşarjın karakteristikleri incelenmiştir. Laboratuvarımızda dizayn edilip üretilen deşarj cihazlarında Lüminesans deşarjlar üretilmiştir. Düşük basınçta Neon gazı için üretilen lüminesans deşarjın; Ateşlenme (Breakdown) Voltajı ölçümleri ile Paschen Eğrisi, Pozitif Kolonun Elektrik Alan Dağılımı, Langmuir Prop kullanılarak Elektron Sıcaklığı ve Katot Akım Yoğunluğu gibi karakteristik özellikleri bulunmuştur. Bununla birlikte DC voltaj ve AC voltaj kullanılarak hava için üretilen Lüminesans Deşarjların spektroskopik karakteristikleri incelenmiştir. Son olarak Helyum gazı için atmosferik basınçta üretilen lüminesans deşarjlar incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Lüminesans deşarj, Düşük basınç plazmalar, Ateşlenme (Breakdown) voltajı, Paschen, Elektron sıcaklığı, Atmosferik basınç plazmalar, Helyum.

SUMMARY

In this thesis, the characteristics of Luminescence (Glow) discharge are investigated. Luminescence discharges are generated in discharge devices which are designed and produced in our laboratory. The characteristic properties of low pressure Neon luminescence discharge such as breakdown voltage and Paschen curve, Electric Field Distribution of Positive Column, Electron Temperature using Langmuir Probe, and Cathode Current Density are found. Additionally, the spectroscopic characteristics of air luminescence discharge generated using DC and AC power supply are investigated. Lastly, luminescence discharges generated at atmospheric pressure for Helium are investigated.

Keywords: Luminescence discharge, Low pressure plasmas, Breakdown voltage, Paschen, Electron temperature, Atmospheric pressure plasmas, Helium.

TEŞEKKÜR

Bilgi de difüzyona uğrar bu bağlamda, sahip olduğu engin bilgi birikimi ve tecrübelerinden sadece akademik çerçevede değil aynı zamanda felsefi ve sosyolojik alanda da yararlandığım danışman hocam Prof.Dr. Tamer AKAN’a engin teşekkürlerimi sunarım.

Destekleri ile çalışmalarına katkılarından dolayı araştırma görevlisi Erkan İLİK’e de teşekkür ederim.

Çalışmamın şekilsel bölümlerine benimle birlikte mesai harcayan Mimar Aydan ÖZGÜR’e, hayatımın zor günlerinde dahi yanımda olan kıymetli arkadaşım Senay SAYDIR’a , dünyaya gelişimin nedeni, her kararında arkamda olan, desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen anneme ve babama, var oluşuyla bana güven aşılayan ağabeyim Mustafa Burak UÇAR’a yanımda oldukları için çok teşekkür ederim.

Bu tezde ESOGÜ-BAP bünyesindeki “199919014” ve “2013-326” no’lu projelerden yararlanılmıştır.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	vi
SUMMARY	vii
TEŞEKKÜR	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	x
ÇİZELGELER DİZİNİ	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xiii
1. GİRİŞ VE AMAÇ	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	3
3. PLAZMANIN TANIMI ÜRETİMİ VE ÖZELLİKLERİ	5
3.1. Plazmanın Tanımı	5
3.2. Plazmanın Üretimi	7
3.3. Plazmanın Özellikleri	8
4. LÜMİNESANS (GLOW) DEŞARJ	13
4.1. Lüminesans (Glow) Deşarj Özellikleri	13
4.2. Lüminesans (Glow) Deşarj Oluşumu	16
5. MATERTAL VE YÖNTEM	27
5.1. Deneysel Sistem	27
5.2. Ateşlenme (Breakdown) Voltajının Ölçümü ve Paschen Eğrisinin Çıkarımı	29
5.3. Lüminesans (Glow) Deşarjın Pozitif Kolon Elektrik Alanının Bulunması	33
5.4. Langmuir Prop Kullanılarak Elektron Sıcaklığı Ölçümü	37
5.5. Akım Yoğunluğu Tayini	46
5.6. Lüminesans (Glow) Deşarjın Pozitif Kolonunun Spektroskopik İncelenmesi	49
5.7. AC Güç Kaynağı İle Üretilen Lüminesans (Glow) Deşarj Karakteristikleri	52
5.8. Atmosferik Basınç Lüminesans (Glow) Deşarj	56
6. BULGULAR VE TARTIŞMA	58
7. SONUÇ VE ÖNERİLER	60
KAYNAKLAR DİZİNİ	61

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
3.1. Kutup Işıkları	5
3.2. Güneş	6
3.3. Elektriksel ark	6
3.4. Şimşek	6
3.5. Faz değişimi	7
3.6. Tokamak	7
3.7. Koronadeşarj	7
3.8. Soğuk plazma jet	8
4.1. DC elektriksel gazdeşarjın akım voltaj karakteristiği	17
4.2. Farklı gazlar için Paschen eğrileri	22
4.3. DC glowdeşarjda elektrotlar arasındaki elektrik ve potansiyel dağılımı ile yük ve akım yoğunlukları değişimi	23
5.1. Deneysel sistem	27
5.2. Ateşlenme voltajının ölçüldüğüdeşarj cihazının şematik gösterimi	29
5.3. Ateşlenme voltajının ölçüldüğü deneyseldeşarj cihazının karanlık ve aydınlık fotoğrafı	30
5.4. Neon gazı ateşlenme voltajı değerleri ile elde edilen Paschen eğrisi	33
5.5. 0,6 mAdeşarj akımında pozitif kolon voltaj uzaklık değerleri	35
5.6. 0,8 mAdeşarj akımında pozitif kolon voltaj uzaklık değerleri	35
5.7. Langmuir prop yerleştirilmişdeşarj sisteminin fotoğrafı ve karanlık ortamda üretilen plazmanın fotoğrafı	37
5.8. Langmuir prop kullanılarak lüminesansdeşarj elektron sıcaklığı ölçümü için kullanılan deneysel düzenek	38
5.9. Deşarj tüpü içinde elektriksel proba voltaj uyguladıktan sonra elde edilen akım-voltaj karakteristiği	39
5.10. Plazma içinde Langmuir prop	40
5.11. Prop potansiyelinin sıfır olduğu durumda akım-voltaj karakteristiği	43
5.12. Prop potansiyelinin sıfır olduğu durumda akım-voltaj karakteristiğinin logaritmik ölçekte çizimi	43
5.13. Langmuir prop ile 1.5 torr basınçta neon gazı için elde edilen akım-voltaj karakteristiği	45
5.14. Langmuir prop ile 1.5 torr basınçta neon gazı için elde edilen akım-voltaj karakteristiğinin logaritmik ölçekte çizimi	46

ŞEKİLLER DİZİNİ (Devam)**Sekil****Sayfa**

5.15. Akım yoğunluğu tayini için kullanılan deneysel düzenek ve deşarj tüpü	46
5.16. Deşarj yüzey alanının deşarj akımı arttıkça artışı	48
5.17. Elektrotlar arası mesafenin ayarlanmasına imkan sağlayan deşarj tüpü	49
5.18. Deneysel sistemde kullanılan optik emisyon spektrum cihazı	50
5.19. DC lüminesans deşarjın pozitif kolon spektrum ölçümleri	51
5.20. Kullanılan AC güç kaynağı ve osiloskop görüntüsü	53
5.21. AC güç kaynağı ile üretilen lüminesans deşarjın aydınlık ve karanlık fotoğrafı	54
5.22. AC lüminesans deşarjın pozitif kolon O.E.S ölçümleri	55
5.23. Atmosferik basınç lüminesans deşarj üretim sistemi	56
5.24. Helyum atmosferik basınç lüminesans deşarj fotoğrafı	56
5.25. Helyum atmosferik basınç lüminesans deşarjın optik emisyon ölçümü	57

ÇİZELGELER DİZİNİ

Cizelge

Sayfa

3.1. Plazma türleri ve parametreleri	12
5.1. 0.6 mA Neon deşarj akımında farklı basınçlar için pozitif kolon elektrik alan değeri ...	36
5.2. 0.8 mA Neon deşarj akımında farklı basınçlar için pozitif kolon elektrik alan değeri ...	36



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

n_e	Elektron yoğunluğu
n_i	İyon yoğunluğu
n	Plazma yoğunluğu
α_{iz}	İyonlaşma derecesi
T_p	Plazma sıcaklığı
T_g	Plazması üretilen gazın sıcaklığı
T_e	Elektron sıcaklığı
T_u	Uyarılmış atomların sıcaklığı
T_i	İyonların sıcaklığı
T_a	Ayrışmış atom sıcaklığı
T_f	Foton sıcaklığı
λ_D	Debye uzunluğu

Kısaltmalar

AC	Alternatif akım
DBD	Dielektrik bariyer deşarj
DC	Doğru akım
eV	Elektronvolt
K	Kelvin
k	Boltzmann sabiti
kHz	Kilohertz
L.T.D	Lokal termodinamik dengede olan plazmalar

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (Devam)**Kısaltmalar**

MW

Non L.T.D

O.E.S

RF

T.T.D

V

 V_B V_l **Açıklama**

Mikrodalga

Lokal termodinamik dengede olmayan plazmalar

Optik emisyon spektroskopisi

Radyofrekans

Termodinamik dengede olan plazmalar

Volt

Breakdown (Ateşlenme) voltajı

Plazma frekansı / Langmuir frekansı

1. GİRİŞ VE AMAÇ

Laboratuvar koşullarında maddenin dördüncü hali olan plazmayı üretmenin farklı pek çok yöntemi mevcuttur. En temelde amaç bir gazı veya gaz haline getirilmiş bir materyali herhangi bir enerji aktarım yöntemi ile iyonize etmektir. Enerji aktarımı; ısı yoluyla, elektron bombardımanı yaparak, foton demetleri göndererek, pozitif veya negatif yüklü ağır parçacıklar olarak nitelendirilen iyon demetlerini kullanarak veya elektrik ve manyetik alan uygulayarak sağlanabilmektedir ve genellikle plazmalar yapılan bu enerji aktarım yöntemlerine göre isimlendirilmektedir.

Bu çalışmanın temel konusu gaz deşarj plazmalar; atmosfer basıncında ve/veya daha yüksek basınçlarda ve düşük basınçlarda üretilebilmektedir. Gaz olarak atmosferik basınçta hava kullanılabildiği gibi daha çok soy gazlar tercih edilmektedir. Bununla birlikte üretilen plazma, düşük sıcaklıklarda ya da yüksek sıcaklıklarda olabilmektedir. Kullanılan güç kaynağı, kullanılan gaz, gaz basıncı, gaz akış hızı, elektrotların tasarımı gibi parametreler, üretilen plazmanın tüm özelliklerini belirlemektedir. Hiç elektrot olmadan gaz deşarj plazması üretilebildiği gibi genelde iki metal elektrot arasında gaz deşarj plazması üretilmektedir. Deşarj, elektrotlar arasında bir bütün olarak durabildiği gibi elektrotlar arasında akabilir.

Bu çalışmada düşük basınçta elektrotlar arasında durağan kalan gaz deşarjların ve atmosferik basınçta elektrotlar arasında akan lüminesans – glow (ışıldamalı –parıldamalı) deşarjları incelenmiştir. Bölüm 3’te Şekil 3.1.’de detaylıca verildiği gibi “Lüminesans – Glow deşarj”, Gaz deşarjın karanlık deşarj ve ark deşarjdan ayrı özellikte olan kısmıdır. Lüminesans veya glow kelimesi Türkçeye Işıldamalı/Parıldamalı şeklinde çevrilse de lüminesans kelimesi de Türkçe kullanıma geçtiği için seçilmiştir. Işıldamalı/Parıldamalı kelimesi tam olarak Lüminesans veya Glow kelimesini karşılamadığı için bu tercih yapılmıştır.

Lüminesans deşarjlar gerek plazma fiziği laboratuvar çalışmalarında gerekse teknolojiye çok yaygın kullanılmaktadır. Bu nedenle Lüminesans deşarjların karakteristiklerinin incelenmesi son derece önemlidir. Bu çalışmada düşük basınçta neon ve hava ile üretilen ve atmosferik basınçta Helyum gazı ile üretilen lüminesans deşarjların elektriksel ve optiksel özellikleri incelenmiştir. Çalışmanın en orijinal tarafı lüminesans

deşarjların üretilmesi ve incelenmesi için kullanılan deneysel düzeneklerin tamamıyla laboratuvarımızda tasarlanıp üretilmesidir. Düşük basınçta lüminesansdeşarjın breakdown voltajı ölçümü ve pozitif kolonunun elektrik alanının ölçülmesi için kullanılan hareketli elektrodu bir camdeşarj tüpü içine yerleştirmek ve çalıştırmak oldukça zor bir işlemdir. Bununla birlikte lüminesansdeşarjın katot akım yoğunluğunun ölçülmesi için kullanılan sistemimizde orijinaldir ve bir yazılım ile geliştirildiğinde son derece kullanışlı bir yöntem olacaktır. Bu çalışmada kullanılan atmosferik basınç plazma jet sistemi de tamamıyla laboratuvarımızda üretilmiştir. Bu sistemde helyum gazının lüminesansdeşarjı elektrotlar arasından akıtılarak “akandeşarj” üretilmiştir. Ayrı bir çalışma konusu olabilecek bu “akandeşarjın” bu çalışmada sadece spektroskopik ölçümü verilmiştir. Daha sonra yapılacak olan detaylı çalışmalar elektrotlar arasında durağan kalandeşarjlar ile akabilendeşarjlar arasındaki farkların ortaya konması için önemli bir çalışma olabilir.

Bu çalışmanın içeriği, farklı deneysel sistemler eşliğinde yahut farklı plazma üretim yöntemleri kullanılarak yapılan deneyleri ve ölçümlerini kapsamaktadır. Bu kapsamda sırasıyla; Deneysel sistemin içeriği, Ateşleme (Breakdown) Voltajının ölçülmesi Paschen Eğrisinin Çıkarılması, Lüminesans (Glow) Deşarjın Pozitif Kolonunun Elektrik Alanının Bulunması, Langmuir Prop Kullanarak Elektron Sıcaklığı Ölçümü, Akım Yoğunluğu Tayini, Lüminesans Deşarjın Pozitif Kolonunun Spektroskopik İncelenmesi, a.c. Güç Kaynağı ile Üretilen Lüminesans Deşarj Karakteristikleri ve son olarak Atmosferik basınç lüminesansdeşarjlar bulunmaktadır. Tezin birinci bölümünde plazmanın tarihsel süreci ve genel hatlarının belirlenmesi ile giriş yapıldıktan sonra, ikinci bölümde plazmanın tanımı, üretim yöntemleri ve özellikleri açıklanmıştır. Üçüncü bölümde Lüminesans (glow)deşarjın özellikleri yer almaktadır. Dördüncü bölümde materyal ve yöntem verilmiştir. Beşinci bölümün içeriği sonuç ve öneriler olup bunu takip eden altıncı bölümde kaynaklar bulunmaktadır.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Plazma fiziği; elde edilen yeterli sayıdaki yüklü parçacığın uzun menzilde Coulomb kuvveti doğrultusunda etkileşmesi ile istatistiksel özelliklerinin belirlenmesi ve birbirlerine komşu olan bu yüklü parçacıkların kendi aralarındaki etkileşimlerini inceleyen bilim dalıdır. Plazma terimi ilk olarak 1929 yılında, elektriksel boşalmaların incelenmesi sırasında, Tonks ve Langmuir tarafından yüklü parçacıklar topluluğunu tanımlamak için kullanılmıştır. Maddenin plazma halinin en belirgin özelliği yüklü parçacıkların müşterek (bütünsel, kolektif) davranış sergiliyor olmalarıdır. Bu müşterek davranış 1906 yılında Lord Rayleigh'in Thompson atom modeli kapsamında elektronların salınımını incelediği çalışmalardan bu yana bilinmektedir (Krall ve Trivelpiece 1973).

Plazma, maddenin atom ve/veya moleküllerinin iyonlaştırıldığı maddenin bir halidir. Bu nedenle plazma içerisinde çok sayıda elektronlar ve pozitif/negatif iyonlar bulunur. Bunun yanı sıra plazma içerisinde nötr atom ve moleküller, radikal parçacıklar, metastable atom ve moleküller, fotonlar ve uyarılmış atom ve/veya moleküller bulunur (Tanenbaum, B., 1967).

Plazma aynı zamanda maddenin dördüncü hali olarak da adlandırılmaktadır. Bunun sebebi enerji aktarılan katı fazdaki bir maddenin önce sıvı faza, ardından gaz fazına ve enerji aktarımına devam edildiğinde son olarak plazma fazına geçiş yapmasıdır (Krall ve Trivelpiece 1973).

Laboratuvar koşullarında maddenin dördüncü hali olan plazmayı üretmek için kolay ve ekonomik yöntem; bir gazı iyonlaştırmaktır. İki metal elektrot arasına yerleştirilen bir gaza elektrik enerjisi vermek, gazı iyonlaştırmak için en çok kullanılan yöntemdir. Bunun için bir gaz içinden doğru akım (DC) ya da alternatif elektrik akımı (AC) geçirmek, radyo frekansı (RF), mikrodalga (MW) gibi elektromanyetik dalgalarla gazın indüklenmesi, yüksek pulslu çok kısa elektromanyetik alanlar kullanmak (Puls Voltaj), alternatif akımı bir dielektrik üzerinden gaza aktarmak, gazı elektrik enerjisi ile iyonlaştırmak için kullanılan yöntemlerdir. Bu yöntemden herhangi birisi ile gazın iyonlaştırılarak plazma haline gelmesi genelde “Gaz Deşarj” olarak isimlendirilir ve üretim yöntemine göre DC deşarj, AC deşarj, Puls deşarj, Korona deşarj, RF deşarj, MW deşarj, Dielektrik Bariyer deşarj (DBD) gibi farklı isimlerle anılır. Gaz deşarjlar, plazmanın ilk

Üretim tekniklerinden biri olması, kolay ve ucuz bir plazma üretim tekniği olması ve bazı önemli avantajları nedeniyle bu gün teknolojide birçok uygulama alanı bulmuştur. Hemen hemen her ev ve işyerinde bulunan flüoresans lambalar, farklı basınçlarda civa buharı lambaları, sodyum lambalar, neon ve xenon lambalar, gaz deşarjların aydınlatma sanayinde kullanımlarına örnek verilebilir. Bunun yanında gaz deşarjlar; materyal sanayinde, askeri endüstrilerde, elektronik malzeme üretiminde, tıp ve biyomedikalde, ozon üretiminde, atık ve p arıtma gibi çevresel uygulamalarda, polimer sanayinde, plazma ekranlarında, lazer üretiminde, plazma klimalar gibi son derece hayatımıza girmiş yüksek teknolojilerde kullanılmaktadırlar (Akan 2003).



3. PLAZMANIN TANIMI, ÜRETİMİ VE ÖZELLİKLERİ

Bu bölümde, plazmanın tanımı, plazmanın üretim yöntemleri ve plazma özellikleri kapsamlı olarak açıklanacaktır.

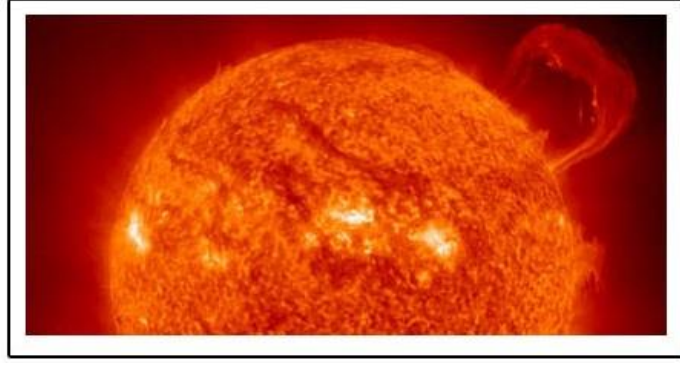
3.1. Plazmanın Tanımı

Plazma maddenin dördüncü hali (faz) olarak adlandırılmaktadır. Diğer üç hal bilindiği üzere katı, sıvı ve gaz halidir. Plazma temel olarak, iyonlaşmış ve uyarılmış atom ya da moleküller, fotonlar, elektronlar, radikaller, metastable atomlar ve nötral atom veya moleküllerden oluşan bir yapıdır. Plazma ortamı parçacıklarının bireysel davranışlarından ziyade bütün bileşenlerin kolektif (yekpare) bir davranış sergilediği, gazların sergilediğinden farklı bir ortamdır. Plazma içerisinde rastgele doğrultularda hareket eden yüklü parçacıklar barındırdığı halde bütünüyle elektriksel olarak nötral durumdadır. Her ne kadar bilimsel camia tarafından maddenin dördüncü hali olarak nitelendirilse de evrenin oluşumu sırasında kronolojik olarak diğer bütün fazlardan daha önce vuku bulmuştur ve aslında kainat bünyesinde oluşan ilk fazlardan birisidir.

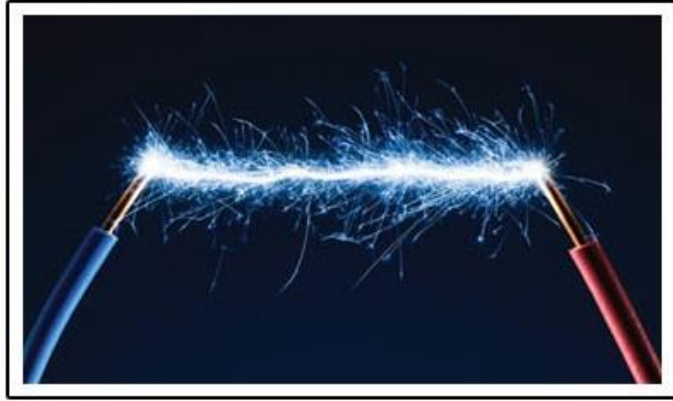
Bütün evreni göz önünde bulundurduğumuzda plazma evrenin %99'unu oluşturmaktadır (Krall ve Trivelpiece 1973). Günlük hayatta doğal veya yapay birçok plazma türü ile karşılaşmak olasıdır. Bunlardan bazıları Şekil 3.1. - 3.4.'de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Kutup Işıkları (www.softservenews.com 20.05.2016)



Şekil 3.2. Güneş (goktasi.blogspot.com.tr 20.05.2016)



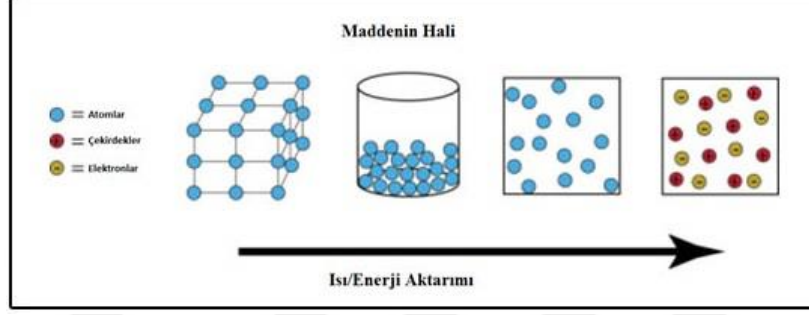
Şekil 3.3. Elektriksel ark (newscience.ul.com 20.05.2016)



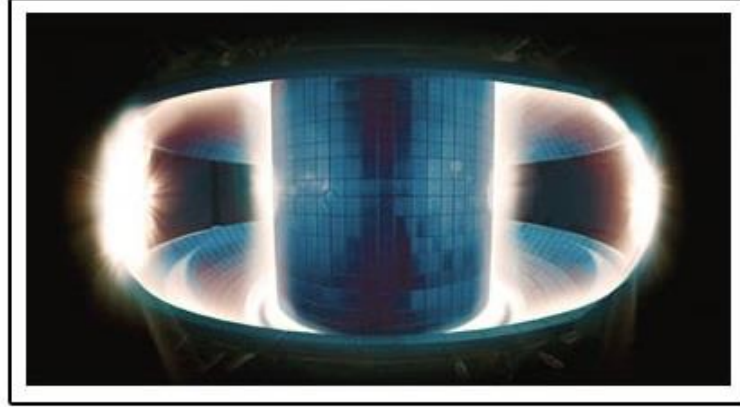
Şekil 3.4. Şimşek (photobucket.com 25.06.2016)

3.2 Plazmanın Üretimi

Şekil 3.5'te görüldüğü gibi katı bir cisme enerji aktarıldığında önce sıvı, ardından gaz ve enerji aktarımının sürdürülmesi halinde gaz fazındaki atomların iyonlaşması ile plazma fazına geçiş olur. Enerji aktarımı ısı, ışık veya elektrik alan şeklinde olabilir. Farklı plazma üretim teknikleri Şekil 3.6. – 3.8.'de gösterilmiştir.



Şekil 3.5. Faz değişimi



Şekil 3.6. Tokamak (www.iter.org 21.05.2016)



Şekil 3.7. Korona Deşarj (vetaphone.com 21.05.2016)



Şekil 3.8. Soğuk Plazma Jet (blogs.scientificamerican.com 25.06.2016)

Plazma yapay yollar ile elde edilebildiği gibi evrenin işleyişinden dolayı var olan plazmalarda mevcuttur. Atmosferin bir katmanı olan iyonosfer, kutup ışıkları (Auroralar), bazı alevler, yıldırım, yıldızlar ve yıldız rüzgarları, gezegenler arası ortam (boşluk), galaksiler arası ortam (boşluk) doğal yollar ile meydana gelmiş plazmalara örnek teşkil eder. Laboratuvar ortamında (yapay) bazı plazmaların üretimi için en genelde bir gaza enerji verilir.

3.3 Plazmanın Özellikleri

Plazmayı karakterize eden belli başlı parametreler ve üretim yöntemleri bulunmaktadır. Bu farklı üretim teknikleri, üretilen plazmaların farklı isimler ile adlandırılmalarına sebebiyet verir.

Üretim yöntemlerinin yanı sıra plazmalar sahip oldukları sıcaklık, basınç, parçacık yoğunluğu ve iyonlaşma derecelerine göre de karakterize edilmektedirler. Plazmalar en temelde üç farklı durum ile isimlendirilirler sıcaklıklarına göre, Toplam Termodinamik Dengede olan plazmalar (TTD Plazmalar), Lokal Termodinamik Dengede olan plazmalar (LTD Plazmalar) ve Lokal Termodinamik Dengede olmayan plazmalar (NON-LTD Plazmalar). Bununla birlikte plazmaları karakterize eden temel özellikler aşağıda verilmiştir.

Plazma Yoğunluğu: Moleküler gazların karışımlarından oluşturulan plazma, çok sayıda nötral ve yüklü parçacık içerir. Plazma içerisinde birbirinden ayırt edilen her bir parçacık grubu “türler” olarak ifade edilir. Bu türlerden n_e ; elektron yoğunluğu n_i ; iyon yoğunluğu olarak ifade edilir. Plazma yaklaşık olarak nötral özelliğe sahip olduğundan; $n_e \cong n_i \cong n$ dir. Burada n plazma yoğunluğu olarak tanımlanır (Grill, 1993).

Plazma İyonlaşma Derecesi: Plazmanın içerisindeki iyonlaşmış moleküllerin hakkında bilgi sağlayan parametre gazın iyonlaşma derecesidir. Gaz içerisindeki iyonlaşmış parçacık sayısı olan iyonlaşma derecesi;

$$\alpha_{iz} = \frac{n_i}{n_i + N} \quad (3.1)$$

şeklinde ifade edilir. Burada N: nötral atom yoğunluğudur. $\alpha_{iz} = 1$ olduğunda plazma tümüyle iyonlaşmış demektir (Liberman ve Lichtenberg, 1997). Bu durum yıldızlarda ve termonükleer füzyon reaktörlerinde görülür. Bu parametre plazması üretilen gazın elektronegatifliğine göre değişkenlik göstermektedir.

Plazma Sıcaklığı: Termodinamik dengedeki bir nötral gaz halini tanımlayan en önemli parametre, sistem içindeki molekülün ortalama taşınım enerjisini ifade eden sıcaklıktır. Plazma içinde, farklı elektrik yüklü ve kütleli parçacıkların bir karışımı vardır. Plazma içindeki her tür, farklı sıcaklık terimleri ile ifade edilir. Örneğin T_g : nötral atomların yani plazması oluşturulan gazın sıcaklığını, T_u : uyarılmış atomların sıcaklığını, T_i : iyonların sıcaklığını, T_e : elektronların sıcaklığını, T_a : molekül durumundan atoma ayrılmış atomlar için ayrılmış atom sıcaklığını ve T_f : fotonların enerjisini karakterize eden foton sıcaklığını ifade etmektedir. Eğer plazma içerisindeki her türün sıcaklığı eşitse yani, $T_g \cong T_u \cong T_i \cong T_a \cong T_f \cong T_e = T_p$ ise bu plazma “TTD Plazma” olarak isimlendirilir. Burada T_p : “plazma sıcaklığı” olarak tanımlanır. Bu tip plazmalar yalnızca güneşte ve yıldızlarda meydana gelir. Eğer plazma içinde foton sıcaklığı haricinde her türün sıcaklıkları eşitse yani, $T_g \cong T_u \cong T_i \cong T_a \cong T_e \neq T_f$ ise “LTD Plazma” olarak isimlendirilir. Laboratuvar koşullarında atmosferik basınçlarda lokal termodinamik dengede olan plazmalar üretilir ve bunlar genellikle “Termal Plazmalar” olarak adlandırılır. Termal plazmalar yüksek basınçlarda meydana geldiği için “Yüksek Basınç Plazmaları” olarak da adlandırılırlar. Plazma içinde basıncın artmasıyla, elektronlar ile nötral atomlar arasındaki çarpışma sayısı artar. Bu nedenle 1 atmosfer civarındaki yüksek basınçlarda meydana gelen, elektriksel ark ve plazmatron olarak adlandırılan plazma jetleri ve kontrol edilebilen termonükleer füzyon reaktörlerinde oluşturulan plazmalar, laboratuvar koşullarında üretilen lokal termodinamik dengedeki plazmalara örnek verilebilirler.

Daha düşük basınçlarda elektronlar ile nötral atomlar ve iyonlar arasında termal dengeye ulaşılamaz. Bu nedenle $T_e \gg T_i > T_g > T_u$ şeklinde, elektronların sıcaklıklarının diğer türlerden çok büyük olduğu ve hiçbir tür arasındaki sıcaklığın eşit olmadığı plazmalar “Non-LTD Plazmalar” olarak adlandırılır. Elektronların kütlesi plazma içindeki diğer türlerden çok daha küçüktür. Bu nedenle elektronlar, plazmanın oluşması için dışarıdan verilen elektrik alanı ya da enerjiyi diğer türlerden çok daha fazla absorbe ederler. Plazması elde edilen gazın basıncı düşük olduğu için elektronlar, diğer türlerle çok sayıda çarpışma yapamaz ve böylece diğer türlere enerjisini aktaramaz. Bu nedenle düşük basınç plazmalarda elektron sıcaklıkları, diğer türlerden her zaman çok daha büyük olur. “Düşük Basınç Plazmaları” olarak adlandırılan Non-LTD plazmalarda nötral atomların sıcaklığı yani gazın sıcaklığı çok düşük (oda sıcaklığı) olduğu için, bu plazmalar aynı zamanda “Soğuk Plazmalar” olarak adlandırılır. Elektronların plazma içindeki dağılım fonksiyonu;

$$f(v) = \frac{4n_e}{\pi} \left(\frac{m_e}{2kT_e} \right)^{\frac{3}{2}} v^2 e^{-\frac{m_e v^2}{2kT_e}} \quad (3.2)$$

Maxwell dağılım fonksiyonu ile verilir (McDaniel, 1964).

Plazma Frekansı: Plazma ile ilişkili diğer bir özellik, plazma içindeki parçacıkların, plazma içindeki bir yüklü parçacık tarafından ya da dışarıdan oluşturulan bir elektrostatik alana karşı “kalkan” oluşturacak şekilde, kendilerini yeniden düzenleme eğiliminde olmalarıdır. Eğer plazma içinde bir elektrik alan oluşturulursa, plazma içindeki yüklü parçacıklar, alanın etkisini azaltmak için tepki vereceklerdir. Bu tepki, daha hafif ve daha hızlı olan elektronlar tarafından, elektrik alanın etkisini azaltmak için plazma içindeki diğer türlere göre daha hızlı bir şekilde verilecektir. Plazma içindeki yüklü parçacıklar bu etkiyi azaltmak için verecekleri tepkiyi, bir titreşim hareketi şeklinde yaparlar. Bu titreşim hareketini düşük kütleleri nedeniyle elektronlar, diğer türlere nazaran daha şiddetli yaparlar. Elektronların bu etkiyi azaltmak için yaptıkları titreşim hareketinin frekansı “Plazma Frekansı” olarak adlandırılır. Başka bir deyişle plazma içinde meydana gelen bir etki, plazma içinde plazma frekansı ile yayılır. Plazma frekansı Langmuir frekansı olarak da bilinir ve

$$v_l = \left(\frac{e^2 n_e}{m_e \epsilon_0} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (3.3)$$

şeklinde verilir (Muraoka K. vd., 2001; Roth, 1995).

Debye Kafesleme: Plazma içerisindeki lokal elektrik alanların etkisini azaltmak için yüklü parçacıkların tepkisi “Debye Kafeslemesi (Debye Shielding)” olarak adlandırılır. Debye kafesleme etkisi nedeniyle plazma içinde lokal elektriksel alanların oluşmasına izin verilmediği için plazma sürekli olarak nötral halde kalma eğilimindedir. Debye kafesleme etkisi ile plazmanın bu şekilde nötral kalma isteği “Yaklaşık Olarak Nötral (Quasi-Neutrality)” olarak isimlendirilir (Akan, 2005).

Debye Uzunluğu: Plazma içinde;

$$\lambda_D = \left(\frac{\epsilon_0 k T_e}{n_e e^2} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (3.4)$$

ile verilen ve “Debye Uzunluğu” olarak adlandırılan uzunluk, plazma içindeki minimum nötral olan bölgeye karşılık gelir (Kunkel, 1966). T_e elektronvolt (eV) cinsinden elektron sıcaklığı, n_e ise m^{-3} cinsinden elektron yoğunluğudur.

Bazı plazma türlerinin karakteristik parametreleri Çizelge 3.1.’de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Plazma türleri ve parametreleri (Akan, 2005).

Plazma Tipi	Parçacık yoğunluğu $n_e (m^{-3})$	Elektron sıcaklığı $T_e (eV)$	Plazma boyutları $L (m)$	Debye Uzunluğu $\lambda_D (m)$	Plazma Frekansı V_L (Hz)	L/λ_D
Yıldızlar arası plazma	10^6	1	10^{16}	7.5	9×10^3	1.3×10^{15}
Güneş rüzgarları	10^7	10	10^{10}	7.5	3×10^4	1.3×10^9
Van Allen kuşakları	10^9	10^2	10^6	2.5	3×10^5	4×10^5
İyonosfer	10^{11}	10^{-1}	10^5	7.5×10^{-3}	3×10^6	1.3×10^7
Güneş koronası	10^{13}	10^2	10^8	2×10^{-2}	3×10^7	5×10^9
Gaz deşarjlar	10^{18}	2	10^{-2}	10^{-5}	9×10^9	1×10^3
Soğuk plazmalar	10^{18}	10^2	10^{-1}	7.5×10^{-5}	9×10^9	1.3×10^3
Elektrik ark	10^{22}	1	10^{-1}	7.5×10^{-8}	9×10^{11}	1.3×10^6
Endüstriyel plazmalar	10^{16}	5-10	10^{-1}	2.5×10^{-4}	9×10^8	4×10^2
Füzyon reaktörü	10^{20}	10^4	2	7.5×10^{-5}	9×10^{11}	3×10^4

4. LÜMINESANS DEŞARJ

Bu bölümde lüminesansdeşarj özellikleri, sınıflandırılması ve lüminesans (glow)deşarj oluşumu detaylı bir şekilde açıklanacaktır.

4.1. Lüminesans Deşarj Özellikleri

Genelde plazmalar arasında; **“sıcak plazmalar (termal dengede olan plazmalar-near equilibrium plasmas)”** ve **“soğuk plazmalar (termal dengede olmayan plazmalar-non-equilibrium plasmas)”** şeklinde bir sınıflandırma yapılabilir. Termal denge; plazma içindeki tüm parçacıkların (iyonlar, elektronlar ve nötral parçacıklar) sıcaklıklarının eşit olmasıdır. Örneğin bu durum yıldızlarda ve füzyon plazmalarında gerçekleşir. Plazma içindeki farklı parçacıkların sıcaklıklarının eşit olmaması yani daha açık deyişle elektronların sıcaklıklarının, diğer ağır kütleli parçacıkların (iyon, nötral atom veya molekül gibi) sıcaklıklarından çok daha yüksek olması durumu ise termal dengede olmayan durum olarak ifade edilir. **Termal dengede olan plazmalar** çok yüksek elektron ve ağır parçacık sıcaklıkları ile karakterize edilir ve neredeyse %100 iyonlaşmışlardır. Elektriksel Arklar, Plazma Jetleri ve Termonükleer Füzyon reaksiyonları termal dengede olan plazmalara örnek olarak verilebilir. **Termal dengede olmayan plazmalar** çok yüksek sıcaklıklı elektronlar ve buna nazaran çok düşük sıcaklıklı ağır parçacıklardan oluşmuştur ve iyonlaşma dereceleri 10^{-4} ile %10 arasında oldukça düşüktür. Doğru akım (DC) ve radyo frekans (RF)deşarjlarla, floresans ve neon lambalar termal dengede olmayan plazmalara örnek olarak verilebilir.

“Termal dengede olmayan plazmalar” yukarıda belirtildiği gibi ağır parçacıklara nazaran çok yüksek elektron sıcaklıkları ile karakterize edilir. Bu sırada plazmanın oluşturulduğu gazın sıcaklığı başka bir deyişle plazmanın oluşturduğu kabın sıcaklığı oda sıcaklığı derecesinde kalır. “Termal dengede olmayan plazmalar” temel olarak;

- i. Düşük Basıncılı Dengede Olmayan Plazmalar
- ii. Atmosferik Basıncılı Dengede Olmayan Plazmalar
- iii. Düşük Basıncı, Yüksek Yoğunluklu Plazmalar

şeklinde üçe ayrılır.

Düşük Basıncılı Dengede Olmayan Plazmalar; DC deşarjlar (karanlık deşarj, DC lüminesans (glow) deşarj ve dc ark deşarj), düşük basıncılı alternatif akım deşarjlar ve yüksek frekans plazmalar (radyo frekans deşarj) gibi üç farklı plazma tekniğini içerir.

Atmosferik Basıncılı Dengede Olmayan Plazmalar; Dielektrik Bariyer Deşarj (DBD), Korona Deşarj, Sıkıştırılmış Glow (Constricted glow), Elektron Çoğalma (Electron avalanche), Lokal Townsend Deşarjlar (Localized Townsend Discharges) ve Kıvılcımlar (Streamers) atmosferik basınç dengede olmayan plazma üretmek için kullanılan bazı tekniklerdir.

Düşük Basıncı-Yüksek Yoğunluklu Plazmalar; Elektron Siklotron Rezonans Plazmalar (Electron Cyclotron Resonance Plasmas), Magnetik Olarak Hapsedilmiş Plazmalar (Magnetically Confined Plasmas), Helicon Plazmalar (Helicon Plasmas), Mikrodalga Plazmalar (Microwave Plasmas) genellikle 1-20 mtorr gibi düşük basınçlarda yüksek güç yoğunluklu ve yüksek iyonlaşma dereceli plazma üreten dengede olmayan plazmalardır.

Dengede olmayan plazmaların (soğuk plazmalar) üretim teknikleri ve özellikleri farklı özellikler göstermektedir. Ancak genel olarak karakteristikleri özetlenirse;

- i. Elektronlar; iyonlar ve nötral moleküler- ve atomik- parçacıklardan çok daha büyük hızlara dolayısıyla enerjilere sahiptir. Elektronların sıcaklıkları 10^4 - 10^5 K (1-10 eV) olurken, plazması üretilen gazın sıcaklığı oda sıcaklığı civarında olabilmektedir. Bu nedenle elektronlar, inelastik çarpışmalarla uyarılma ve iyonlaşma gibi plazma reaksiyonlarını gerçekleştirerek dışarıdan verilen enerjinin plazmaya aktarılmasına neden olurlar. Bununla birlikte deşarj parametreleri ile elektronların enerjisi ve gaz sıcaklığı kontrol altında tutulabilir.

- ii. Plazması oluşturulan gazın ve dolayısıyla plazma çeperlerinin sıcaklığı oda sıcaklığı civarında olur. Bu nedenle soğuk plazmalar olarak da adlandırılırlar. Bu özellik, dengede olmayan plazmaların numune işleme uygulamalarında en çok kullanımına neden olmaktadır. Hangi tür numune işleme uygulaması olursa olsun, işlem sırasında numunenin sıcaklığının artması numunede hasara neden olmaktadır. Örneğin ince film depolamada numune sıcaklığı artarsa plastik üzerine depolama yapılabilmesi mümkün değildir. Ya da herhangi bir biyomedikal cihaz steril edilirken yüksek sıcaklıklara maruz kaldığında hasara uğrayabilmektedir.
- iii. Çok çeşitli reaktör tipleri ve reaktör boyutları kullanılabilir. Bu özellik, teknolojik uygulamalarda, probleme ve koşullara uygun sistemler üretilmesini sağlar.
- iv. Çok çeşitli elektrot tipleri ve boyutları kullanılabilir. Hatta hiç elektrot kullanılmadan da üretilbilirler. Elektrotların plazma ile temas etmemesi sağlanabilir. Sıvı elektrotlar dahi kullanılabilir.
- v. İstenilen çok geniş basınç aralıklarında çalışılabilir. Hatta atmosfer basıncında üretilbilirler. Ayrıca istenilen gaz ya da gaz karışımları kullanılabilir.
- vi. Çok küçük deşarj boyutlarında üretilbilirler. Böylece plazma televizyonlarındaki bir pikselin ışık kaynağı dahi olabilirler.
- vii. Çok çeşitli güç kaynağı seçenekleri ile plazma üretilir.
- viii. Son derece ucuz, kolay ve basit metotlar geliştirilebilir.
- ix. Farklı iyonizasyon dereceleri elde edilebilir.
- x. Bölgesel olarak homojen plazmalar elde edilebilir.
- xi. Aktif türler üretebilirler. Yeni ürün keşfedilebilir.
- xii. Kimyasal reaksiyon oranları yüksektir. Bu nedenle yüksek üretim oranı sağlarlar.
- xiii. Kararlı plazmalar üretirler.
- xiv. Atmosferik basınçlarda çalışmaları nedeniyle, herhangi bir vakum sistemine ihtiyaç duymadığı için, son derece verimli ve düşük maliyette olabilmektedirler (Akan 2003).

Bütün bu özellikleri ile dengede olmayan plazmalar, teknolojiye çok sayıda kullanım alanı bulmuştur. Bunlardan bazıları; Yüzey kaplama, İnce film depolama, Yüzey sertleştirme (plazma nitrüleme, karbürleme, borlama), Yüzey oyma (etching), Yüzey koparma (ashing), Ozon üretimi, Plazma polimerizasyon, Plazma sterilizasyon, Lazer, UV üretimi, Plazma kimyası (metan-oksijenden metanol üretimi, hidrojen ve nitrojenden

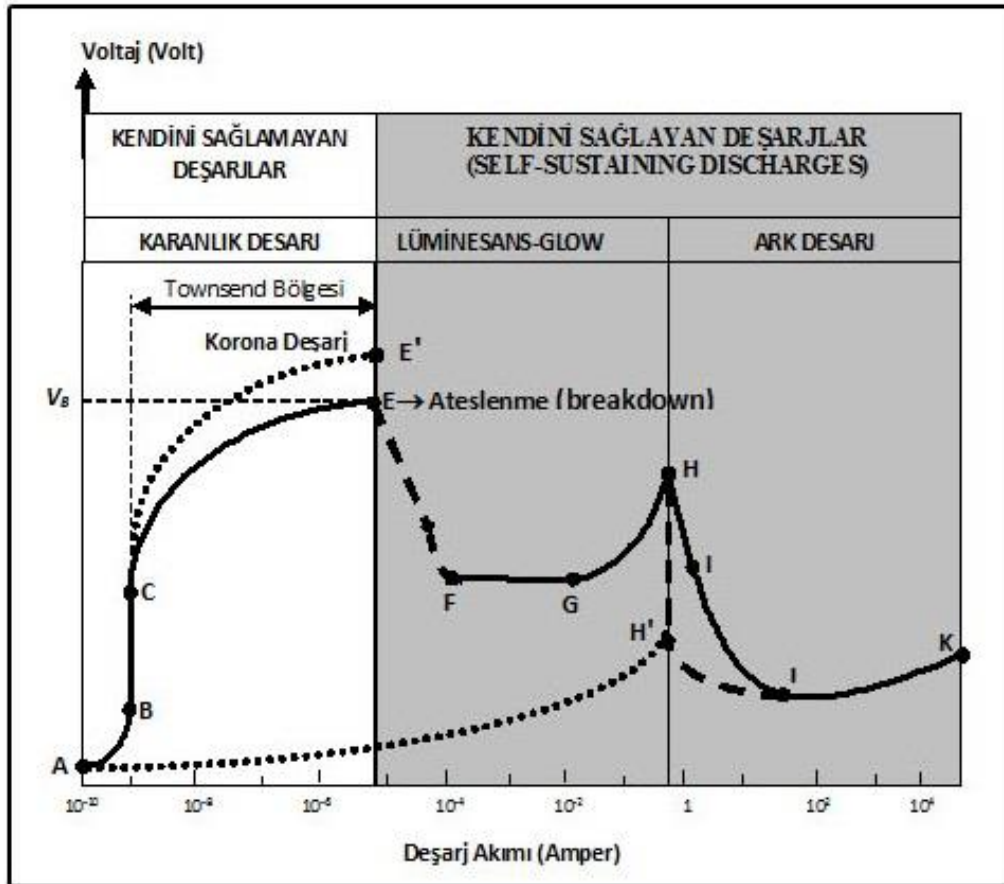
amonyak üretimi, XeF_4 gibi soygaz bileşikler üretimi, metan gazından asetilen üretimi, metan gazından elmas yapıda karbon üretimi), Petrokimya, Egzoz gazları kontrolü, baca gazı temizleme, baca gazlarından nitrojen ve sülfür oksitlerin ayrıştırılması, Plazma görüntü ekranları ve televizyonları, Su arıtma, Boyalardan uçucu bileşiklerin atılması, Plastik kaplama, İyon kaynağı, Işık üretimi (floresans, neon, sodyum ve civa lambalar), Şehir çöpü, tıbbi ve sıvı atık arıtma, Yarıiletken teknolojisi, Entegre devre üretimi, Yüzey aktivasyonu ve polimerlerin fonksiyonelleştirilmesi, Yüzey temizleme, Oksidayson (TiO_2 gibi), Plazma adresli sıvı kristaller, Protez yapımı, Amorf silikon ve elmas yapıda karbon üretimi, Organik ve inorganik kaplama olarak sıralanabilir (Akan, 2003).

Dengede olmayan plazmalardan en bilineni ve teknolojide en çok kullanılanı **GAZ DEŞARJ PLAZMALARİ**'dir. Kullanılan güç kaynağı, kullanılan elektrotlar, kullanılan gaz cinsi ve basıncına göre çok çeşitli sayıda gazdeşarj plazmaları vardır. Bunlara, doğru akım gazdeşarj plazmalar (DCdeşarjlar), radyo frekansdeşarjlar (RFdeşarjlar), pulslu glowdeşarjlar, atmosferikdeşarjlar, dielektrik bariyerdeşarj, koronadeşarj, magnetrondeşarj örnek olarak verilebilir. Bu çalışmada dengede olmayan (soğuk plazma) plazmalara tipik bir örnek olan ve teknolojide çok sayıda kullanım alanı bulmuş olan doğru akım gazdeşarjlar (DC gazdeşarj)'ın en önemli rejimi lüminesans (glow)deşarj açıklanmıştır.

4.2. Lüminesans (Glow) Deşarj Oluşumu

Herhangi bir ortamdan elektrik akımı iletilebilmesi için o ortam içinde yüklü parçacıkların bulunması gereklidir. İdeal gazların birbirleriyle etkileşmesi ihmal edilen yüksüz parçacıklardan oluştuğu kabul edilir. Bu nedenle elektriği iletmezler. Ancak doğada bulunan bütün gazlar içinde güneşten gelen morötesi ışınlar, radyoaktif ışınlar veya kozmik ışınlar nedeniyle bir miktar yüklü parçacık bulunur. Bu yüklü parçacıklar gazın nötral atomları ile çarpışarak yeni yüklü parçacıkların (elektronların, pozitif ve negatif iyonların) oluşmasına neden olabilirler. Bu şekilde gaz içindeki yüklü parçacık sayısının artmasıyla gaz elektriksel olarak iletken hale gelebilir. Bu nedenle bir gazın iyonlaştırılması ile oluşan plazma hali, gaz halinden farklı olarak elektrik akımını iletir, elektrik ve manyetik alanlarla etkileşir. Örneğin doğanın oluşturduğu gazdeşarj plazmalarından birisi olan şimşekte, cm başına 20000 V'luk potansiyel farkı ile binlerce amper akım taşınabilir.

Laboratuvar koşullarında, gazlarda elektriksel deşarj oluşturmak için en yaygın şekilde kullanılan sistem; “elektriksel gaz deşarj tüpüdür”. Vakum ve gaz depolama sistemi ile vakumlanabilen ve sonra istenilen basınçta istenilen gazla doldurulabilen bu sistem, birbirine paralel düzlem levha tipi iki metal elektrot (genelde tungsten, molibden gibi erime sıcaklığı yüksek metaller) bulunan bir cam tüpten (genelde pyrex cam) oluşur (Roth 2001). Vakum ve gaz depolama sistemi bir vakum pompası, valf sistemleri, manometreler ve gaz tüplerinden oluşur. Deşarj tüpü sisteminde ayrıca, elektrotlar arasına elektrik voltajı uygulamak için bir dc voltaj güç kaynağı ve gaz içinden geçen akımın kontrol edilebilmesi için akım ayarlayıcı bir direnç de kullanılır. Vakumlandıktan sonra, içine saf gaz yerleştirilen bir gaz deşarj tüpünün elektrotları arasına dc voltaj güç kaynağı ile voltaj uygulanarak ve bu sırada deşarj içinden geçen akımın ve deşarj üzerindeki voltajın ölçülmesi ile elde edilen akım-voltaj karakteristiği Şekil 4.1.’de verilen grafiğe benzer olur (Grill, 1993). Grafik üzerindeki değerler, kullanılan gazın cinsine, basıncına, elektrotlar arası uzaklığa, elektrotların cinsine ve yapısına göre farklılıklar gösterebilir.



Şekil 4.1. DC elektriksel gaz deşarjın akım voltaj karakteristiği (Akan, 2003).

Şekil 4.1.'den görüldüğü gibi akım-voltaj karakteristiği çok farklı davranışlar göstermektedir. Bu durum, deşarj tüpü içindeki yüklü parçacık sayısındaki artışa neden olan kaynakların değişmesinden dolayıdır. Bu nedenle bu karakteristik üzerinde farklı bölgeler oluşmaktadır. Deşarj tüpü içindeki yüklü parçacıkların artışı, deşarjın kendisi tarafından sağlanıyorsa kendini sağlayan (self sustaining) deşarj, yük artışı bir dış kaynak tarafından sağlanıyorsa, kendini sağlamayan (non-self sustaining) deşarj olarak adlandırılır. Deşarj tüpü içinde, yüklü parçacıkların artışına sebep olan elektron emisyon kaynakları da değişmektedir. Örneğin karanlık deşarj bölgesinde doğal radyasyon (fotoelektrik emisyon) yoluyla, lüminesans (glow) deşarj durumunda ikincil elektron emisyonu yoluyla, ark deşarj bölgesinde termiyonik emisyon ve alan emisyonu yoluyla, yüklü parçacık sayısında artış sağlanmaktadır. Bununla birlikte karakteristik üzerinde, deşarj tüpünden yayınlanan radyasyon şiddetine göre de sınıflandırma yapılmıştır. Karanlık deşarj olarak adlandırılan bölgede, yayınlanan radyasyon görünür bölgede olmadığı için karanlık deşarj olarak adlandırılır. Lüminesans (glow) deşarj bölgesinde yayınlanan radyasyon, görünür bölgede olduğu için gözle görünür bir ışıltıya meydana gelir. Bu nedenle “lüminesans” veya diğer adı ile “glow deşarj” bölgesi olarak adlandırılır.

Bir gaz içinden dc elektrik akımının geçişini ve böylece Şekil 4.1.'de verilen akım-voltaj karakteristiğinin oluşumu açıklanacak olursa. Deşarj tüpü içindeki elektrotlar arasına voltaj uygulanmadan önce, deşarj tüpü içine yerleştirilen gazda her zaman bir miktar serbest elektron ve iyon vardır. Bunlar, güneşten gelen radyoaktif ışınlar ve uzaydan gelen kozmik ışınların gaz içindeki nötral atomları iyonlaştırması ve ayrıca doğada bulunan bu radyoaktif ışınların, deşarj cihazının elektrotlarından fotoelektrik emisyon yapmasıyla oluşurlar. Deşarj tüpünün yapıldığı camın kendisi de radyoaktif yayınlama yapabilir. Elektrotlar arasına uygulanan voltaj yavaş yavaş arttırılırsa, gaz içinde doğal olarak bulunan elektronlar anoda, pozitif iyonlar katoda doğru hareket etmeye başlarlar ve bu yüklü parçacık hareketi nedeniyle deşarj içinden bir miktar akım geçer. Katot ile anot arasına uygulanan voltaj belli bir değere gelinceye kadar (B noktası) bu akım artar ve bu noktada birim zamanda üretilen tüm yükler elektrotlar tarafından toplanılmıştır ve voltajın arttırılmaya devam edilmesiyle birim zamanda elektrotlar tarafından toplanan yük sayısında artış olmayacaktır. Sonuç olarak akım voltaj karakteristiği doyuma ulaşacaktır. Burada yüklü parçacıklar elektrotlara doğru hareket ederken, çarpışmalarla iyonlaşma yapacak kadar enerjiye sahip değildirler. Buraya kadar deşarj tüpü içindeki tüm yükler

doğal yollarla üretildiği için, (AB) bölgesi doğal radyasyon ile iyonizasyon bölgesi olarak adlandırılır. (B) noktasından sonra deşarj cihazı üzerine uygulanan voltaj arttırılsa dahi, akımın artmayıp sabit kaldığı doyum (satürasyon) bölgesi (BC) oluşur. Bu bölgede tüp içinde hala doğal olarak üretilen yükler vardır. Ancak birim zamanda birim kesitten geçen yük miktarı sabit kaldığından akım da değişmemektedir. Doyum (satürasyon) rejiminde anot ile katot arasına uygulanan voltaj arttırılmaya devam ettikçe akım artmaz ancak deşarj içindeki yüklü parçacıklar giderek daha fazla enerji kazanırlar. Tam (C) noktasında, elektronlar artık gaz atomlarını iyonlaştıracak kadar enerji kazanmışlardır ve deşarj tüpü içindeki yüklü parçacık sayısı eşitlik 4.1. reaksiyonu ile giderek artacaktır. İyonizasyon, gaz deşarj plazmalarında yüklü parçacıkların üretilmesindeki en önemli olaydır ve iyonizasyon reaksiyonu;



şeklindedir. Burada e ; elektron, A ; nötral gaz atomu ve A^+ ; A atomunun iyonudur. Böyle bir çarpışma reaksiyonunda; enerjistik elektron (en az A atomunun iyonlaşma enerjisinde enerjiye sahip olan elektron), nötral A atomuna çarpar ve bu atomun bir elektronunu koparır ve pozitif iyon haline getirir. İyonizasyon reaksiyonundan görüldüğü gibi nötral atoma çarpan bir enerjistik elektron, yeni bir elektron-iyon çifti oluşturmuştur. Her enerjistik elektron benzer reaksiyonu yapabilir ve böylece zincirleme yük artışı gerçekleşir. Yük artışına yukarıdaki denklemden farklı olarak sebep olan başka plazma içi reaksiyonları da vardır (Goldston ve Rutherford, 1995). Bu artış Townsend'in birinci iyonizasyon katsayısından hesaplandığında exponansiyel bir artış olarak bulunur. Bu nedenle karakteristik üzerinde (CE) arasındaki bölge exponansiyel artan bölgedir. Bu artış (E) noktasında kritik bir değere ulaşır ve bu noktaya karşılık gelen voltaj V_B ; "**Ateşlenme (Breakdown) Voltajı**" olarak adlandırılır. Breakdown voltajından sonra deşarj üzerindeki voltaj birden azalarak lüminesans (glow) deşarj bölgesine geçilir. Glow deşarj bölgesi; glow deşarja geçiş bölgesi (EF), normal glow deşarj bölgesi (FG) ve anormal glow deşarj bölgesi (GH) olarak üçe ayrılır.

Elektrotların yapısına göre kritik değere ulaşılan bu bölge yani breakdown voltajına karşılık gelen bu nokta da farklı bir durum gözlenebilir. Eğer elektrotlar üzerinde sivri yada keskin uçlar varsa, uygulanan voltaj nedeniyle bu sivri ve keskin bölgelerdeki elektrik alan

çok yüksek olacağından, alan elektron emisyonu nedeniyle koronadeşarj oluşur (Nasser, 1971). Bu nedenle breakdown voltajı değeri daha yüksek bir değere çıkabilir (E'). Koronadeşarjlar, pozitif ve negatif korona olarak ikiye ayrılır ve ozon üretiminde sıklıkla kullanılır. Satürasyon rejimi ile breakdown voltajı arasında kalan bölge Townsend rejimi olarak adlandırılır.

Buraya kadar gaz içinden akım geçişinin anot ile katot arasındaki uzayda, dış kaynaklar nedeniyle üretilen iyonlara bağlı olduğu görülmektedir. Bu nedenle (A) noktası ile breakdown voltajı arasındaki bölgeler kendini sağlamayandeşarj bölgeleri olarak adlandırılır. Aynı zamanda bu bölgede korona hariç hiçbirdeşarj, görünür bölge dalga boyunda radyasyon (ışık) yayınlamamaz. Bu nedenle bu bölge, karanlıkdeşarj olarak da adlandırılır. Breakdown voltajından sonra yani karakteristik üzerinde (E) noktasından veya koronadeşarjın oluştuğu özel durumda (E') noktasından sonradeşarj üzerine uygulanan voltaj birden azalır ve akım çok hızlı bir şekilde artar. Bu,deşarj içindeki yüklü parçacık sayısının çok hızlı bir şekilde artmasından dolayıdır. Bu artış, plazma içinde oluşan pozitif iyonların katota vurarak, katottan ikincil elektron emisyonu yapması nedeniyle. Breakdown voltajından sonradeşarj, ihtiyaç duyduğu yüklü parçacıkları artık kendisi üretmeye başladığı için bundan sonraki karakteristik üzerindeki bölgeler, kendini sağlayandeşarjlar olarak tanımlanır.

Breakdown voltajı birdeşarj tüpünde lüminesans (glow)deşarj oluşturmak için elektrotlar arasına uygulanması gereken voltaj değeridir (Remy, vd, 2003). Birdeşarj tüpünde karanlıkdeşarj, koronadeşarj gibideşarjlar üretilse de bugün teknolojiye sıkça kullanılan ve gazdeşarj olarak çoğu kez kullanılan aslında lüminesans (glow)deşarjdır. Bu nedenle breakdown voltajı ya da breakdown koşulları aslında lüminesans (glow)deşarj oluşturma şartıdır. Breakdown öncesi, elektrotlar arası potansiyel dağılımı doğrusal dağılımdır ve elektrik alan E sabittir ve $E=V/d$ eşitliği ile verilir. Bu elektrik alan ile elektronlar anoda, pozitif iyonlar da katoda doğru hareket ederekdeşarj içinden doğru akım geçişini sağlarlar. Bu sırada katoda gelen başka bir deyişle katota vuran pozitif iyonlar ikincil elektron üretecektir (Musa, vd, 2000). Bu yük üretim işlemi, eş zamanlı oluşan iki olayla sonuçlanır.

Bunlar;

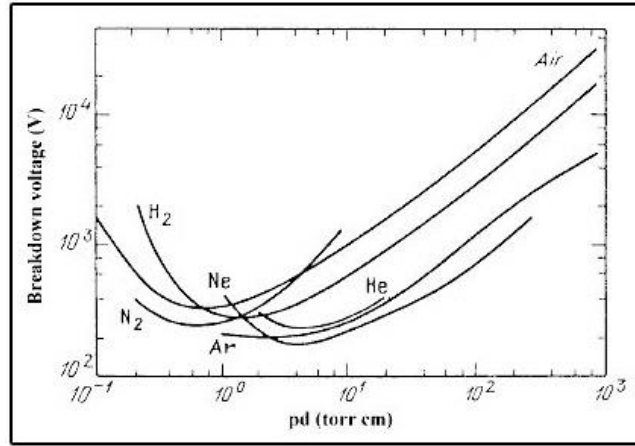
- i. Katoda gelen hızlı iyonlar elektronlar üretirler.
- ii. Üretilen elektronlar hızlandırılırlar ve katoda doğru hızlanan iyonlar üretirler. Her iki işlem de, elektrotlar arası uzayın dışındaki elektron ve iyon kayıplarını karşılamak için, belirli bir oranda olmak zorundadır. Bu kayıpların karşılanması için gerekli voltajın minimum değeri “**breakdown voltajı**” olarak adlandırılır.

Gazın ateşlenmesinden sonra yani lüminesans (glow) deşarj oluşuktan sonra elektrotlar arası potansiyel dağılımı tamamıyla değişir ve elektrotlar arasına uygulanan voltaj azalır ve üç parçaya ayrılır. Bu parçalardan katoda yakın olan voltaj düşümü; katot düşümü, anoda yakın olana voltaj düşümü; anot düşümü, ikisi arasındaki voltaj düşümü de plazma potansiyeli olarak adlandırılır. Katot düşümü glow deşarjın kendisini devam ettirmesi için yukarıda sözü edilen kayıpları karşıladığı için diğer potansiyel düşümlerinden daha fazladır.

Breakdown voltajı; kelime anlamı olarak iletken olmayan bir materyalin iletken hale geçmesi için uygulanması gereken minimum voltaj değeri olarak da tanımlanır. Lüminesans (glow) deşarjlar için Breakdown voltajının değeri,

$$v_B = n_i \left(\frac{v}{pd} \right) \ln \left(1 + \frac{1}{\gamma_i \left(\frac{v}{pd} \right)} \right) \quad (4.2)$$

ile verilir. Burada n_i ve γ_i deneysel olarak elde edilen ve p ile d çarpımına bağlı birer sabit, p; gaz basıncı ve d; elektrotlar arası uzaklıktır. Breakdown voltajı yalnızca gazın basıncı ve elektrotlar arası uzaklığın çarpımına (pd) bağlıdır. Bu bağımlılık Paschen yasası olarak tanımlanır (Bogaerts, vd, 2002). Farklı gazlar için breakdown voltajının düşük basınçlarda deneysel olarak elde edilmiş (pd) bağımlılığı Şekil 4.2.’de verilmiştir ve bu eğride, $V_{\text{breakdown}}$; pd çarpımına bağlıdır, ayrı ayrı p’ye ya da d’ye bağlı değildir.

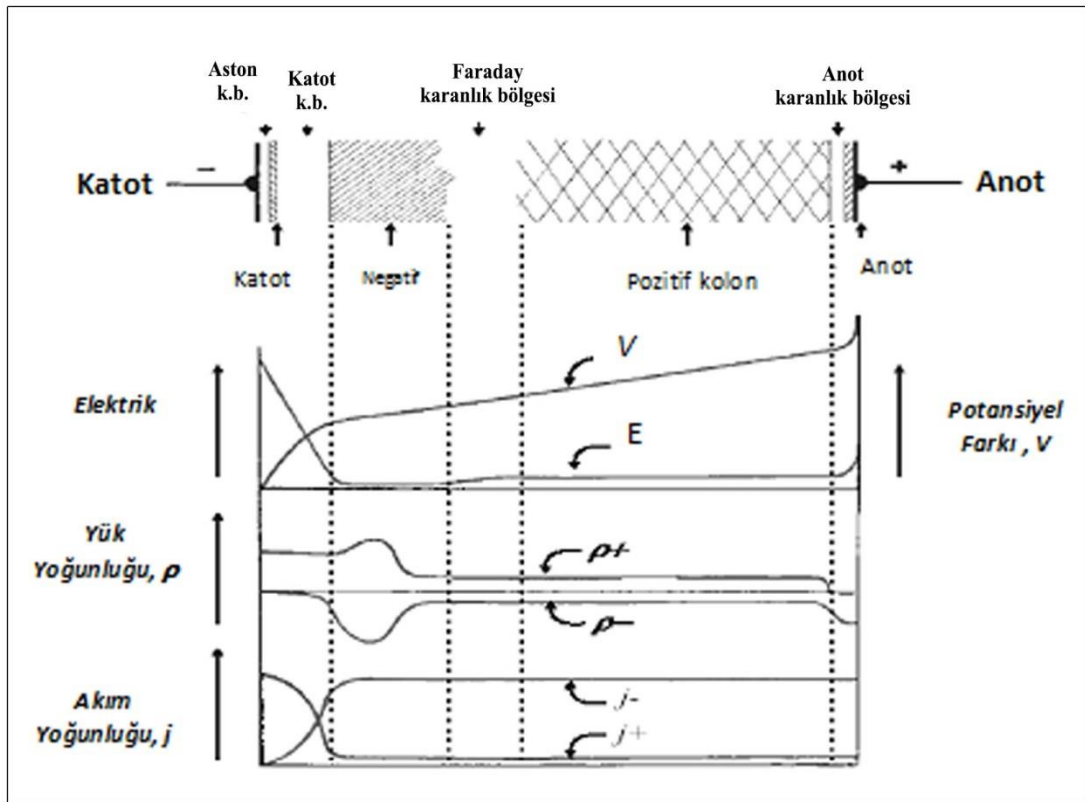


Şekil 4.2. Farklı gazlar için Paschen eğrileri (Razier, 1991).

Şekil 4.2.'den görüldüğü gibi büyük pd (yüksek basınç ve büyük elektrotlar arası uzaklık) için breakdown voltajı pd ile neredeyse doğru orantılı olarak artmaktadır. Eğrinin sol kısmında yani düşük pd (düşük basınç, düşük elektrotlar arası uzaklık) bölgesinde de, pd çarpımı azalırken breakdown voltajının arttığı görülmektedir. Bundan dolayı bu grafikte Paschen minimumu olarak adlandırılan bir minimum oluşur. Bu grafiğin bu şekilde çıkmasının nedeni iyonlaşma olasılığı ile ilgilidir. Bu minimumda, bir elektronun iyonlaştırıcı çarpışma olasılığı maksimumdur. Başka bir deyişle minimum civarında breakdown koşullarının, yük artışı için koşulların optimum olması nedeniyle en elverişli bölge olduğu söylenebilir. Paschen eğrisi uygulamalarda çok önemlidir. Ticari deşarj tüpleri imal edilirken gerekli yüksek voltaj değerlerini düşürmek için Paschen minimum aralığı seçilir. Paschen minimumundaki değerler, $V_{\min}$ ve $(pd)_{\min}$, kullanılan gaz ve elektrotlar cinsine bağlıdır ve aynı gaz ve katot için sabittir. $pd = \text{sabit}$, Scaling yasası olarak bilinir. Buradan atmosferik basınçta bir glow deşarj oluşturmak için μm mertebesinde elektrotlar arası uzaklık gerektiği kolayca anlaşılabılır.

Buraya kadar Şekil 4.1.'de verilen karakteristikle paralel olarak, düşük basınçtaki bir gaz içinden elektrik akımı geçirilerek üretilen lüminesans (glow) deşarj oluşumu detaylı bir şekilde anlatılmıştır. Bu bölümde lüminesans (glow) deşarj detaylı olarak incelenecektir. Lüminesans (glow) deşarj oluşumu kısaca özetlenecek olursa; bir gaz deşarj tüpünün elektrotları arasına bir potansiyel farkı uygulanırsa öncelikle gaz, elektron ve pozitif iyonlara ayrışacaktır. Elektronlar anoda doğru, pozitif iyonlar da bu potansiyel farkı ile katoda doğru hızlanacak ve katottan ikincil elektron emisyonu yapacaktır. Katottan

yayınlanan ikincil elektronlar tekrar gaz içine girecek ve gaz atomları ile çok sayıda çarpışmalar yapacaktır. Bu yeni çarpışmalar sonucu yeni iyonizasyonlar ve foton yayınlayıcı uyarılmalar oluşur. Bu şekilde deşarj içinden sürekli bir doğru akımı geçişi olur ve doğru akım lüminesans (glow) deşarj oluşur (Chapman, 1980). Lüminesans (glow) deşarj oluşması için elektrotlar arasında uygulanan potansiyel farkı, deşarj oluşuktan sonra anot ile katot arasında eşit olarak dağılmaz (Şekil 4.3.), üç parçaya ayrılır fakat neredeyse tümüyle katodun birkaç milimetre önüne düşer. Çok güçlü bir elektrik alan ile karakterize edilen katoda bitişik olan bu bölge katot karanlık bölgesi-katot düşümü olarak veya kılıf (sheath) olarak adlandırılır. Negatif glow olarak adlandırılan deşarjın en uzun parçasında potansiyel, neredeyse sabit çok küçük bir pozitif eğime sahiptir ve dolayısıyla düşük elektrik alan vardır ve plazma potansiyeli olarak adlandırılır. Diğer bölge anot düşümü olarak adlandırılır. Bu durum elektrotlar arası kısa ve/veya düşük basınçlarda olur. Katot-anot arası uzaklık büyük olduğunda (örneğin 100 Pascal argon gazında 1-10cm de) elektrotlar arasında ortaya çıkan ışık yayınlayan ve yayınlamayan bölge sayısı ve potansiyel ve elektrik alan dağılımı Şekil 4.3.'deki gibi olacaktır.



Şekil 4.3. DC glow deşarjda elektrotlar arasındaki elektrik ve potansiyel alan dağılımı ile yük ve akım yoğunlukları değişimi (Remy, vd, 2003).

Katot civarındaki yüksek potansiyel düşümü yani katot düşümü deşarjı sağlamak için gereklidir. Şekil 4.3.'ten görüldüğü gibi, katot civarındaki potansiyel düşümü yani katot düşümü negatif glow'un bitiminden başlar. Katot düşümü'nde yüklü parçacıkların hareketi yönlendirilir ve bu yüklü parçacıklar bu potansiyel düşümünde oldukça yüksek enerji kazanırlar. Akım yoğunluğu,

$$j = j_e + j_p = en_e v_e + en_i v_i \quad (4.3)$$

ilişkisi ile verilir ve toplam deşarj akımı korunur. Katot düşümü bölgesinde daha düşük yük yoğunluklarında dahi toplam deşarj akımı korunacaktır. Yük yoğunluklarının daha küçük değerleri, katot düşümündeki iyon (v_i) ve elektronların hızlarının (v_e) artmasıyla karşılanacaktır. Katot düşümü bölgesinde lokal termodinamik dengenin (LTD) olduğunu kabul edilemez. Sonuç olarak klasik diagnostik metotlarını kullanmak güçtür. Ayrıca bu bölge için elektron sıcaklığı bir parametre olarak düşünülmemelidir (Musa, vd, 2000).

Gerçek bir plazma hali olan pozitif kolon bölgesinde plazma yoğunluğu oldukça yüksektir. Bu sebepten dolayı iletkenlik yüksek olup, negatif ve pozitif iyon yoğunluğu hemen hemen eşit olduğu için böyle bir plazma boyunca potansiyel düşümü düşüktür. Ayrıca, plazma yoğunluğu yüksek olduğu için, iyonizasyon oranı, düşük alanlarda dahi kayıpları karşılayabilecek ve plazma yoğunluğunu koruyacak kadar yüksektir. Bu bize pozitif kolon boyunca neden yaklaşık olarak sabit bir voltaj ve küçük bir elektrik alanı değerine sahip olduğumuzu açıklamaktadır.

Anottaki potansiyel düşümü, katotta meydana gelen işlemler nedeniyle elde edilen seviyede deşarj akımını korumak için kendini ayarlayan potansiyel düşümüdür. Şekil 4.3.'de görüldüğü gibi bir çok karanlık bölge ve aydınlık bölge anot ile katot arasında oluşmaktadır. Gerçekte karanlık bölgeler tamamıyla karanlık değildirler. Sadece civardaki bölgelerden yayınlanan ışık daha yüksek olduğundan karanlık bir bölge gibi görünürler.

Aston Karanlık Bölgesi olarak adlandırılan ilk bölge basitçe katot glow'a kadar olan bölge olarak açıklanabilir. Bu bölgede elektronların enerjisi (elektronlar bu enerjiyi katot düşümünün elektrik alanı ile hızlandırılmasıyla kazanırlar) deşarj tüpünün içini dolduran gazın atomlarını uyarmaya yetmez. Katot glow sınırı açıkça görünürdür ve gaz

atomlarının uyarılma enerjisine karşılık gelir. Katota gelen iyonlar nedeniyle katottan yayınlanan ikincil elektronlar düşük enerjiye sahiptirler. Bu nedenle uyarma veya iyonlaşma yapamazlar ve Aston karanlık bölgesi oluşur. Katot'tan, katot glow'a kadar olan uzaklık, katot düşümü nedeniyle hızlanarak enerji kazanmak için elektronlar için gerekli uzaklığa karşılık gelir.

Katot Aydınlık Bölgesi gaz atomlarının uyarılma enerjisine karşılık gelir. Bu bölge dardır. Çünkü uyarma için enerjilerini kaybeden bu elektronlar daha fazla uyarma yapmak için enerjiye sahip olamazlar. Diğer taraftan, elastik olmayan çarpışmalara sahip olmayan bu elektronlar, uyarma için gerekli optimum değerden çok daha büyük enerjiyi anot glow'un sonunda kazanırlar.

Katot glow'dan sonraki diğer karanlık bölge olan **Katot Karanlık Bölgesi (Crookes veya Hittorf)** iki sebepten dolayı oluşur. Bunlar;

i. İnelastik olarak atomlarla çarpışma yapan elektronlar uyarma enerjisine denk bir enerjiyi kaybettiler ve artık herhangi bir atomu uyarma veya iyonlaştırma işlemi yapamazlar.

ii. Atomları uyarma işlemi yapmamış olan elektronlar biraz daha fazla enerji kazandılar; bu sebepten maksimum uyarma ya da iyonlaşma enerjisini aştılar. Uyarma veya iyonlaşma olasılığı maksimum değerlerden daha yüksek enerji değerlerinde aniden düşer.

Negatif Aydınlık Bölgesi katot tarafında keskin bir sınıra sahiptir ve katot düşümü alanında hızlandırılan elektronların gaz atomlarını iyonlaştırmak için yeterli enerjiyi kazandığı nokta olarak ifade edilir. Negatif glow bölgesinde iki ilginç durum vardır;

i. Bu bölgedeki elektrik alan neredeyse sıfır olacak kadar düşüktür ve ayrıca bu bölgede, iki grup elektron vardır. Bunlar $T_e \leq 1$ eV olan çok soğuk elektronlar ve normal elektronlardır.

ii. Bu bölgedeki nötralite sağlanmamıştır. Negatif glow her zaman negatif yük fazlalığına sahiptir. Bu bölge en yüksek şiddetli ışık yayınlayan deşarj bölgesidir. Burada yayınlanan ışıklar, çoğu elektron-iyon birleşmesiyle sonuçlanan uyarılmış atomların tekrar uyarılmadan önceki durumlarına dönerken yayınlanan ışıktır (Musa, vd, 2000).

Negatif glow bölgesinden sonra, düşük bir ışığa sahip **Faraday Karanlık** bölgesi oluşur. Negatif glow bölgesinde elastik olmayan çarpışmalarla enerjilerini kaybetmiş elektronlar, yeniden iyonlaştırma yapmak için Faraday karanlık bölgesinde hızlanırlar. Yani karanlık uzayda enerji kazanırlar. Ayrıca elektronlar Faraday karanlık uzayında pozitif kolonun içine girmek için fazla enerji kazanırlar ve gaz atomlarını iyonlaştırmaya veya uyardırmaya başlarlar.

Pozitif Kolon kısmında plazmanın yoğunluğu oldukça yüksektir ve elektrik alan düşüktür. Uzun mesafeli Coulomb etkileşimleri nedeniyle güçlü etkileşimler elektronların enerjisini Maxwell dağılımlı bir gaz oluşturacak şekilde enerjilerini ve elektron sıcaklığını eşitler. Hareketler küçük sürüklenme tipidir ve herhangi bir uniformsuzluk, difüzyon işlemleri ile aniden telafi edilir (ambipolar difüzyon). Maxwell dağılımında iyonizasyonlar, uyarılmalar ve elektronlar lokal termodinamik dengededir. Sistemden sadece elektromanyetik radyasyon kaybı vardır.

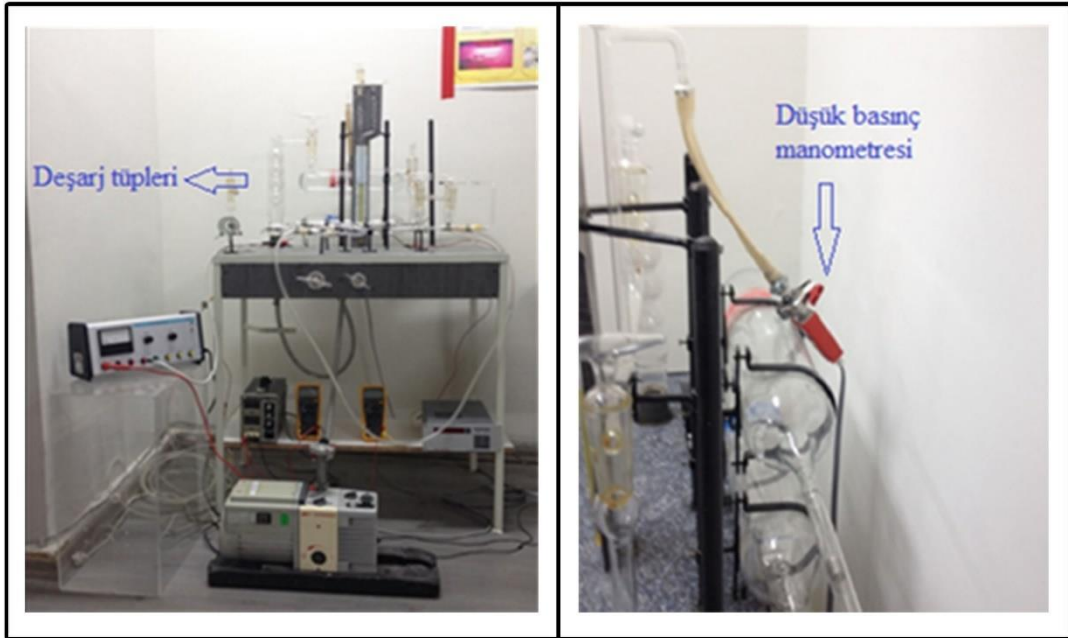
Pozitif kolonun anot ucunda, anoda yük kayıplarından dolayı, **Anot Karanlık Bölgesi** diye adlandırılan bir karanlık bölge daha belirir. Burada hem elektronların hem de iyonların yoğunluğu azalır. Bu sebepten, deşarj akımını korumak için ($j = nv$ eşitliğinden sabit j için, n azalırsa v artar) hızlanan elektron doğrudan anoda düşer. Bu hızlandırıcı alan nedeniyle elektronlar enerji kazanırlar ve gaz atomlarını iyonlaştırırlar. Bu sebepten anot yüzeyinde **Anot Glow** olarak adlandırılan bir ışıldama gözleriz. Bu belirtilen bölgeler 10^{-1} - 10^{-2} torr'luk gaz basınçlarında ancak tam olarak görülebilir. Bütün bu bölgelerin kalınlıkları gaz basıncının azalmasıyla artar, basıncın artmasıyla da azalır. Sonuç olarak 1 torr'dan daha yüksek basınçlarda deşarj tüpü tümüyle pozitif kolonla doldurulur. Katot düşümü bölgesi deşarjı muhafaza edilmesi için önemlidir. Anodu katot doğrultusunda hareket ettirebilirsek, deşarj anot negatif ışıldamanın sonuna gelinceye kadar kararlı kalır. Bu mesafe azaltılırsa, ikincil elektron üretmek zorunda olan iyonları üretecek dar bir uzay olmadığı için deşarj söner (Musa, vd, 2000).

5. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu bölümde deneysel sistem açıklanarak, Paschen eğrisi çıkarımı, Pozitif Kolon Elektrik Alanı bulunması, Langmuir Prop ile elektron sıcaklığı ölçümü, Akım Yoğunluğu Tayini, Lüminesans (Glow) Deşarjın Pozitif Kolonunun Spektroskopik İncelenmesi, AC Güç Kaynağı ile Üretilen Lüminesans (Glow) Deşarj Karakteristikleri ve son olarak Atmosferik Basınc Lüminesans (Glow) Deşarjlar için elde edilen deneysel sonuçlar verilmiştir.

5.1. Deneysel Sistem

Deneysel çalışmaların yapıldığı “Deşarj Tüpleri”, “Vakum Sistem”i ile vakumlanmakta ve farklı saf gazlar ile doldurulabilmektedir. Vakum sistemi, deşarj tüpleri, güç kaynakları ve ölçü aletlerinden oluşan deneysel sistemin fotoğrafı Şekil 5.1.’de verilmiştir.



Şekil 5.1.Deneysel sistemin fotoğrafı.

Şekil 5.1.'de verilen Deneysel Sistem aşağıda sıralanan dokuz kısımdan oluşmaktadır.

I. Deşarj Tüpleri/Cihazları: İçlerine istenilen basınçta gaz konulabilen pyrex cam tüplerdir. İçlerinde tungsten elektrotlar vardır ve dışarıya elektriksel bağlantıları yapılmıştır.

II. Mekaniksel Vakum Pompası : EDWARDS marka RV3 model 10^{-3} torr'a kadar vakum yapabilen 3.7 m³/saat pompalama hızına sahip mekaniksel bir pompadır.

III.Valfler : Vakum sistemi bir çok valften oluşmaktadır ve deşarj tüplerinin pompa yardımıyla vakumlanarak istenilen basınçta istenilen gaz ya da gaz karışımlarının doldurulmasını sağlar.

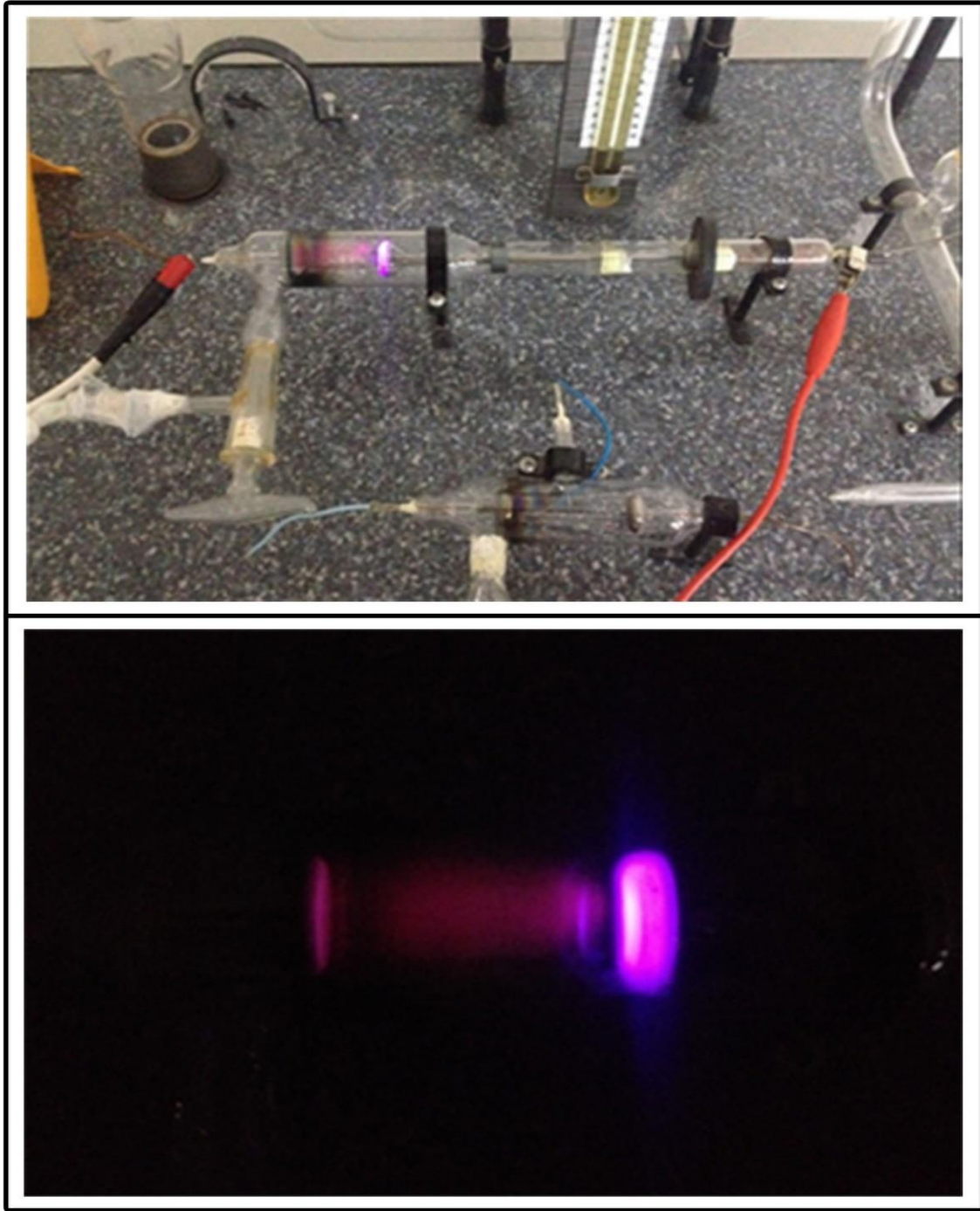
IV. Basınç Ölçüm Sistemi : EDWARDS marka Active PiraniGauge APG100-XM model düşük basınç manometresi ve EDWARDS marka Active Gauge Controller AGC SingleDisplay model dijital basınç ölçer ile yapılmaktadır.

V. Gaz Tankları : Sistemin arkasına monte ikişer litrelik REINSTGASE gaz tankları ve laboratuvarında bulunan çelik gaz tankları ile Helyum, Neon, Argon gibi soygazlar deşarj tüpleri içine yerleştirilebilmektedir.

VI. Bağlantı Boruları : Bu borular sistemin yukarıda sıralan bölümlerini birbirine ve deşarj cihazlarına bağlayan cam borulardır. Bu bağlantılar özel bir itina ile yapılmış ve kaynak noktalarının gaz kaçıışı yapıp yapmadığı "ArcTester" cihazı ile kontrol edilmiştir.

VII. Güç Kaynakları : GW (GOODWILL) GPR-3030 pozitif ve negatif 30V DC güç kaynağı ve Philip Harris 5kV d.c güç kaynağı sisteme elektrik voltajı uygulamak için kullanılmıştır. Eles marka 18 kV-15 kHz a.c. güç kaynağı AC lüminesans deşarj üretimi için kullanılmıştır.

VIII. Ölçüm Cihazları : İki adet FLUKE 179 multimetre, sistemdeki akım-voltaj ölçüm işlemleri için kullanılmıştır.



Şekil 5.3. Ateşlenme (Breakdown) voltajının ölçüldüğü deneysel deşarj cihazının aydınlık ve karanlık ortamda fotoğrafı.

Ateşlenme (Breakdown) voltajı ve Paschen yasasının ispatı için üretilen, şematik olarak Şekil 5.2. ve fotoğrafı Şekil 5.3.'de verilen deşarj tüpü iki elektrot içeren pyrex bir cam tüptür. Bu elektrotlardan katot paslanmaz çeliktendir ve kalınlığı $\phi=1$ mm olan bir

tungsten çubuğa (1) mekaniksel olarak tutturulmuştur. Tungsten çubuk cam tüpten açılan bir delikten dışarı çıkmaktadır. Bu nokta hiçbir şekilde gaz sızıntısı olmayacak şekilde çok iyi bir yalıtım maddesi (Torr-Seal) ile kapatılmıştır. Bu tungsten çubuk katodu tutmaktadır ve katodun elektriksel kontağını sağlamaktadır. Katodun arka tarafı da dahil olmak üzere, katodun arka kısmında kalan tüm bölge (tungsten çubuk dahil) koruyucu bir cam tabakası (6) ile kaplanmıştır. Bu şekilde gaz deşarjının yalnızca katodun ön yüzünde gerçekleşmesi sınırlandırılmıştır. Bu katodun çapı 16-20 mm arasındadır. Diğer elektrot anot da, benzer yapıdadır ancak katot gibi sabit değil hareketlidir. Burada da anot bir tungsten çubuğa tutturulmuştur. Fakat bu tungsten çubuk cam tüpün dışına çıkarılmamış, bakır telden yapılmış esnek ve genleşebilen bir sarmal yaya (2) tutturulmuştur. Bu bakır sarmal yay yine başka bir tungsten çubuğa (1) tutturularak cam tüpün dışına çıkarılarak hareketli anodun elektriksel kontağı sağlanmıştır. Anodu tutan tungsten çubuk silindirik bir demir parçaya tutturulmuştur (5). Bu demir parçanın çapı, cam tüpün iç yarıçapına çok yakındır. Cam tüpün dışındaki bir mıknatısa bu demir parçası tutunacaktır ve böylece anot hareket ettirilebilecektir. Deşarj cihazının bu kısmı özel olarak yapılmıştır. Bu şekilde anot katoda doğru veya zıt yönde hareket edebilecek ve katot-anot arasındaki mesafeyi (d) değiştirmek mümkün olabilecektir. Ayrıca cam tüpün içinde merkezi bir metal parçası (4) daha vardır. Bu anot çubuğunun hareketinin, cam tüpün eksenine paralel kalmasını sağlar.

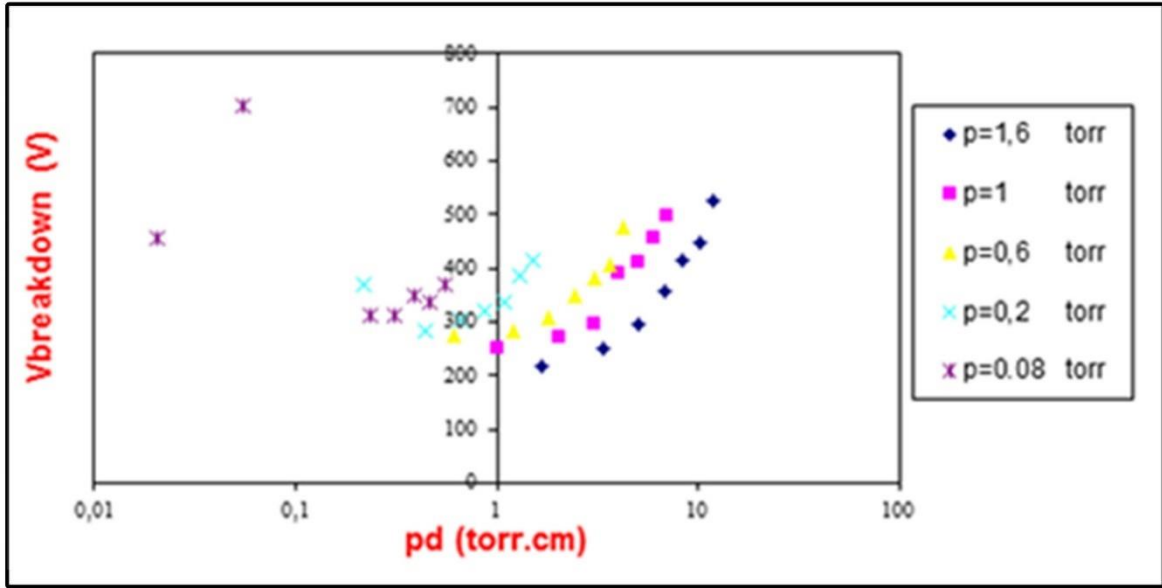
Deşarj tüpünün anot kısmı çap olarak daha küçüktür. Böylece anodun hareketini ayarlamak daha kolay olmaktadır. Deşarj tüpünün dışındaki mıknatıs (3) ile katot-anot arasındaki uzaklık değiştirilebilir. Deşarj tüpünün anot kısmında işaretlenmiş milimetrik kağıt bulunmaktadır. Bu milimetrik kağıt üzerinden katot-anot arasındaki mesafe okunabilir.

Elektriksel bağlantı için uygulanan voltajın okunmasına imkan sağlayan Philip Harris marka ayarlanabilir DC 5 kV yüksek voltaj kaynağı, FLUKE 179 marka multimetre, deşarj cihazı ve bağlantı kablolarından oluşmaktadır. Ayrıca elektrik devresinde akımı sınırlandırmak için bir de, 500 k Ω direnç kullanılmıştır.

Ateşlenme (Breakdown) Voltajı ölçümlerini almak için öncelikle deşarj tüpünün içi, vakum cihazı ile vakumlanmıştır. İyice vakumlanan Ateşlenme (Breakdown) Voltajı ölçümlerinin yapılacağı deşarj tüpü 1.6 torr saf Neon gazı ile doldurulmuştur. Deşarj cihazı

üzerindeki mıknatıs yardımıyla hareketli anot, katottan uzaklaştırılıp yada yakınlaştırılarak anot-katot arası mesafe değiştirilebilmektedir. Ayrıca hareketli anodun üst kısmında üzeri işaretlenmiş milimetrik kağıt bulunmaktadır. Bu milimetrik kağıt üzerinde bulunan sıfır noktası, iki elektrot arasının tam sıfır olduğu yani, iki elektrotun birbirine temas halinde olduğu nokta olacak şekilde ayarlanmıştır.

Ateşlenme (Breakdown) Voltajı ölçümü için Şekil 5.2.'de verilen elektriksel devre kurulduktan sonra, iki elektrot arası mesafe hareketli anot yardımıyla $d=1$ cm yapıldı. Yüksek voltaj güç kaynağı ile deşarj cihazı üzerine uygulanan voltaj yavaş yavaş arttırılmaya başlandı. Bu sırada ampermetre dikkatle gözlendi ve bu ampermetreden ani akım artışı ve aynı zamanda güç kaynağı üzerindeki voltajın birden düşmesinin gözlemlendiği andaki Ateşlenme (Breakdown) Voltajı değeri yüksek voltaj güç kaynağı üzerindeki ekrandan okundu. Bu işlem altı kez tekrarlandı ve bunların ortalaması alınarak, anot ile katot arasındaki $d=1$ cm uzaklığı için Ateşlenme (Breakdown) voltajı elde edilmiştir. Anot ile katot arasındaki mesafe $d=1-7$ cm değerlerine değiştirilerek her mesafe için Ateşlenme (Breakdown) Voltajı yukarıda açıklandığı gibi elde edildi. Ateşlenme (Breakdown) voltajı ölçümleri farklı basınçlarda tekrarlanmıştır. Bu sebeple yine vakum cihazı kullanılarak $p=1$ torr, 0.6 torr, 0.2 torr, 0.08 torr basınçlarındaki Neon gazı için Ateşlenme (Breakdown) voltajı değerleri aynı şekilde ölçülmüştür. Elde edilen veriler Şekil 5.4.'te verilmiştir. Görüldüğü gibi Neon gazının Paschen eğrisi teorik bilgiler ve şekil 3.2.'de deneysel olarak bulunan sonuçlar ile uyumlu bir şekilde çıkmıştır.



Şekil 5.4. Neon gazı Ateşlenme (Breakdown) voltajı değerleri ile elde edilen Paschen Eğrisi.

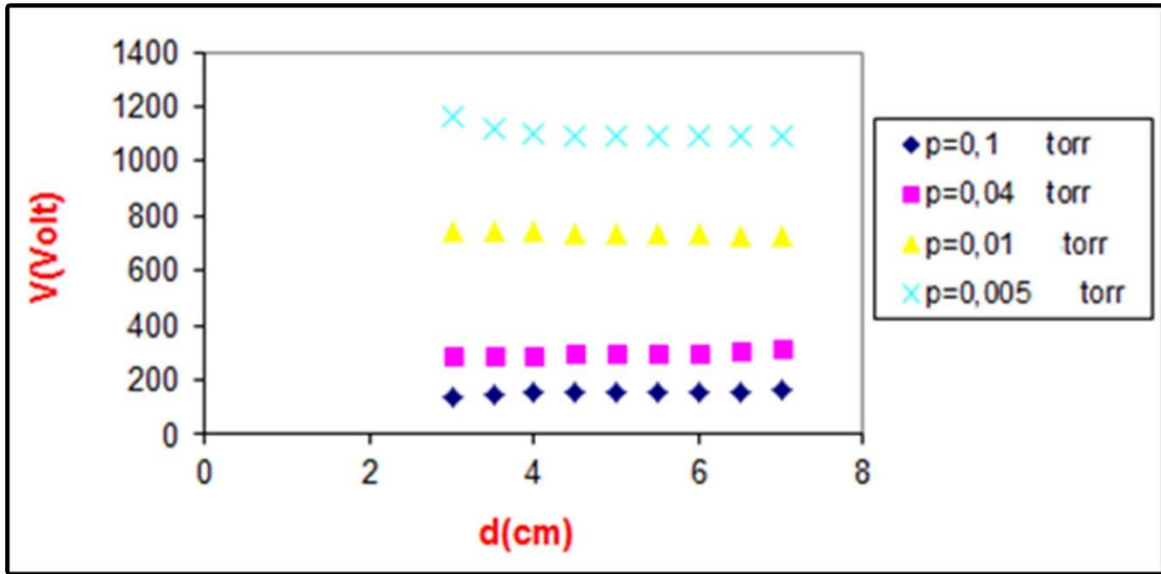
5.3. Lüminesans (Glow) Deşarjın Pozitif Kolonunun Elektrik Alanının Bulunması

Lüminesans deşarjın pozitif kolonunun elektrik alanının bulunması için şematik olarak Şekil 5.2.'de ve fotoğrafı Şekil 5.3.'de verilen sistem kullanılmıştır. Lüminesans bir deşarjın pozitif kolonunun elektrik alanının bulunması için öncelikle deşarj tüpünün içi vakum cihazı ile vakumlanmıştır. Vakumlanan deşarj tüpünün içi, 0.1 torr saf Neon gazı ile dolduruldu. Deşarj cihazı üzerinde bulunan mıknatıs yardımı ile hareketli katot hareket ettirilebilmekte ve böylece anot-katot arasındaki uzaklık değiştirilebilmektedir. Ayrıca hareketli katodun üst kısmında üzeri işaretlenmiş bir milimetrik kağıt bulunmaktadır. Bu milimetrik kağıt yerleştirilirken üzerindeki sıfır noktasında, iki elektrot arası uzaklık sıfır olması sağlanacak şekilde yerleştirilmiştir.

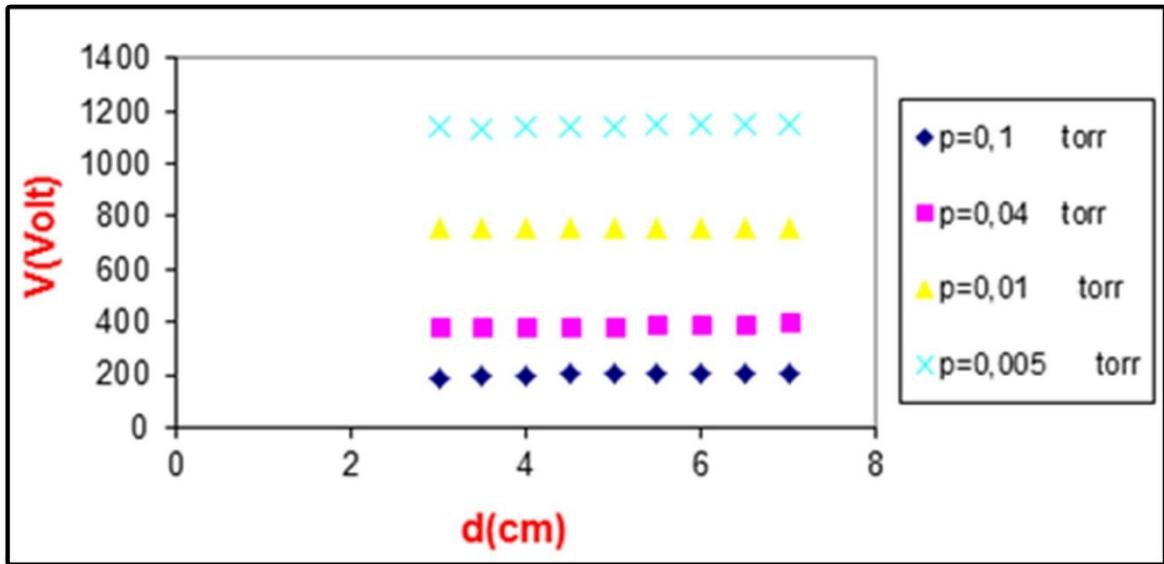
İçi 0.1 torr saf Neon gazı ile doldurulmuş deşarj cihazının elektriksel bağlantıları yüksek voltaj güç kaynağından deşarj cihazı üzerine uygulanan voltaj arttırılarak, gazın ateşlenmesi sağlandı. Güç kaynağı ile uygulanan voltaj arttırılarak deşarj akımının 0.6 mA olması sağlandı. Hareketli anodun üst kısmında bulunan mıknatıs yardımı ile hareketli anot milimetrik kağıt üzerinde $d=1$ cm'ye getirildi. Böylece anot-katot arası uzaklık $d=1$ cm yapılmış olur.

Bu sırada ampermetreden geçen deşarj akımı bir miktar değişti. Güç kaynağı ile bu akım tekrar 0.6mA yapıldı. Bu anot-katod arası uzaklık için, deşarj cihazı üzerine paralel bağlı olan voltmetreden pozitif kolonun bu mesafesinde, potansiyel farkı değeri elde edilmiştir. Bu şekilde deşarj akımı her defasına 0.6 mA olacak şekilde $d=1-7$ cm için voltmetreden okunan değerler alınmıştır. Aynı işlemler $I_{\text{deşarj}}=0.8$ mA için tekrar edilmiştir.

Sabit deşarj akımı değerinde farklı anot-katod arası uzaklıklarda elde edilen pozitif kolonun potansiyel farkı, değişik basınçlarda bulunmuştur. Bu sebeple deney $p=0.04$ torr, 0.01 torr, 5×10^{-3} torr gaz basınçları için tekrar yapılmıştır. Tüm bu verilerden her akım değerinde $V=f(d)$ grafiği farklı basınçlar için çizilmiştir. $I=0.6$ mA için çizilen grafik Şekil 5.5'te, $I=0.8$ mA için çizilen grafik Şekil 5.6.'da gösterilmiştir. Bu grafiklerin eğimleri $\text{tg}\alpha = \frac{\Delta V}{\Delta d}$, pozitif kolonun elektrik alanını verir. Elektrik alan değerleri, Çizelge 5.1. ve Çizelge 5.2.'de verilmiştir. Bulunan sonuçlar soygazlar için tipik değerlerle uygun çıkmıştır.



Şekil 5.5. 0,6 mA Neon deşarj akımı için ölçülen pozitif kolon voltaj uzaklık değerleri.



Şekil 5.6. 0,8 mA Neon deşarj akımı için ölçülen pozitif kolon voltaj uzaklık değerleri.

Çizelge 5.1. 0.6 mA Neon deşarj akımında farklı basınçlar için pozitif kolon elektrik alan değerleri.

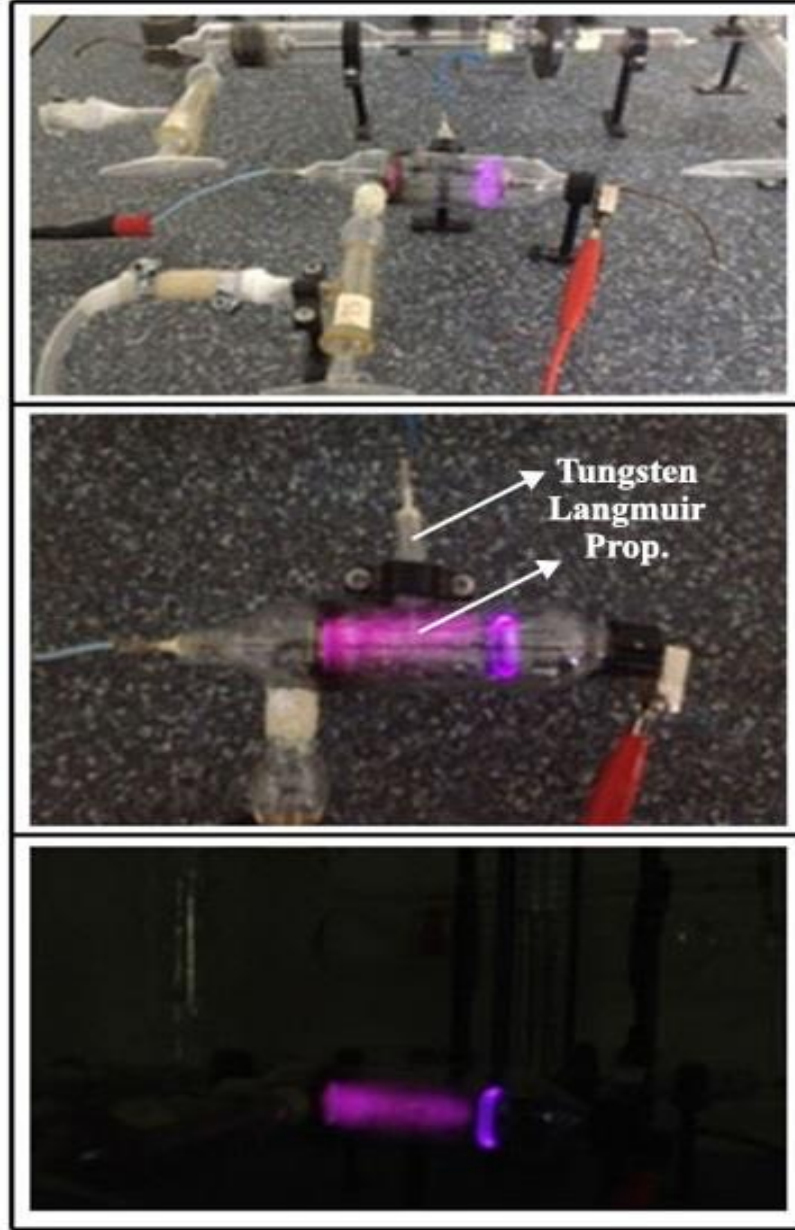
Deşarj Akımı = 0,6mA				
Basınç	p = 0.1torr	p = 0.04torr	p = 0.01torr	p = 0.005torr
Pozitif Kolonun Elektrik Alanı (V/cm)	4	6	11	24

Çizelge 5.2. 0.8 mA Neon deşarj akımında farklı basınçlar için pozitif kolon elektrik alan değerleri.

Deşarj Akımı = 0,8mA				
Basınç	p = 0.1torr	p = 0.04torr	p = 0.01torr	p = 0.005torr
Pozitif Kolonun Elektrik Alanı (V/cm)	3	4	5	5.5

5.4. Langmuir Prop Kullanarak Elektron Sıcaklığı Ölçümü

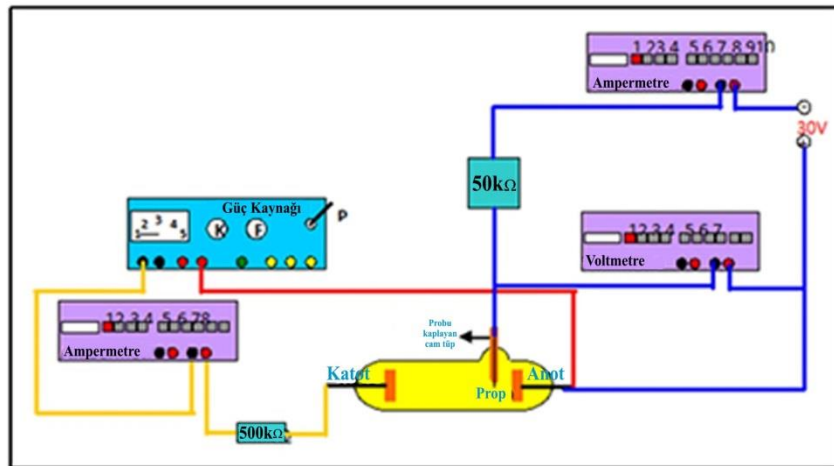
Bu deneyde Neon gazı plazmasının, Langmuir prop kullanarak elektron sıcaklığı bulunmuştur. Bu deneyde kullanılan deneysel düzeneğin fotoğrafı Şekil 5.7.'de verilmiştir.



Şekil 5.7. Langmuir prop yerleştirilmiş deşarj sisteminin fotoğrafı ve karanlık ortamda üretilen plazmanın fotoğrafı.

Elektron sıcaklığının ölçümü için kullanılan Şekil 5.7.'de verilen deşarj cihazı, iki elektrot ve bir prop içeren pyrex bir cam tüptür. Bu elektrotlardan katot ve anot paslanmaz çeliktendir ve kalınlığı $\phi=1$ mm olan iki tungsten çubuğa mekaniksel olarak tutturulmuşlardır. Tungsten çubuklar cam tüpten açılan bir delikten dışarı çıkmaktadır. Bu noktalar hiçbir şekilde gaz sızıntısı olmayacak şekilde çok iyi bir yalıtım maddesi (Torr-Seal) ile kapatılmıştır. Bu tungsten çubuklar hem katodu hem de anodu tutmaktadır ve her ikisinin de elektriksel kontağını sağlamaktadır. Katodun ve anodun arka tarafı da dahil olmak üzere, elektrotların arka kısmında kalan tüm bölge (tungsten çubuk dahil) koruyucu bir cam tabakası ile kaplanmıştır. Bu şekilde gaz deşarjının yalnızca katot ve anodun ön yüzünde gerçekleşmesi sınırlandırılmış olur. Bu katodun ve anodun çapı 16-20 mm arasındadır.

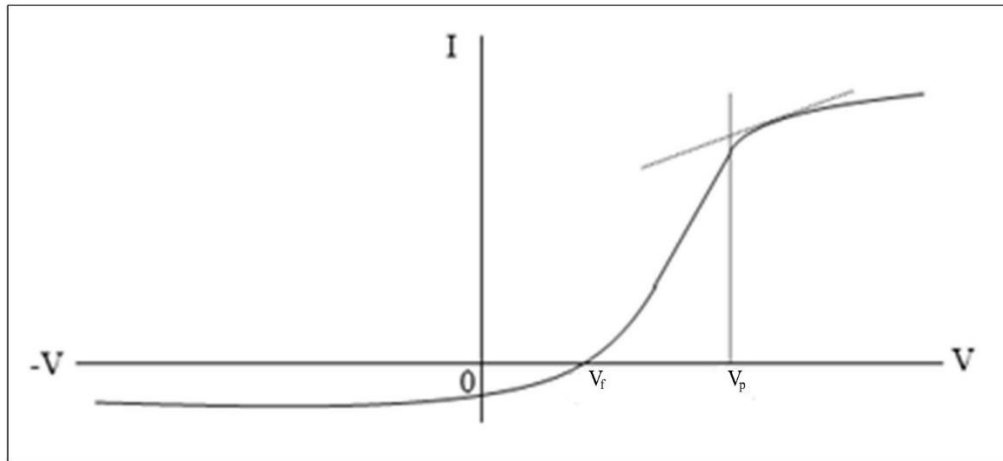
Deşarj tüpünün orta kısımlarından bir delik açılarak bu delikten deşarj tüpünün içine silindirik elektriksel prop yerleştirilmiştir. Bu prop çelikten yapılmıştır ve çapı 1mm civarındadır. Probun uç kısmı hariç diğer tüm dış yüzeyi cam ile kaplıdır. Probun deşarj tüpünde açılan delikten çıktığı nokta, çok iyi bir izolasyon maddesi olan Torr-Seal ile kaplanmıştır. Böylece probun deşarj tüpüne girdiği delikten herhangi bir sızıntının olması olanaksızdır. Bu cihaz üzerinde elektron sıcaklığının ölçümü için kurulan elektriksel devre ise şekil 5.8.'de gösterilmiştir.



Şekil 5.8. Langmuir prop kullanılarak lüminesans deşarj elektron sıcaklığı ölçümü için kullanılan deney düzenek.

Şekil 5.8.'den görüldüğü gibi elektrik devresi, Philip Harris marka ayarlanabilir yüksek voltaj kaynağı (Bu güç kaynağı üzerinden uygulanan voltaj okunabilmektedir.), FLUKE 179 marka multimetreye deşarj cihazı bağlantılarından oluşmaktadır. Ayrıca elektrik devresinde akımı sınırlandırmak için bir de 500 k Ω ve 50 k Ω direnç kullanılmıştır.

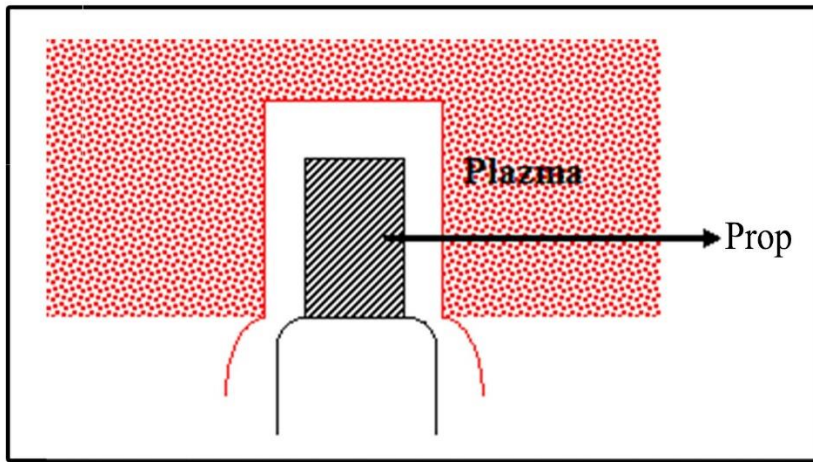
Plazma hali birkaç parametre ile karakterize edilir. İki temel parametre olan plazma yük yoğunluğu n ve plazma elektron sıcaklığı T_e , elektrik prop kullanılarak plazmanın herhangi bir noktasında ölçülebilir. Bu metot 1923 yılında Irving LANGMUIR tarafından geliştirildi ve halen başarılı bir şekilde kullanılmaktadır. Anot ve prop arasında kontrollü bir şekilde değiştirilebilen DC voltaj uygulanabilirse, devre üzerinden geçen elektrik akımı Şekil 5.8.'de gösterildiği gibi ölçülür. Böylece prop karakteristiği olarak adlandırılan Şekil 5.9.'daki gibi bir akım-voltaj karakteristiği elde edilir.



Şekil 5.9. Deşarj tüpü içinde elektriksel proba voltaj uygulandıktan sonra elde edilen Akım-Voltaj Karakteristiği.

Doğru bir prop karakteristiği elde etmek için gerekli en önemli şart, prop ölçümleri nedeniyle plazma deşarjına herhangi bir zarar vermekten sakınmaktır. Bu nedenle plazma içinden geçen prop akımının deşarj akımından çok küçük olması gereklidir. Bu sebeple, toplanan akım yüzeyle orantılı olduğu için küçük yüzeyli elektriksel propların kullanılması önemlidir. Katotta yüksek voltaj düşümü (katot düşümü) meydana geldiğinden genellikle prop karakteristikleri prop ve anot arasında alınır. Bu durumda kullanılan voltajlar düşük değerlere sahip olurlar.

Şekil 5.9.'da verilen prop karakteristiğinde V_p , plazma potansiyelinin tam prop potansiyeline eşit olduğu noktayı (bu nokta probun yerleştirildiği noktadır) gösterir. V_p ; **Plazma Potansiyel**'i olarak adlandırılır. Bu noktada prop, plazmadan yalnızca elektronları toplamaya başlar. Yani, plazma ve prop arasındaki potansiyel farkı sıfır ise, elektronlar iyonlardan daha hızlı hareket ettiği için (plazma içinde elektron yoğunluğu, iyon yoğunluğuna eşittir) proba yalnızca elektronlar gelecektir. Prop karakteristiğinin şeklini açıklamak için, prop plazma bölgesini gösteren Şekil 5.10.'dan faydalanılabilir.



Şekil 5.10. Plazma içinde Langmuir prop.

Plazma ile prop arasında Debye uzunluğu mertebesinde bir geçiş bölgesi vardır. Prop soğuk olduğu için elektron veya iyon yayınlamaz. Bununla birlikte, elektronlar veya iyonlar prop yüzeyine geldiklerinde probtan ikincil emisyon, plazma ve prop arasındaki potansiyel farkının çok küçük değerleri nedeniyle azalır. Eğer proba uygulanan voltaj pozitif değerlere doğru arttırılırsa plazmadan toplanan elektron akımı hemen hemen sabit kalacaktır.

Yani $V=V_p$ noktasında prob tarafından toplanan elektron akımı;

$$I = S e n_e \frac{\bar{v}_e}{4} \quad (5.1)$$

olur. Burada S ; prob yüzeyi, n_e ; plazma içinde elektron yoğunluğuyla eşit olan plazma yoğunluğu, $\bar{v}_e$; elektronun ortalama hızı ve e ; elektronun elektriksel yüküdür. Proba uygulanan pozitif voltajın daha sonraki artışı ile akım artışı beklenmez. Bu sebepten Şekil 5.9.'da toplanan elektron akımında bir satürasyon (doyum) gözlemlenebilir.

Prop potansiyeli, probun etrafını çevreleyen plazmaya göre negatif olursa, probun negatif potansiyelinin artmasıyla, plazmadan elektronlar daha çok itilecektir. Plazmadan iyonlar toplanılacak fakat iyonların hızı, elektronların hızına nazaran küçük olduğu için hala, prop tarafından uygulanan voltajı düzenlemek için iyonlardan daha çok, elektron toplanılacaktır. Prop potansiyeli V_p 'ye eşit olduğu zaman prop akımı (Şekil 5.9.) sıfırdır. Bu noktada, prop tarafından toplanan elektron akımı iyon akımıyla eşittir. Bu potansiyel **“Floating Potansiyel”** olarak adlandırılır. Eğer prop potansiyeli çok daha negatif olursa, bütün elektronlar itilecek ve yalnızca iyon akımını elde edilecek. Bu akım proba uygulanan büyük pozitif potansiyelde, sature edilir (Şekil 5.9.'da V 'nin negatif değerine bakınız).

Deneyssel olarak elde edilen ve Şekil 5.9.'da verilen eğrinin şeklini açıklamak için plazma potansiyelini orijin (referans olarak) seçerek, prop akım-voltaj karakteristiğini matematiksel olarak ifade edelim. Plazma içinde (daha çok pozitif kolon içinde) elektron enerji dağılım fonksiyonu Maxwell yasası ile verilir.

$$f(v) = \left(\frac{m_e}{2\pi k} \right)^{\frac{3}{2}} v^2 e^{-\left(\frac{mv^2}{kT_e} \right)} \quad (5.2)$$

elektronun ortalama hızı,

$$\bar{v}_e = \sqrt{\frac{8kT_e}{\pi m_e}} \quad (5.3)$$

elektronun ortalama enerjisi,

$$E = \left(\frac{mv^2}{2} \right) \quad (5.4)$$

şeklinde verilir. Bu bağıntılarda **m**; elektronun kütlesi, **k**; Boltzman sabiti, **v_e**; elektronun hızı, **T_e**; elektronun sıcaklığıdır. Prop üzerine pozitif potansiyel uygulanırsa plazma dışına giden tüm elektronlar, hızlarına bağlı olmaksızın prop tarafından toplanacaktır. Toplanan prop akım yoğunluğu ;

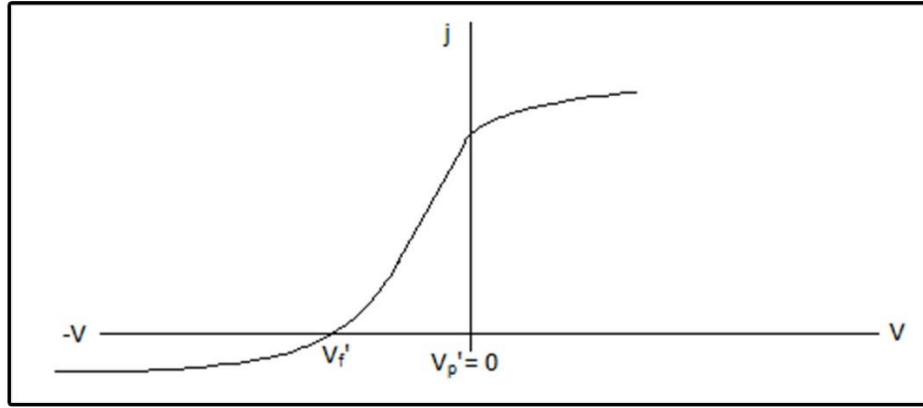
$$j_e = \int_0^{\infty} f(v)dv = \left(\frac{m_e}{2\pi kT} \right)^{\frac{3}{2}} \int_0^{\infty} v^2 e^{-\frac{mv^2}{kT_e}} dv \quad (5.5)$$

ile verilir. Eğer prop potansiyeli negatif bir değere (-V) sahip olursa, prop tarafından toplanan akım yoğunluğu;

$$j_e = \int_{v=\sqrt{\frac{2eV}{m}}}^{\infty} f(v)dv = j_e e^{-\frac{eV}{kT}} \quad (5.6)$$

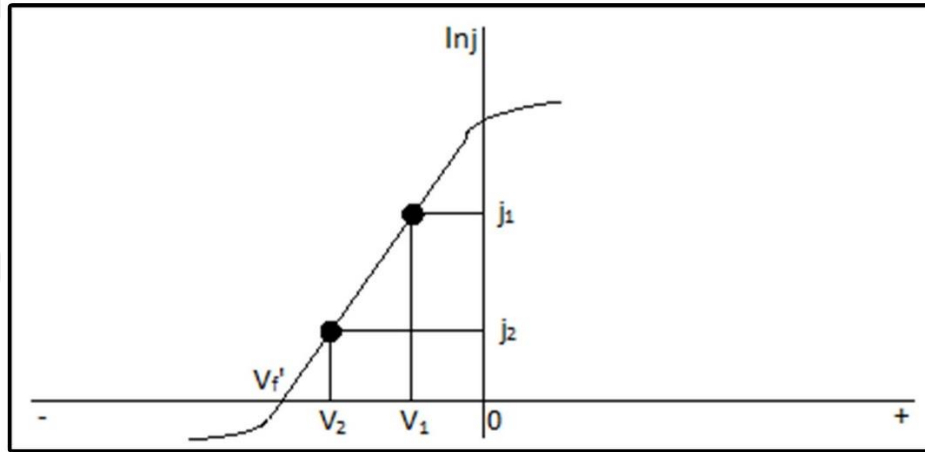
şeklinde olur. (5.6) eşitliği bize probun yalnızca, eV'den daha büyük enerjiye sahip elektronları topladığını göstermektedir. Burada V proba uygulanan negatif potansiyeldir.

(5.6) eşitliği yalnızca V_f' ve V_p' arasındaki potansiyel aralığı için geçerlidir. Burada V_f' ; yeni koordinatlardaki V_f voltajı, V_p' ; V_p'nin yeni koordinatlardaki sıfır olan değeridir. Bu durumda Prop karakteristiği Şekil 5.11.'de verilmiştir.



Şekil 5.11. Prop potansiyelinin sıfır olduğu durumda akım-voltaj karakteristiği.

Bu karakteristik yarı logaritmik skalada Şekil 5.12.'deki gibi olur.



Şekil 5.12. Prop potansiyelinin sıfır olduğu durumda akım-voltaj karakteristiğinin logaritmik ölçekte çizimi.

Bu karakteristiğin 0 ile V_f' arası doğrusaldır. Bu doğrusallık (5.6) eşitliğinden türetilen aşağıdaki eşitlikle verilir.

$$\ln j = A - \frac{eV}{kT_e} \quad (5.7)$$

Burada A; verilen deneysel koşullar için sabit bir sayıyı göstermektedir. Burada şekil (5.12) karakteristiğindeki doğrusal bölgeden iki nokta seçerek ve (5.7) eşitliğini kullanarak,

$$\ln j_1 - \ln j_2 = -\frac{e}{kT_e}(V_1 - V_2) \quad (5.8)$$

elde edilir. Buradan, aşağıdaki gibi elektron sıcaklığı elde edilebilir.

$$T_e = \frac{e}{k} \frac{|V_1 - V_2|}{\ln\left(\frac{j_1}{j_2}\right)} = \frac{11600}{\Delta} \quad (5.9)$$

Burada,

$$\Delta = \frac{\ln\left(\frac{j_1}{j_2}\right)}{|V_1 - V_2|} \quad (5.10)$$

dır. Plazma yoğunluğu n_e , probun saturasyon elektronik akım değerini kullanarak tayin edilebilir.

$V=V_1$ noktasında,

$$I_s = S j_e = S e n_e \frac{\bar{v}_e}{4} \quad (5.11)$$

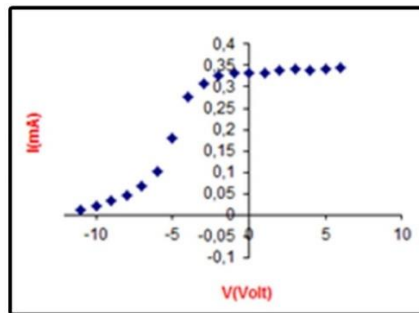
ile verilir. Burada, $\bar{v}_e = \sqrt{\frac{8kT_e}{\pi m_e}}$, n_e ; plazma yoğunluğu, S; probun yüzeyidir.

Son bağıntıdaki T_e , eşitlik (5.9) 'dan alınırsa,

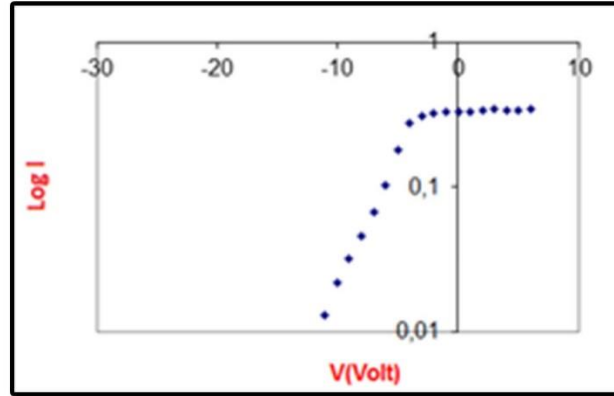
$$n_e = \frac{4I_s}{eS \sqrt{\frac{8kT_e}{\pi m_e}}} \quad (5.12)$$

şeklinde olur.

Neon plazmasının elektron sıcaklığını ölçmek için öncelikle şekil 5.7.'de verilen deşarj cihazı vakumlanmıştır. İyice vakumlanan deşarj tüpünün içi 1.5 torr basınçta saf Neon gazı ile doldurulmuştur. İçi 1.5 torr basınçta saf Neon gazı ile doldurulan deşarj cihazının elektrik devresi şekil 5.8.'de gösterildiği gibi yapıldıktan sonra, deşarj cihazı üzerine yüksek voltaj güç kaynağı ile $V=500$ V uygulanarak gazın ateşlenmesi sağlanmıştır. Diğer bir DC güç kaynağı ile prop ile anot arasına -20 V potansiyel farkı uygulanıldı. Bu sırada ampermetreden okunan deşarj akımı değeri okundu. Bu voltaj -20 'den 0 'a kadar artırılarak uygulandı ve her voltaj için elde edilen deşarj akımı değerleri elde edilmiştir. Prop ile anot arasına düşük voltaj kaynağının negatif ve pozitif uçlarının yerleri değiştirilerek prop ile anot arasına pozitif voltaj uygulanılmaya başlanmıştır. Bu şekilde 0 'dan 6 V'a kadar voltaj arttırılarak, deşarj cihazı akım değerleri elde edilmiştir. Elde edilen bu voltaj ve akım değerleri ile $I=f(V)$ grafiği çizilmiştir. Aynı zamanda bu grafik logaritmik skalada çizilmiştir. Bu grafikler Şekil 5.13. ve Şekil 5.14.'de verilmiştir. Logaritmik skalada çizilen grafik 0 ile saturasyon akımı arasında doğrusal bir değişim göstermiştir. Bu doğrunun eğimi ile bu basınçtaki Neon plazması elektron sıcaklığı 2.2 eV (25529.911 K) olarak bulunmuştur.



Şekil 5.13. Langmuir prop ile 1.5 torr basınçta Neon gazı için elde edilen akım-voltaj karakteristiği.



Şekil 5.14. Langmuir prop ile 1.5 torr basınçta Neon gazı için elde edilen akım-voltaj karakteristiğinin logaritmik ölçekte çizimi.

5.5. Akım Yoğunluğu Tayini

Bu deneyde Neon gazı kullanılarak özel olarak yapılmış bir deşarj cihazının içinde katot voltajının farklı akımlarda katot yüzeyindeki oluşumları incelenmiştir. Bu deneysel çalışma için kullanılan düzeneğin fotoğrafı Şekil 5.15.'te verilmiştir.



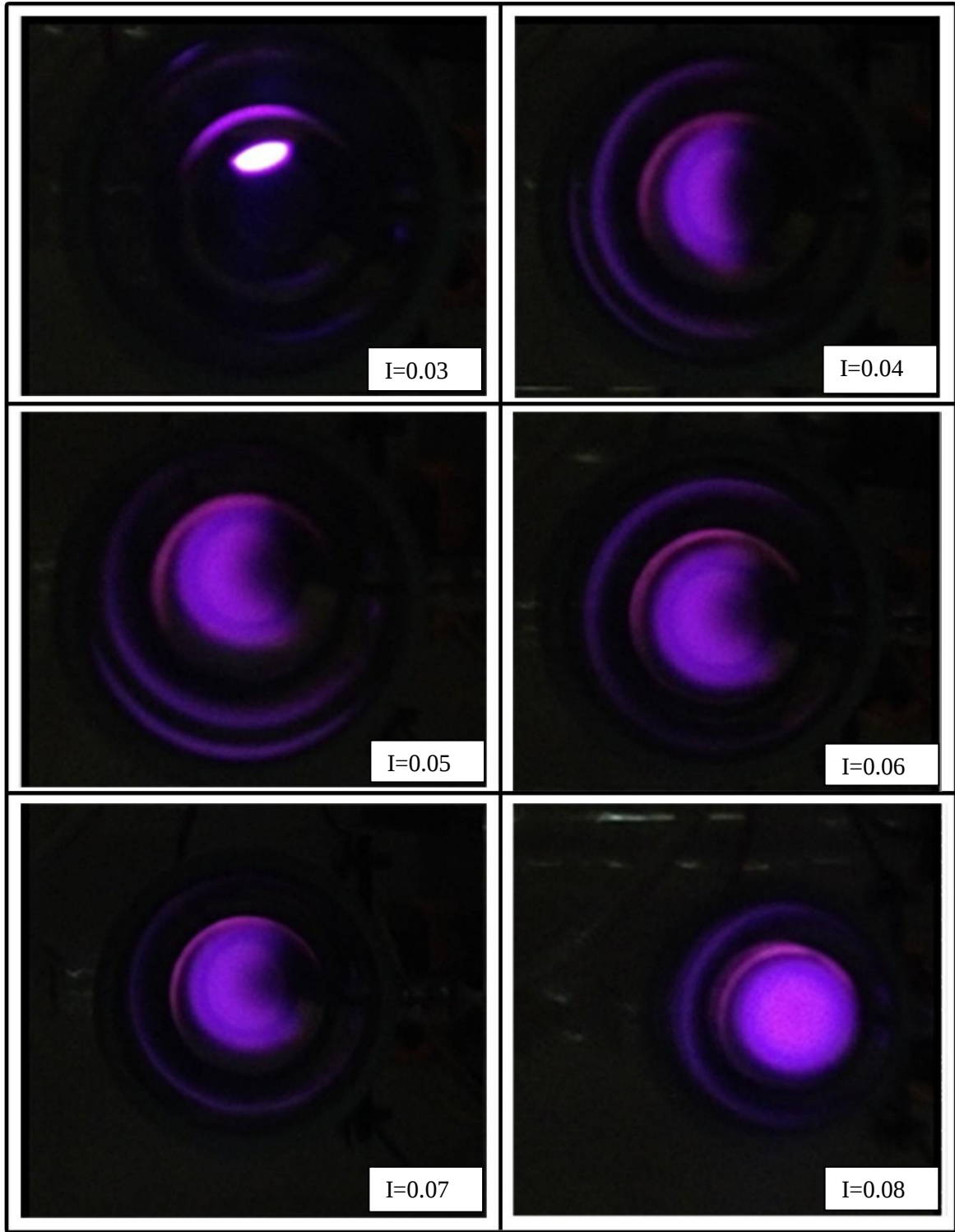
Şekil 5.15. Akım yoğunluğu tayini için kullanılan deneysel düzenek ve deşarj tüpü.

Şekil 5.15.'te verilen deşarj tüpü pyrex camdan yapılmıştır. Bu cihazın içine, paslanmaz çelikten yapılmış bir disk olan eksenel olarak yerleştirilmiş katot ve yine eksenel olarak camın iç kısmına bir tungsten çubuk ile tutturulmuş, dairesel anot bulunmaktadır. Deşarj cihazının cam tüpü enine kesilerek bu kısım yaklaşık deşarj cihazının çapına eşit çapta, bir cam disk ile Torr-Seal (Oda sıcaklığında 10^{-9} torr'dan daha az buhar basıncına dayanır) kullanarak sıkıca yapııştırılmıştır. Bu katot yüzeyinin kolayca görülebilmesi için yapılmıştır. Bunun için dairesel anodun yarıçapı katot yarıçapından daha büyük yapılmıştır.

Normal luminesans deşarjların değişik akım yoğunlukları elde etmek için, katot yüzeyinin deşarj ışığı ile kaplanma yüzdesini belirlemek amacıyla burada bir dijital fotoğraf makinesi kullanılmıştır.

Katot voltajı düşümünün gözlenmesi için öncelikle Şekil 5.15.'te gösterilen özel olarak imal edilmiş deşarj tüpünün içi vakum cihazı ile vakumlanmıştır. İyice temizlenen deşarj tüpünün içi, yine vakum cihazı yardımı ile 6.3 torr saf Neon gazı ile doldurulmuştur.

İçi 6.3 torr saf Neon gazı ile doldurulmuş olan deşarj cihazının elektriksel bağlantıları yapıldıktan sonra, yüksek voltaj güç kaynağı ile deşarj cihazı üzerine uygulanan voltaj arttırıldı ve deşarj akımının 0.073 mA olması sağlandı. Bu sırada katotun yüzeyinin fotoğrafı, anotun olduğu bölgenin tam karşısından bir dijital fotoğraf makinesi ile çekildi. Uygulanan voltaj güç kaynağından arttırılarak, deşarj akımı değerleri arttırıldı ve her bir deşarj akımı değerleri için de, katot yüzeyinin fotoğrafları dijital fotoğraf makinesi ile çekildi. Bu fotoğraflar, Şekil 5.16.'da verilmiştir. Her fotoğrafın altında, hangi deşarj akımında çekildikleri de yazılmıştır.

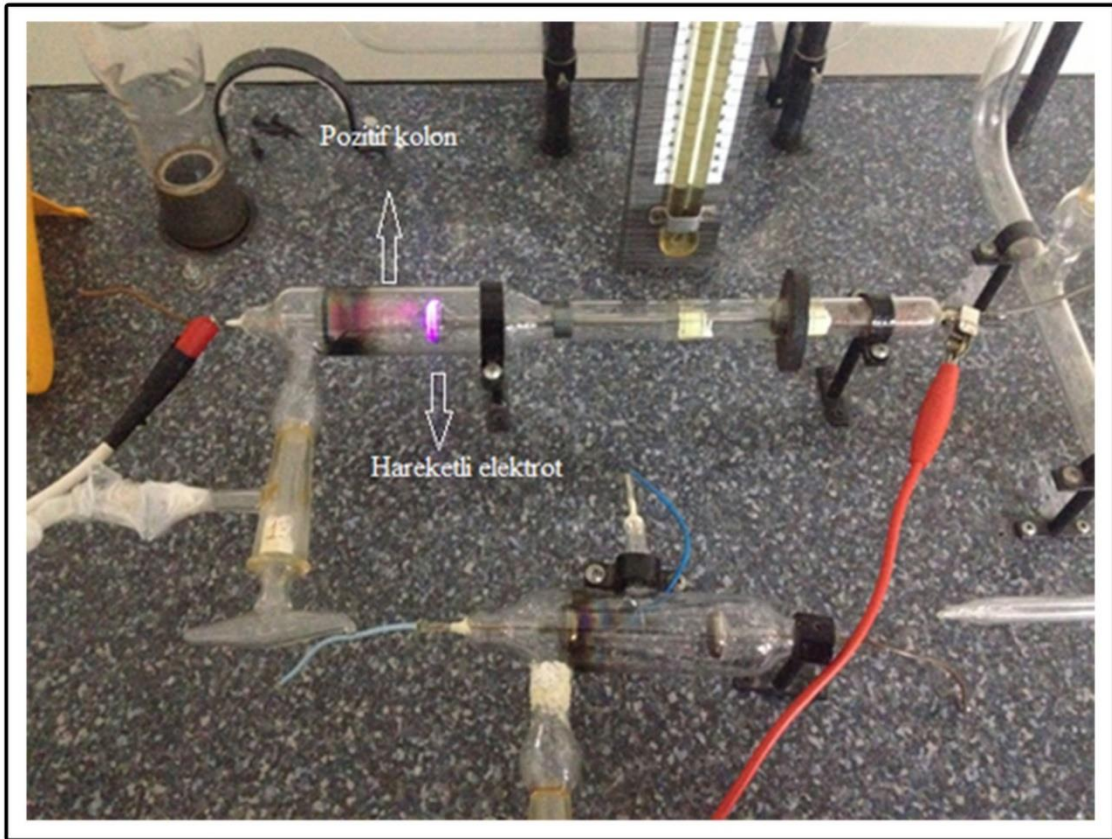


Şekil 5.16. Deşarj yüzey alanının deşarj akımı arttıkça artışı.

Şekil 5.16.'dan görüldüğü gibi 0.8 torr basınçta üretilendeşarjın kesiti akım arttıkça artmaktadır. Bu akım yoğunluğunun sabit kalması içindir. Şekil 3.3.'te akım yoğunluğu değişimi verilmiştir. Buradan da görüldüğü gibi akım yoğunluğu anot bölgesinden bakıldığında sabit kalmaktadır. Bu kesitlerden akım yoğunluğu bulunabilir. Bunun için bilgisayar üzerinden görüntü izleme (image processing) programı ile kesit alanı hesaplanmalıdır. Bu çalışmadadeşarj akımı ile kesit alanının artışı gözlemi ile yetinilmiştir. Bu doğru orantılı artış akım yoğunluğunun korunduğunu göstermektedir.

5.6. Lüminesans Deşarjın Pozitif Kolonunun Spektroskopik İncelenmesi

Pozitif kolon elektrik alan ölçümünde kullanılandeşarj cihazı, şekil 5.17.'de görüldüğü gibi elektrotlar arası uzaklığın değiştirilmesine olanak sağlamaktadır. Aynı basınçta farklı elektrotlar arası uzaklıklarda pozitif kolon üzerinden alınan spektroskopik ölçümler incelenmek istenmiştir.



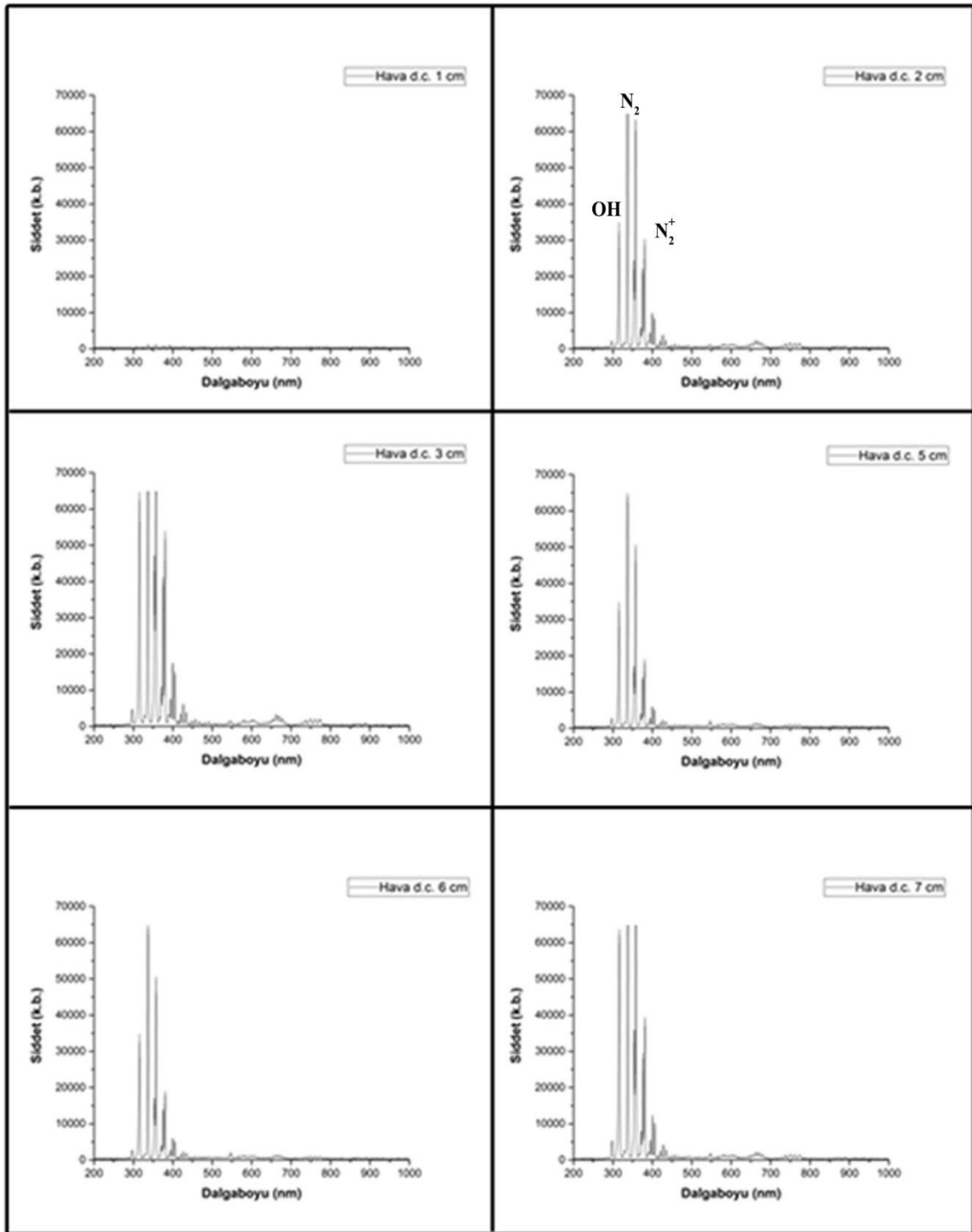
Şekil 5.17. Elektrotlar arası mesafenin ayarlanmasına imkan sağlayandeşarj tüpü.

Spektroskopik ölçümler için Şekil 5.18.'de verilen Ocean Optic USB 2000 + XR1 model spektrometre kullanılmıştır. Prop, dönüştürücü ve dönüştürücüden gelen verileri işleyen bir bilgisayar programından oluşmaktadır.



Şekil 5.18. Deneysel sistemde kullanılan optik emisyon spektrum ölçüm cihazı.

DC voltaj kullanılarak havanın lüminesans deşarjları üretilmiştir ve özellikle pozitif kolon bölgesi civarından O.E.S ile spektroskopik incelemeler yapılmıştır. Bunun için deşarj cihaz 1.5 torr hava ile doldurulduktan sonra 5kv DC güç kaynağı ile lüminesans deşarj üretilmiştir. Hareketli elektrot, hareket ettirilerek elektrotlar arası uzaklık artırıldığında pozitif kolonun sabit bölgesinden spektrumlar alınmıştır. Şekil 5.19.'da pozitif kolon bölgesinden farklı elektrotlar arası uzaklıklar için alınan optik emisyon spektrumları verilmiştir.



Şekil 5.19. DC lüminesans deşarjın pozitif kolon spektrum ölçümleri.

NIST'ten (National Institute of Standards and Technology) alınan verilere göre 308 nm OH radikallerine, 337 nm ve 357 nm N_2 , 390, 427 ve 470 nm N_2^+ moleküllerine aittir. Bu çalışmada havanın plazması üretildiği için spektrumda OH , N_2 , ve N_2^+ gözlenmesi beklenen sonuçlardır.

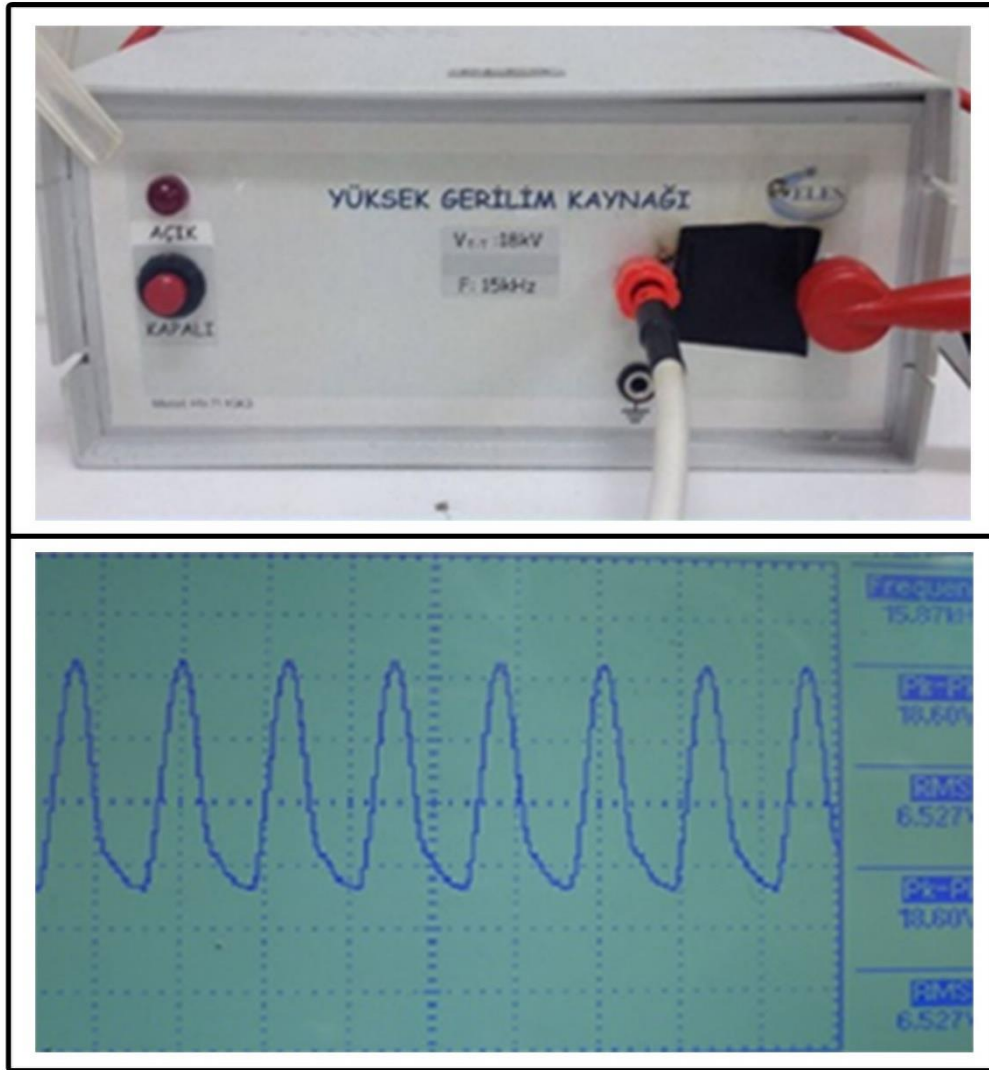
Lüminesans deşarjın pozitif kolunu Şekil 3.3.'te detaylıca incelendiği gibi özel bölgelerden birisidir. Burası diğer bölgelere nazaran negatif ve pozitif yük yoğunluklarının hemen hemen aynı kaldığı bölgedir. Elektrotlar arası uzaklık değiştikçe bu bölgenin uzaması ya da kısılması, elektrotlar arasındaki potansiyel düşümü dağılımının değişmesi beklenen bir sonuçtur. Bu durumda meydana gelen plazma içi uyarılma ve iyonlaşma sayılarında değişim beklenmelidir. Burada spektroskopik ölçümler ile böyle bir sonuç yakalanmaya çalışılmıştır. Şekil 5.19.'da hava plazmasında beklenen azot pikleri gözlenmişken elektrotlar arası mesafenin artması ile aynı noktadan alınan spektroskopik sonuçlarda kısmen artış yada azalış gözlenirse de bir bağımlılık bulunamamıştır. Daha çok sayıda veri ile değerlendirme yapılmalıdır.

5.7. AC Güç Kaynağı ile Üretilen Lüminesans Deşarj Karakteristikleri

Kullanılan güç kaynağının işleyişine göre farklı özellikte güç kaynağı ile üretilen lüminesans deşarjların mekanizmaları, fiziki açıdan birçok farklılık göstermektedir. DC deşarjlarda yüklü parçacıklar sabit bir elektrik alana maruz kalıp sadece bu elektrik alan doğrultusunda hızlanırlar. Elektronların yaptığı bu lineer hareket enerjilerinin artmasına sebebiyet verir. Enerjileri fazla olan bu elektronların elektrotlar ile etkileşerek (çarptırarak) ikincil elektron emisyonu yapma potansiyelleri yüksektir. Sabit ve tek yönlü uygulanan bu elektrik alan altında elektron ve iyonların birbirleri ile çarpışma ihtimalleri AC güç kaynağı ile üretilen yönteme kıyasla daha az olmaktadır.

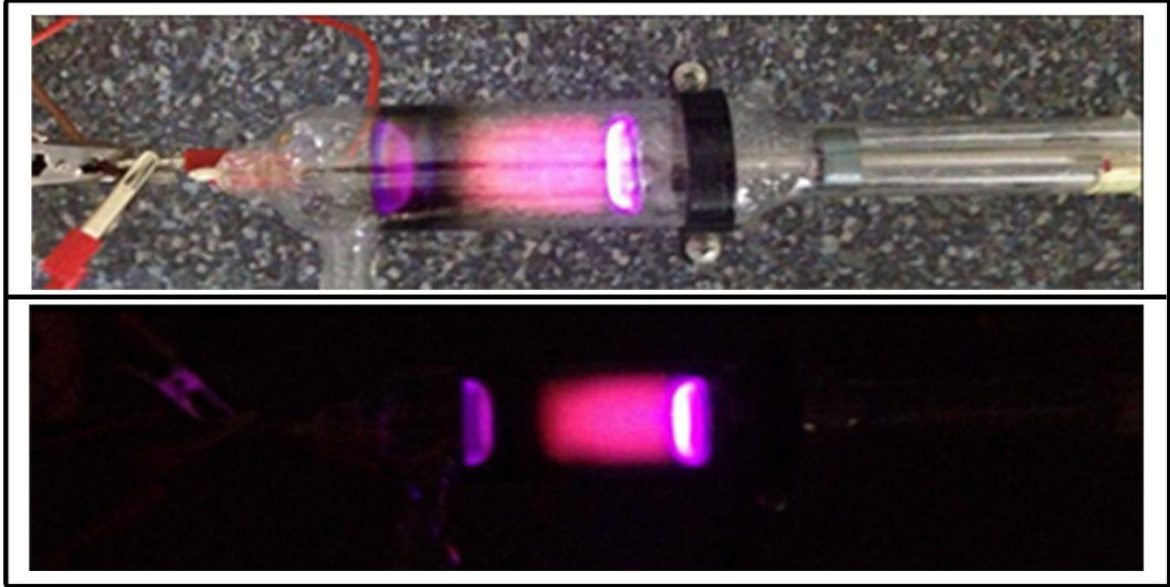
Alternatif akım (AC) kaynağı ile elektrotlar arası potansiyel fark oluşturularak, belirlenen (elektrotlar arası) ortamdaki gazın iyonlaşmasını ve plazma haline geçişini sağlayan plazma üretim yöntemi AC Güç Kaynağı ile Üretilen Lüminesans Deşarjlar adını alır. Alternatif akım güç kaynağının frekansı ile ilişkili olarak birim zamanda elektrotların elektriksel yönelimlerinde (anot-katot) değişim olur. Elektrotların yönelimsel değişimleri üretilen bu plazmanın diğer yöntemlerle üretilen plazmalardan farklı özellikler göstermesine neden olur. Her bir salınımda (döngü) elektrotların yönelimi salınımına bağlı

olarak değişeceğinden ortamdaki yüklü parçacıklar (iyonlar, elektronlar) lineer bir şekilde hızlanamazlar ve bu durum parçacıkların sahip oldukları enerjinin daha az olmasına sebep olur. Yüklü parçacıklar anot ile katot arasında sürekli hareket yönünü değiştirerek daha fazla çarpışma yapar, bundan dolayı ortalama çarpışma sayısı artar ve iyonlaşma oranı daha yüksek plazma üretilir. DC elektriksel değarja oranla ikincil elektron emisyonu daha az gözlemlenir. şekil 5.20.'de deneylerimizde kullandığımız AC güç kaynağının fotoğrafı ve osiloskop çıktısı verilmiştir.



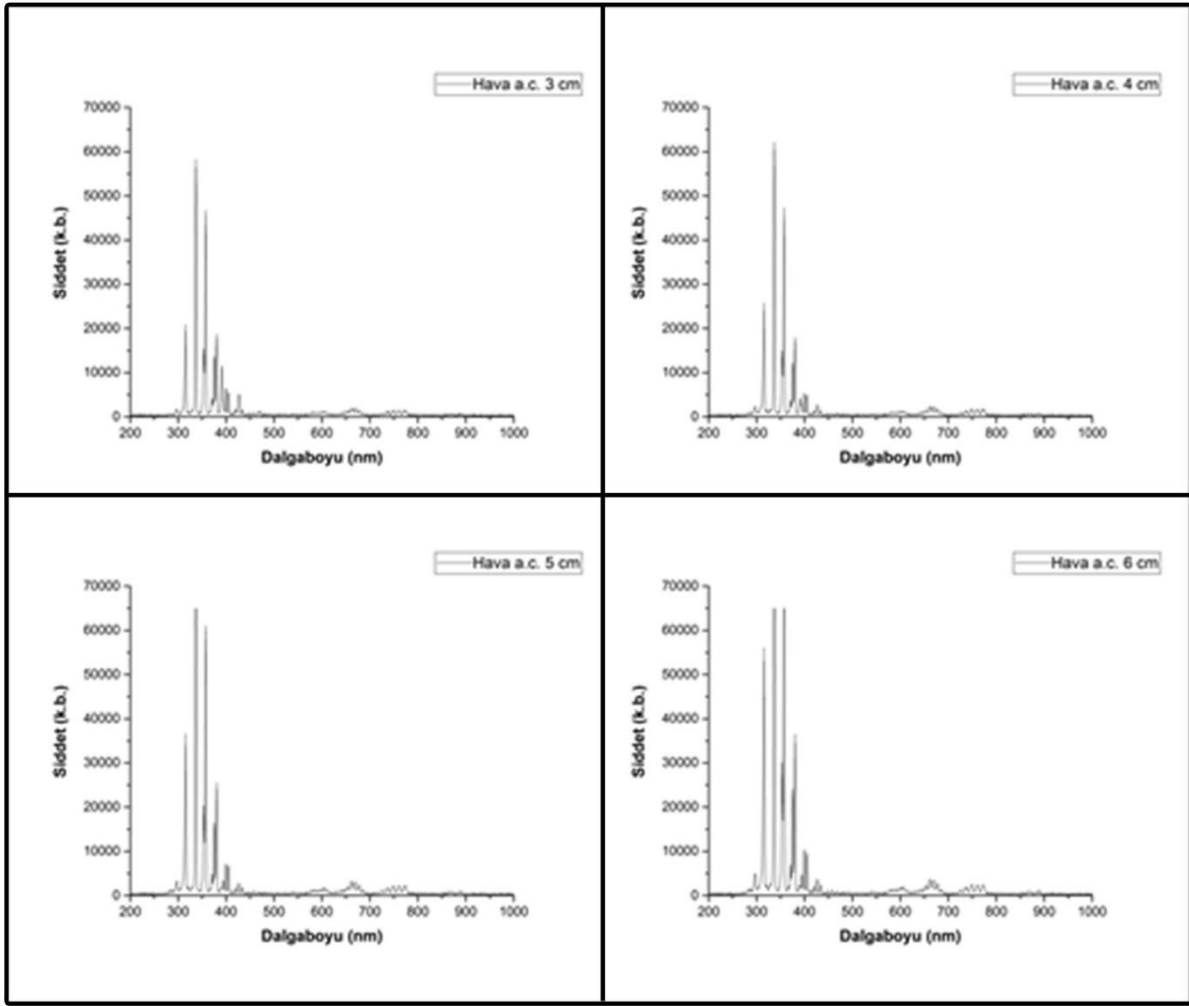
şekil 5.20. Kullanılan AC güç kaynağı ve osiloskop ıktısı.

Şekil 5.21.'de AC güç kaynağı ile 0,65 torr hava kullanılarak üretilen AC lüminesans deşarjların fotoğrafı verilmiştir.



Şekil 5.21. AC güç kaynağı ile üretilen lüminesans deşarjın aydınlık ve karanlık fotoğrafı.

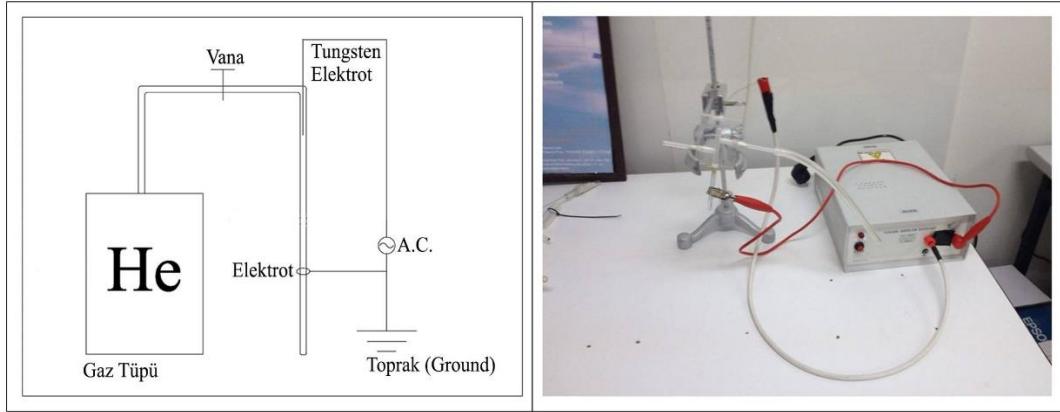
AC lüminesans deşarjlarda DC lüminesans deşarjlardan en önemli fark Şekil 3.3.'te verilen Aston, Katot, Faraday ve Anot Karanlık bölgeleri ile Katot, Negatif, Pozitif kolon ve Anot Aydınlatma Bölgelerinin oluşumu farklı olmaktadır. AC güç kaynağının frekansına göre bu bölgelerin bir kısmı oluşmaz. Ancak Pozitif Kolon benzeri bir yapı (plazma bloğu) oluşur. Şekil 5.21.'de AC güç kaynağı ile üretilen lüminesans deşarjın Şekil 5.17.'de verilen DC güç kaynağı ile üretilen lüminesans deşarjdan kısmen farklılığı gözükmemektedir. DC lüminesans deşarjlarda anoda yakın aydınlık bölgeler arasında daha keskin karanlık bölgeler varken AC lüminesans deşarjda bütüncül yapı gözükmemektedir. Hava için üretilen AC lüminesans deşarjın O.E.S ile alınan spektroskopik ölçümleri Şekil 5.22.'de verilmiştir. DC lüminesans deşarjda olduğu gibi azot pikleri oldukça net çıkmıştır. Farklı elektrotlar arası uzaklıklarda çok küçük şiddet farklılıkları gözlemlenmiştir.



Şekil 5.22. AC lüminesans deşarjın pozitif kolon O.E.S ölçümleri.

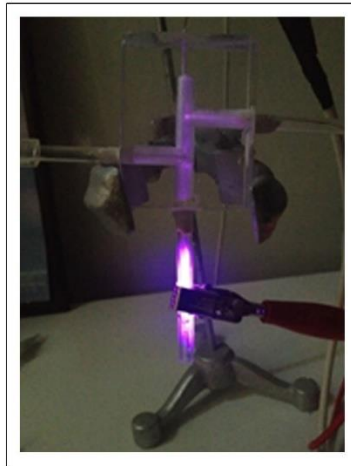
5.8. Atmosferik Basınç Lüminesans Deşarjlar

Şekil 5.23.'te atmosferik basınçta lüminesans deşarj üretmek için kullanılan “Atmosferik plazma jet” sisteminin fotoğrafı ve şematik dizaynı verilmiştir. Bu sistem güç kaynağı, tungsten katot ve gaz akışı sağlayan plastik borudan oluşmaktadır.



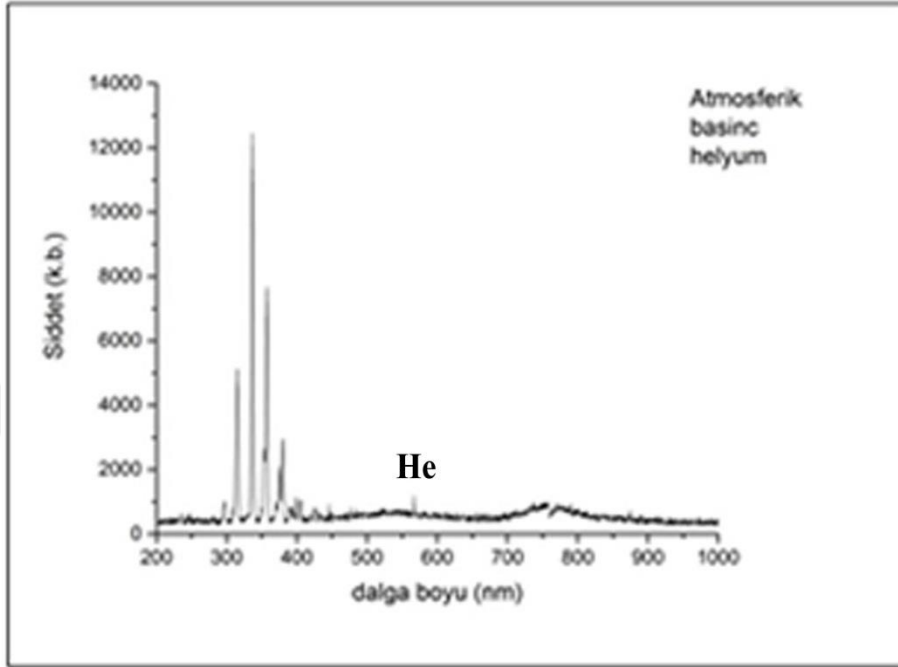
Şekil 5.23. Atmosferik basınç lüminesans deşarj üretim sistemi.

Şekil 5.23.'te verilen şematik dizayndan görüldüğü gibi deşarj, iğne şeklinde tungsten elektrot ile cam tüpe dışarıdan sarılan metal elektrot arasında oluşmaktadır. Sistem bir vakum odasında değil atmosferik koşullarda çalışmaktadır. Helyum gazı ile üretilen deşarjın fotoğrafı Şekil 5.24.'te verilmiştir.



Şekil 5.24. Helyum gazı için atmosferik basınç lüminesans deşarj fotoğrafı.

Şekil 5.25.'te atmosferik basınçta Helyum gazı ile üretilen deşarj üzerinden alınan spektrum verilmiştir. Çok küçük 587 nm'de karakteristik helyum piki gözükmesine rağmen atmosfer ortamında bolca bulunan azot pikleri çok belirgin çıkmıştır.



Şekil 5.25. Helyum atmosferik basınç lüminesans deşarjın optik emisyon ölçümü.

6. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Plazma Fiziği Laboratuvarında dizayn edilip üretilen vakum ve gaz depolama sistemine bağlı deşarj cihazlarında lüminesans deşarjın farklı özellikleri bulunmaya ve incelenmeye çalışılmıştır. Çalışmalarda bulunan önemli plazma karakteristiklerinin yanında kullanılan sistemin orijinal ve zorlu süreçlerde üretildiğinin altı çizilmelidir. Laboratuvar koşullarında 10^{-4} ile 10^{-5} basınca kadar inebilen özellikle camdan üretilmiş deşarj tüplerinin imalatı oldukça zordur. Bununla birlikte vakum kaçağı oluşturmada bu deşarj tüpleri içine, işlenmesi oldukça zor tungstenden imal edilmiş elektrotları yerleştirmek oldukça zordur. Bu nedenle bu çalışmada kullanılan sistem orijinal ve home-made bir sistem özelliği taşımaktadır.

Çalışmada ilk olarak Neon gazında üretilen lüminesans deşarjların farklı elektrotlar arası uzaklıklar için ateşlenme (breakdown) voltajı değerleri bulunarak Paschen eğrisi elde edilmiştir. 200 V civarında Paschen minimumu elde edilmiştir. Üretilen cihaz için oldukça düşük bu değer deşarj cihazının verimli çalışması için oldukça uygun değerdir. Aynı cihaz ile üretilen lüminesans deşarjın pozitif kolon elektrik alan değerleri 0,005 torr ile 0,1 torr arasındaki basınç değerlerinde 0,6 mA deşarj akımı için 25V/cm ile 4V/cm arasında, 0,8 mA deşarj akımı için 5V/cm ile 3V/cm arasında değişmiştir. Düşük deşarj akımında santimetre başına daha yüksek voltaj düşümü gerekli olmuştur.

Langmuir prop kullanılarak lüminesans deşarjların elektron sıcaklığının ölçülmesi klasik bir plazma parametre tayinidir. Bu ölçüm için kullanılan sistem içine Langmuir propun laboratuvarımızda yerleştirilmiştir. Tungsten Langmuir prop ile Neon gazının lüminesans deşarjının literatüre yakın olarak 2 eV (23208 K) civarında bulunmuştur.

Bu çalışmada DC ve AC lüminesans deşarjlar üretilerek spektroskopik ölçümleri yapılmıştır. İlk olarak DC voltaj kullanılarak üretilen lüminesans deşarjın pozitif kolonunun elektrotlar arası uzaklık değiştirildiğinde spektroskopik analizi yapılmıştır. Elektrotlar arasında uzaklık değişimi ile spektroskopik ölçümleri de değişiklik gözlemleneceği hedeflenmişti. Sonuçlar elektrotlar arası 1-6 cm için pozitif kolonun kendini koruduğu yönde çıkmıştır. Kullanılan spektrometre cihazı yalnızca atomik geçişlerin ölçümüne olanak tanıdığından moleküler değişimler gözlemlenememiştir.

AC lüminesans deşarj ile DC lüminesans deşarj spektroskopik ölçümlerinin önemli farklılıklarını yakalamak için daha fazla ölçüm alınması gerektiği görülmüştür. Ancak AC lüminesans deşarjlarda DC lüminesans deşarjlardan farklı olarak anoda yakın bölgede pozitif kolon ile anot aydınlık bölgesi neredeyse bitişik çıkmıştır. DC lüminesans deşarjlarda bu iki bölge arasında anot karanlık bölgesi belirgin olarak gözükür.



7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Katodik akım yoğunluğunun tayini için kullanılan deneysel düzenek oldukça orijinaldir ve yine laboratuvarınızda imal edilmiştir. Bu deneydedeşarj akımı arttıkça katot üzerindeki plazma kesitinin artışı gözlemlenmiştir. Ancak katot akım yoğunluğunun ölçülmesi için bu kesitlerin bir görüntü izleme programıyla hesaplanması gerekmektedir.

Atmosferik basınçta üretilendeşarjın spektroskopik ölçümleri de daha fazla sayıda spektroskopik ölçüm gerektirmektedir. Özellikle elektrotlar arasından akıtılan gazın cinsi, akış hızı ve kullanılan güç kaynağının parametreleri değiştirilerek farklılıklar gözlemlenebilir.

Bu çalışmada düşük basınçta lüminesansdeşarjların breakdown voltajı, paschen yasası grafiği, pozitif kolon elektrik alan ölçümleri ve elektron sıcaklığı ölçümleri başarılı bir şekilde bulunmuştur. Lüminesansdeşarjın akım yoğunluğunun tayini için bir yazılım üretilmesi gelecek çalışmalarda yapılmalıdır. Spektroskopik analizler ise moleküler spektroskopi de kullanılarak tekrarlanmalı ve çok daha fazla veri alınarak anlamlı sonuçlara ulaşılmaya çalışılmalıdır.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- Akan, T., 2003 Termiyonik Vakum Ark (TVA)'nın Temel Özelliklerinin İncelenmesi, Doktora Tez Çalışması. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 8-9, 17, 147.
- Akan, T., 2005, Maddenin Dördüncü Hali Plazma ve Temel Özellikleri. Çağdaş Fizik Elektronik Dergi, sayı, <http://nucleus.istanbul.edu.tr/~cfe/dorduncu/mak1/>.
- Chapman, B., 1980, Glow Discharges Plasmas, John Wiley and Sons, Newyork.
- Grill, A., 1993 Cold plasma in materials fabrication, IEEE pres, New York, 256p.
- Krall, N. A., Trivelpiece, A. W., 1973, Principles of Plasma Physics Mc Grow Hill Book Com. Newyork, 1-2p.
- Kunkel, W.B., 1966, Plasma physics in theory and application, McGraw-Hill book company, New York, 494p.
- Lieberman, M. A. and Lichtenberg, A. J., 1997, Principles of plasma discharges and materials processing, John Wiley, New York, 572p.
- McDaniel E. W., 1964, Collision phenomena in ionized gases, John Wiiley&Sons, USA, 775p.
- Muraoka K. and Maeda, M., 2001, Laser-aided diagnostics of plasmas and gases, IOP Publishing, Bristol and Philadelphia, 295p.
- Musa, G., Ekem, N., Akan, T., 2000, PlazmaFiziği Ders Notları, Osmangazi Üniversitesi.
- Nasser, E., 1971, Fundamentals of Gaseous Ionization and Plasma Electronics, 304p.
- Razier, Y. P., 1991, Gas Discharge Physics, Springer Verlog, USSR, 449p.
- Remy, J., Biennier, L., Salama, F., 2003, Plasma Structure in a Pulsed Discharge Environment, Plasma Sources Science and Technology, 12, 295-301p.
- Roth, J. R., 1995, Industrial plasma engineering, vol. I, IOP publishing, Bristol and Philadelphia, 538p.
- Tanenbaum, B. S., 1967, Plasma Physics MCGrow Hill Book Comp., New York, 360p.
- www.softservenews.com, Erişim tarihi: 20.05.2016
- goktasi.blogspot.com.tr, Erişim tarihi: 20.05.2016
- www.newscience.ul.com, Erişim tarihi: 20.05.2016

KAYNAKLAR DİZİNİ (Devam)

www.photobucket.com, Erişim tarihi: 25.06.2016

www.iter.org, Erişim tarihi: 21.05.2016

www.vetaphone.com, Erişim tarihi: 21.05.2016

blogs.scientificamerican.com, Erişim tarihi: 25.06.2016

